CICLO DEL NITROGENO

http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno.php

Natureduca. Portal educativo de ciencias naturales y aplicadas, tecnología e internet. El ciclo de Nitrógeno. Asdociación española para la cultura, el Arte y la Educación. ww.asocae.org -

El **ciclo del nitrógeno** es el conjunto cerrado de procesos biológicos y abióticos en que se basa el suministro de este elemento a los seres vivos. Es uno de los importantes ciclos bioquímicos de que depende el equilibrio dinámico de composición de la biosfera.

Índice

[ocultar]

- 1 Efectos
- 2 Fijación de nitrógeno
- 3 Amonificación
- 4 Ciclos
  - 4.1 Nitrificación
  - 4.2 Desnitrificación
- 5 Reducción desasimilatoria
- 6 Véase también
- 7 Bibliografía
- 8 Enlaces externos

Efectos[editar]

Los seres vivos cuentan con una gran proporción de nitrógeno en su composición química. El nitrógeno oxidado que reciben como nitrato (NO_3^-) es transformado a grupos aminoácidos (asimilación). Para volver a contar con nitrato hace falta que los descomponedores lo extraigan de la biomasa dejándolo en la forma reducida de ion amonio (**NH_4^+**), proceso que se llama amonificación; y que luego el amonio sea oxidado a nitrato, proceso llamado nitrificación. Así parece que se cierra el ciclo biológico esencial. Pero el amonio y el nitrato son sustancias extremadamente solubles, que son arrastradas fácilmente por la escorrentía y la infiltración, lo que tiende a llevarlas al mar. Al final todo el nitrógeno atmosférico habría terminado, tras su conversión, disuelto en el mar. Los océanos serían ricos en nitrógeno, pero los continentes estarían prácticamente desprovistos de él, convertidos en desiertos biológicos, si no existieran otros dos procesos, mutuamente simétricos, en los que está implicado el nitrógeno atmosférico (**N_2**). Se trata de la **fijación de nitrógeno**, que origina compuestos solubles a partir del **N_2**, y la **desnitrificación**, una forma de respiración anaerobia que devuelve **N_2** a la atmósfera. De esta manera se mantiene un importante depósito de nitrógeno en el aire (donde representa un 78 % en volumen).

Fijación de nitrógeno[editar]

Artículo principal: *Fijación del nitrógeno*

El primer paso en el ciclo es la fijación del nitrógeno de la atmósfera (**N_2**) a formas distintas susceptibles de incorporarse a la composición del suelo o de los seres vivos, como el ion amonio (**NH_4^+**) o los iones nitrito (**NO_2^-**) o nitrato (**NO_3^-**) (aunque el amonio puede usarse por la mayoría de los seres vivos, ciertas bacterias del suelo derivan la energía de la oxidación de

dicho compuesto a nitrito y últimamente a nitrato), y también su conversión a sustancias atmosféricas químicamente activas, como el dióxido de nitrógeno **(NO_2)**, que reaccionan fácilmente para originar alguna de las anteriores.

- **Fijación abiótica**: La fijación natural puede ocurrir por procesos químicos espontáneos, como la oxidación que se produce por la acción de los rayos, que forma óxidos de nitrógeno a partir del nitrógeno atmosférico.
- **Fijación biológica de nitrógeno**: Es un fenómeno fundamental que depende de la habilidad metabólica de unos pocos organismos, llamados diazótrofos en relación a esta habilidad, para tomar N_2 y reducirlo a nitrógeno orgánico:
  $$N_2 + 8H^+ + 8e^- + 16\ ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16\ P_i$$

La fijación biológica la realizan tres grupos de microorganismos diazótrofos:

- Bacterias gramnegativas de vida libre en el suelo, de géneros como *Azotobacter*, *Klebsiella* o el fotosintetizador *Rhodospirillum*, una bacteria purpúrea.
- Bacterias simbióticas de algunas plantas, en las que viven de manera generalmente endosimbiótica en nódulos, principalmente localizados en las raíces. Hay multitud de especies encuadradas en el género *Rhizobium*, que guardan una relación muy específica con el hospedador, de manera que cada especie alberga la suya, aunque hay excepciones.
- Cianobacterias de vida libre o simbiótica. Las cianobacterias de vida libre son muy abundantes en el plancton marino y son los principales fijadores en el mar. Además hay casos de simbiosis, como el de la cianobacteria *Anabaena* en cavidades subestomáticas de helechos acuáticos del género *Azolla*, o el de algunas especies de *Nostoc* que crecen dentro de antoceros y otras plantas.

La fijación biológica depende del complejo enzimático de la nitrogenasa.

Amonificación[editar]

La amonificación es la conversión a ion amonio del nitrógeno,en la materia viva aparece principalmente como grupos amino ($-NH_2$) o imino (-NH-). Los animales, que no oxidan el nitrógeno, se deshacen del que tienen en exceso en forma de distintos compuestos. Los acuáticos producen directamente amoníaco (NH_3), que en disolución se convierte en ion amonio. Los terrestres producen urea, $(NH_2)_2CO$, que es muy soluble y se concentra fácilmente en la orina; o compuestos nitrogenados insolubles como la guanina y el ácido úrico, que son purinas, y ésta es la forma común en aves o en insectos y, en general, en animales que no disponen de un suministro garantizado de agua.

El nitrógeno biológico que no llega ya como amonio al sustrato, la mayor parte en ecosistemas continentales, es convertido a esa forma por la acción de microorganismos descomponedores. El ion amonio del nitrógeno es considerado una parte esencial de este proceso.

Ciclos[editar]

Algunas bacterias convierten amoníaco en nitrito y otras transforman éste en nitrato. Una de estas bacterias (Rhizobium) se aloja en nódulos de las raíces de las leguminosas (alfalfa, alubia, etc.) y por eso esta clase de plantas son tan interesantes para hacer un abonado natural de los suelos.

Donde existe un exceso de materia orgánica en el mantillo, en condiciones anaerobias, hay otras bacterias que producen desnitrificación, convirtiendo los compuestos de **N** en N_2, lo que hace que se pierda de nuevo nitrógeno del ecosistema a la atmósfera.

Nitrificación[editar]

Artículo principal: *Nitrificación*

La nitrificación es la oxidación biológica del amonio al nitrito por microorganismos aerobios que usan el oxígeno molecular (O_2) ***como receptor de electrones***, es decir, ***como oxidante***. A estos organismos el proceso les sirve para obtener energía, al modo en que los heterótrofos la consiguen oxidando alimentos orgánicos a través de la respiración celular. El *C* lo consiguen del CO_2 atmosférico, así que son organismos autótrofos. El proceso fue descubierto por Serguéi Vinogradski y en realidad consiste en dos procesos distintos, separados y consecutivos, realizados por organismos diferentes:

- **Nitritación**. Partiendo de amonio se obtiene nitrito **(NO_2^-)**. Lo realizan bacterias de, entre otros, los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*.
- **Nitratación**. Partiendo de nitrito se produce nitrato **(NO_3^-)**. Lo realizan bacterias del género *Nitrobacter*.

La combinación de amonificación y nitrificación devuelve a una forma asimilable por las plantas, el nitrógeno que ellas tomaron del suelo y pusieron en circulación por la cadena trófica.

Desnitrificación[editar]

Artículo principal: *Desnitrificación*

La desnitrificación es la reducción del ion nitrato **(NO_3^-)**, presente en el suelo o el agua, a nitrógeno molecular o diatómico **(N_2)**, la sustancia más abundante en la composición del aire. Por su lugar en el ciclo del nitrógeno este proceso es el opuesto a la fijación del nitrógeno.

Lo realizan ciertas bacterias heterótrofas, como *Pseudomonas fluorescens*, para obtener energía.

El proceso es parte de un metabolismo degradativo de la clase llamada respiración anaerobia, en la que distintas sustancias, en este caso el nitrato, toman el papel de ***oxidante (aceptor de electrones)*** que en la respiración celular normal o aerobia corresponde al oxígeno **(O_2)**. El proceso se produce en condiciones anaerobias por bacterias que normalmente prefieren utilizar el oxígeno si está disponible.

El proceso sigue unos pasos en los que el átomo de nitrógeno se encuentra sucesivamente bajo las siguientes formas:

nitrato → **nitrito** → **óxido nítrico** → **óxido nitroso** → **nitrógeno molecular**

Expresado como reacción redox:

$$2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 + 6H_2O$$

Como se ha dicho más arriba, la desnitrificación es fundamental para que el nitrógeno vuelva a la atmósfera, la única manera de que no termine disuelto íntegramente en los mares, dejando sin nutrientes a la vida continental. Sin la desnitrificación la fijación de nitrógeno, abiótica y biótica, terminaría por provocar la depleción (eliminación) del N_2 atmosférico.

La desnitrificación es empleada, en los procesos técnicos de depuración controlada de aguas residuales, para eliminar el nitrato, cuya presencia favorece la eutrofización y reduce la potabilidad del agua, porque se reduce a nitrito por la flora intestinal, y éste es cancerígeno.

Reducción desasimilatoria[editar]

Es la conversión del nitrato y nitrito a la forma gaseosa **N_2O** y a la forma ion amonio. Se produce en estercoleros y turberas donde residen bacterias del género Citrobacter sp. Este género es típico de las coliformes enterofecales, por lo que también forma parte de la flora intestinal de mamíferos, ya que procesan parte de la lactosa que ingieren. En principio se estudió esta bacteria en las turberas debido a que son productoras de óxido de nitrógeno **NO_2**, un gas de efecto invernadero, en la actualidad se realizan estudios de las baterías enzimáticas relacionadas con el retorno de amonio al suelo y su inhibición en presencia de sulfatos.

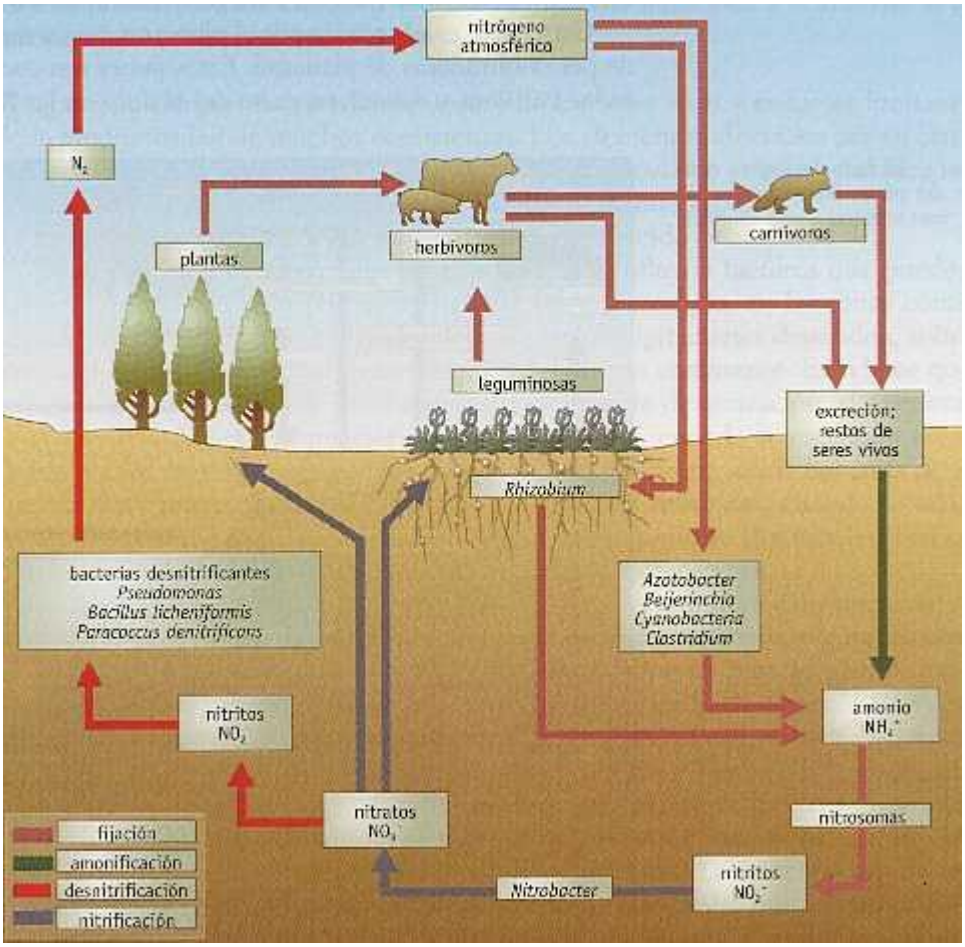
Véase también[editar]

- Ureotélico
- Uricotélico
- Amoniotélico

Bibliografía[editar]

- Capene, D. G., Popa, R., Flood, B., y Nealson, K. H. 2006. «Geochemistry. Follow the nitrogen.» *Science* 312(5774), 708-709.
- Duvigneaud, P. 1978. *La síntesis ecológica.* Alhambra, Madrid.
- Ramade, F. 1977. *Elementos de ecología aplicada.* Mundi- Prensa, Madrid.
- Svend Jørgen Binnerup. 1992. *Appl Environ Microbiol.* 1992 January; 58(1): 303-313
- M. Scott Smith. 1982. *Appl Environ Microbiol.* 1982 April; 43(4): 854-860

Ciclo del Nitrógeno



http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/135CicN.htm

Los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de **proteínas**, **ácidos nucleicos** (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo.
Su **reserva** fundamental es la atmósfera, en donde se encuentra en forma de N_2, pero esta molécula no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos (exceptuando algunas bacterias).
Esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el N_2 del aire juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al hacer la **fijación del nitrógeno**. De esta forma convierten el N_2 en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables por las plantas.
El amonio (NH_4^+) y el nitrato (NO_3^-) lo pueden tomar las plantas por las raíces y usarlo en su metabolismo. Usan esos átomos de N para la síntesis de las proteínas y ácidos nucleicos. Los animales obtienen su nitrógeno al comer a las plantas o a otros animales.

En el metabolismo de los compuestos nitrogenados en los animales acaba formándose ión amonio que es muy tóxico y debe ser eliminado. Esta **eliminación** se hace en forma de amoniaco (algunos peces y organismos acuáticos), o en forma de urea (el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (aves y otros animales de zonas secas). Estos compuestos van a la tierra o al agua de donde pueden tomarlos de nuevo las plantas o ser usados por algunas bacterias.

Algunas **bacterias** convierten amoniaco en nitrito y otras transforman este en nitrato. Una de estas bacterias (Rhizobium) se aloja en nódulos de las raíces de las leguminosas (alfalfa, alubia, etc.) y por eso esta clase de plantas son tan interesantes para hacer un abonado natural de los suelos.

Donde existe un exceso de materia orgánica en el mantillo, en condiciones anaerobias, hay otras bacterias que producen desnitrificación, convirtiendo los compuestos de N en N_2, lo que hace que se pierda de nuevo nitrógeno del ecosistema a la atmósfera.

A pesar de este ciclo, el N suele ser uno de los elementos que **escasean** y que es factor limitante de la productividad de muchos ecosistemas. Tradicionalmente se han abonado los suelos con nitratos para mejorar los rendimientos agrícolas. Durante muchos años se usaron productos naturales ricos en nitrógeno como el guano o el nitrato de Chile. Desde que se consiguió la síntesis artificial de amoniaco por el proceso Haber fue posible fabricar abonos nitrogenados que se emplean actualmente en grandes cantidades en la agricultura. Como veremos su mal uso produce, a veces, problemas de contaminación en las aguas: la eutrofización.

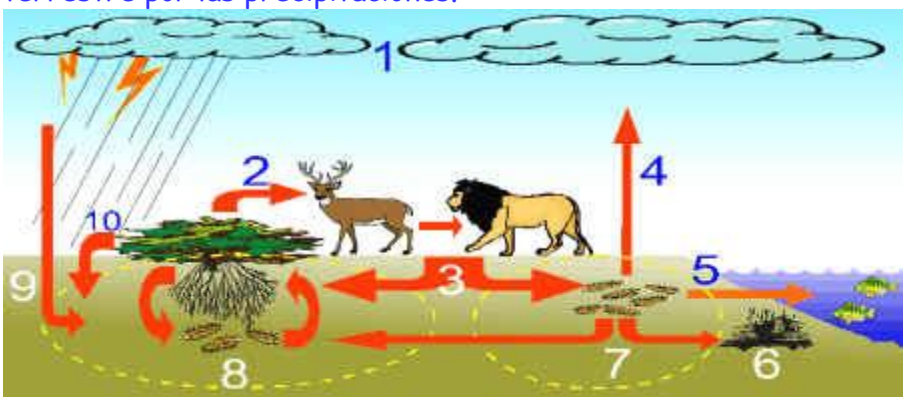
http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno.php

1 2 3 4 5 6

El nitrógeno, al igual que el carbono, es un elemento básico de la vida y está presente en determinadas reacciones químicas e intercambios entre la atmósfera, suelos y seres vivos, que se realizan en la naturaleza de forma cíclica (*ciclo biogeoquímico del carbono*). Intervienen fundamentalmente en este ciclo los vegetales y las bacterias fijadoras del nitrógeno. En ese proceso, el nitrógeno es incorporado al suelo, que será absorbido por los organismos vivos antes de regresar de nuevo a la atmósfera.

El proceso

Los organismos vivos no pueden utilizar directamente el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa, y que supone el 71% del total; para ello, debe ser transformado previamente en nitrógeno orgánico (nitratos o amoniaco). Esto se consigue, fundamentalmente, mediante la fijación biológica, aunque también las radiaciones cósmicas y la energía que producen los rayos en la atmósfera intervienen en este proceso en menor medida combinando nitrógeno y oxígeno que una vez transformado es enviado a la superficie terrestre por las precipitaciones.



CICLO DEL NITRÓGENO

1-Nitrógeno atmosférico, 2-Entrada en la cadena alimentaria, 3-Descomposición de la materias animales (amonificación), 4-Devolución a la atmósfera por desnitrificación, 5-Ingreso en el medio acuático por lixiviación, 6-Humus, 7-Nitrificación. 8-Fijación del nitrógeno en las raíces por las bacterias simbióticas, 9-Absorción del nitrógeno producido por la actividad eléctrica de la atmósfera, 10-Descomposición de las materias vegetales (amonificación).

En la fijación biológica intervienen bacterias simbióticas que viven en las raíces de las plantas, sobre todo leguminosas como el guisante, trébol o la alfalfa, pero también determinadas algas, líquenes, etc. Las bacterias se alimentan de estas plantas, pero a cambio le entregan abundantes compuestos nitrogenados. Es muy común en agricultura cultivar leguminosas en determinados terrenos pobres en nitrógeno, o que han quedado agotados por otras cosechas, para permitir rotar los sembrados en el mismo lugar.

Cuando el nitrógeno ha quedado fijado en las raíces de las plantas, ya puede ser absorbido por éstas e incorporarlo a los tejidos en forma de proteínas vegetales. Desde aquí, el nitrógeno ya entra en la cadena alimentaria mediante los animales herbívoros y carnívoros.
Cuando las plantas y animales mueren, mediante la descomposición se produce una transformación química de los compuestos nitrogenados, convirtiéndose en nitrógeno amoniacal (actividad denominada *amonificación*), última etapa de la mineralización del nitrógeno que está contenido en la materia orgánica del suelo.
Este amoniaco vuelve a ser en parte recuperado por las plantas, pero el resto alcanza el medio acuático o simplemente permanece en el suelo, donde será convertido en nitrógeno nítrico por los microorganismos, en un proceso que se denomina *nitrificación* y que es aprovechado de nuevo por las plantas. Los nitratos pueden volver a la atmósfera mediante la *desnitrificación*, o ser eliminado del suelo por *lixiviación* (disolución en el agua) y posterior arrastrado a los ríos y lagos.
La influencia humana en el ciclo del nitrógeno
Los humanos influyen en el ciclo del nitrógeno y pueden sobrecargarlo. Esto puede ser observado en los cultivos intensivos (que obligan a añadir fertilizantes nitrogenados para fertilizar las tierras) y la tala de árboles, que hacen descender el contenido de nitrógeno de los suelos.
El contrapunto a esta carestía de nitrógeno por exceso de cultivo, se encuentra en las tierras que han sido demasiado fertilizadas; la lixiviación del nitrógeno de estas tierras añaden un extra indeseable a los ecosistemas acuáticos cuando es arrastrado por las aguas fluviales. Este exceso de nitrógeno se agrava con la emisión a la atmósfera del dióxido de nitrógeno de las centrales térmicas y los automóviles; una vez descompuesto en la atmósfera es capaz de reaccionar con otros productos contaminantes, generando el conocido *smog* fotoquímico, que puede observarse sobre el cielo de muchas grandes ciudades con problemas de contaminación ambiental.

http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno2.php
Introducción

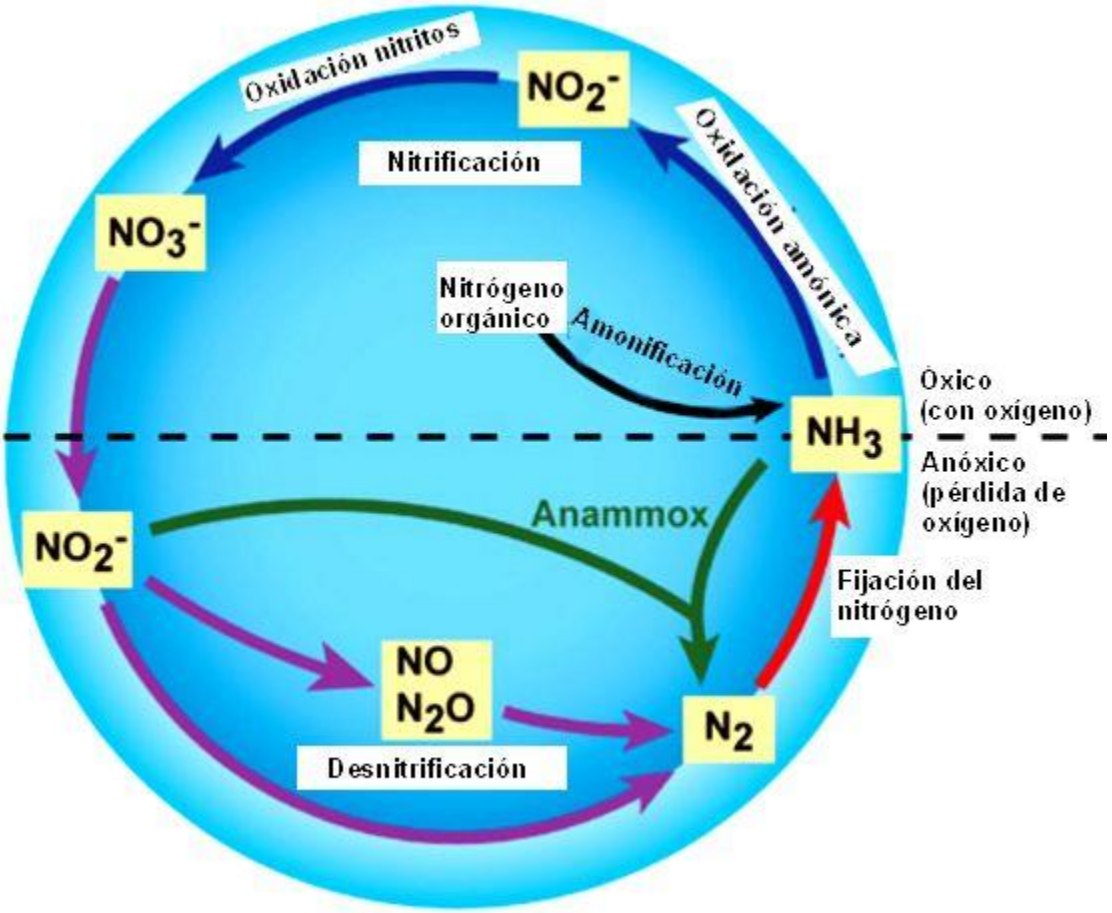
Está convenido que el nitrógeno constituye uno de los principales nutrientes, indispensables para la supervivencia de todos los organismos vivos. Es un componente necesario de muchas biomoléculas, incluyendo proteínas, ADN y la clorofila (presente en las cianobacterias y otros microorganismos con cloroplastos).
El nitrógeno es muy abundante en la atmósfera en forma de gas nitroso (N_2), pero la mayoría de los organismos no pueden acceder a él en forma aprovechable, convirtiéndose en un recurso escaso, y en muchas ocasiones siendo la principal causa de que variados ecosistemas queden limitados en su productividad.
Solo cuando el nitrógeno es convertido de gas dinitrógeno (nitrógeno molecular) en amoníaco (NH_3), queda disponible para ser asimilado por los productores primarios, como las plantas.

Además de gas nitroso (N_2) y amoníaco (NH_3), el nitrógeno se presenta en muchas formas diferentes, incluyendo formas inorgánicas (ejemplo, amoníaco, nitrato) y formas orgánicas (ejemplo, aminoácidos y ácidos nucleicos). En el ecosistema el nitrógeno sufre muchas transformaciones diferentes, y los microorganismos aprovechan o participan para su propio crecimiento en el proceso de cambio de una forma a otra.

La productividad en la biosfera depende, en gran medida, de una serie de actividades de diversos microorganismos, como son las bacterias, arqueas y hongos. La clave de esa productividad se encuentra en la transformación del nitrógeno en sus múltiples estados de oxidación.

Es una evidencia, que desde comienzos del pasado siglo XX, los humanos han influido en el ciclo global del nitrógeno, ejerciendo un impacto creciente. La fabricación de fertilizantes, así como la combustión de hidrocarburos y otras materias de origen fósil, ha alterado de forma significativa el nivel de nitrógeno fijado en los ecosistemas terrestres. Más aún, expertos predicen que dentro de pocas décadas la cantidad de nitrógeno fijado por actividades humanas, superará la realizada por procesos microbianos (descrito por el biólogo Peter Vitousek en 1997).

El aumento del nitrógeno disponible puede causar la alteración de los ecosistemas en forma de aumento de la productividad primaria, impactando en el almacenamiento de carbono (descrito previamente por el bioquímico James N. Galloway, en 1994). Es por ello que los ecologistas están prestando una gran atención a este tema, debido a la importancia que tiene el nitrógeno y sus transformaciones en todos los ecosistemas.



Las grandes transformaciones del nitrógeno son (véase el gráfico superior):

- Fijación del nitrógeno
- Nitrificación
- Desnitrificación
- Anammox
- Amonificación

http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno3.php

Fijación del nitrogeno

El gas del nitrógeno (N2) representa casi el 80% de la atmósfera de la Tierra, sin embargo, este gas es a menudo el nutriente que limita la producción primaria en muchos ecosistemas. ¿Por qué sucede esto? Ello es debido a que las plantas y animales no son capaces de utilizar el nitrógeno en esta forma.

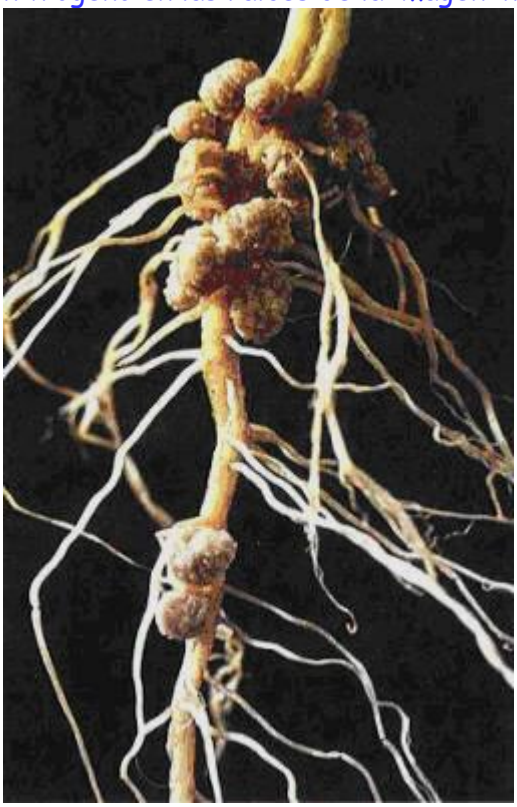
Para que el nitrógeno esté disponible para elaborar proteínas, ADN y otros compuestos biológicos importantes, debe convertirse primero en una forma química diferente. El proceso de conversión de N2 en nitrógeno biológicamente asimilable se llama "fijación del nitrógeno". El nitrógeno es un compuesto muy estable debido a la fuerza que presenta un triple enlace entre sus átomos, y por ello se necesita una gran cantidad de energía para romper este

vínculo; todo el proceso requiere ocho electrones y por lo menos dieciséis moléculas de ATP (véase la fórmula de abajo).

$$N_2 + 8\,H^+ + 8\,e^- \longrightarrow 2\,NH_3 + H_2$$

Como resultado, sólo un grupo concreto de procariotas son capaces de llevar a cabo este exigente proceso energético. Aunque la mayoría de la fijación de nitrógeno es llevado a cabo por los procariotas, un pequeño porcentaje puede ser fijado de manera abiótica, es decir, por procesos no biológicos, ejemplo de rayos o determinados procedimientos industriales; en ese proceso abiótico también se incluye la combustión de combustibles fósiles.

Algunos organismos fijadores del nitrógeno viven libremente, mientras que otros son simbióticos, que requieren una estrecha relación para llevar a cabo el proceso. La mayoría de las asociaciones simbióticas son muy específicas, con complejos mecanismos que ayudan a mantener la simbiosis. Por ejemplo, exudados de las raíces de las plantas leguminosas (como los guisantes, trébol, soja...) sirven como señal para ciertas especies de *Rhizobium*, unas bacterias fijadoras del nitrógeno. Esta señal hace que las bacterias sean atraídas hacia las raíces, iniciándose una compleja serie de eventos que desencadenan todo el proceso de fijación del nitrógeno en los nódulos que se forman en las raíces (véanse los nódulos de nitrógeno en las raíces de la imagen inferior).



Variadas de estas bacterias fijadoras del nitrógeno son aeróbicas (viven en presencia de oxígeno), otras son anaerobias (pueden vivir en ausencia de oxígeno); también existen bacterias fotótrofas o fotoautótrofas (que procesan la energía de la radiación luminosa mediante la fotosíntesis), y también las hay quimiotróficas (que en lugar de luz utilizan productos químicos como fuente de energía).

Aunque entre los organismos que llevan a cabo la fijación de nitrógeno existe una gran diversidad fisiológica y diversidad filogenética, todos ellos tienen una enzima compleja y similar llamada *nitrogenasa* que cataliza la reducción de N2 a NH3 (amoníaco), y que puede ser utilizado como un marcador genético para identificar el potencial de fijación del nitrógeno.
Una de las características de la nitrogenasa es que el complejo enzimático es extremadamente sensible al oxígeno, desactivándose cuando está presente Esto presenta un dilema interesante para los fijadores de nitrógeno aeróbicos, y en particular para los fijadores de nitrógeno fotosintéticos, ya que en realidad producen oxígeno. Con el tiempo, los fijadores de nitrógeno desarrollaron diferentes maneras de proteger su nitrogenasa del oxígeno. Por ejemplo, algunas cianobacterias tienen estructuras llamadas heterocistos, que proporcionan un ambiente bajo en oxígeno para la enzima; eso significa que en los lugares donde actúan tales microorganismos, la fijación del nitrógeno se realiza casi en su totalidad. Otros fijadores de nitrógeno fotosintéticos aprovechan la noche para realizar la fijación, momento en que sus fotosistemas se encuentran en estado latente, sin producción de oxígeno al no recibir energía luminosa.
Los genes para la nitrogenasa se distribuyen mundialmente en variados ambientes, habiendo sido localizados en muchos hábitats aeróbicos como océanos, lagos, suelos...; y también en hábitats que pueden ser anaeróbico o microaerofílico, como sedimentos, lagos hipersalinos, ambientes microbianos, crustáceos planctónicos o las tripas de las termitas (descrito por el microbiólogo Jonathan Zehr en 2003). Así pues, la amplia distribución de los genes fijadores del nitrógeno sugiere que los organismos responsables muestran una muy amplia gama de condiciones ambientales, como podría esperarse de un proceso que es fundamental para la supervivencia de la vida sobre la Tierra.

http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno4.php
La nitrificación

La nitrificación es el proceso que convierte el amoníaco en nitrito y luego en nitrato. Constituye otro paso importante en el ciclo global del nitrógeno. La mayoría de la nitrificación ocurre aeróbicamente (en presencia de oxígeno) y es llevado a cabo casi exclusivamente por los procariotas.
Hay dos etapas distintas de la nitrificación que procesadas por distintos tipos de microorganismos. El primer paso es la oxidación del amoníaco a nitrito, realizado por los microbios conocidos como amoníaco-oxidantes. Éstos convierten el amoníaco en nitrito a través de la hidroxilamina intermedia, un proceso que requiere de dos enzimas diferentes, monooxigenasa amoníaco y oxidorreductasa de hidroxilamina (véase la fórmula inferior).

El proceso genera una cantidad muy pequeña de energía en relación con muchos otros tipos de metabolismos, por lo que estos productores son muy lentos en su trabajo. Además, los oxidantes de amoníaco aeróbicos también son autótrofos, y al igual que los organismos fotosintéticos fijan el dióxido de carbono para producir carbón orgánico, pero usando amoniaco en vez de radiación luminosa como fuente de energía.

A diferencia de la fijación del nitrógeno que es llevado a cabo por muchos microorganismos diferentes, la oxidación de amoniaco la realizan los procariotas. No obstante, hasta hace poco se pensaba que toda la oxidación del amoníaco era ejercida por sólo unos pocos tipos de bacterias de los géneros Nitrosomonas, Nitrosospira, y Nitrosococcus; sin embargo, en 2005 se descubrió una arqueobacteria que también podía oxidar amoníaco (descrito por Koenneke en 2005). Desde entonces, se han encontrado a menudo en muchos hábitats arqueas amoniaco-oxidantes en número superior a las típicas bacterias oxidantes de amoníaco. Las arqueas amoniaco-oxidantes se han encontrado abundantemente en los océanos, suelos, y superficies salinas, sugiriendo que realizan un importante papel en el ciclo del nitrógeno. Actualmente, sólo una arquea amoniaco-oxidante consiguió crecer en un cultivo puro, la *Nitrosopumilus maritimus*, por lo que todavía es limitada la comprensión sobre su diversidad fisiológica.

El segundo paso en la nitrificación es la oxidación de nitrito (NO2-) a nitrato (NO3-) (véase la fórmula inferior).

Este proceso lo ejercen un grupo completamente separado de los procariotas, conocido como bacterias oxidantes de nitrito. Algunos de los géneros implicados en la oxidación de nitrito incluyen las Nitrospira, Nitrobacter, Nitrococcus y Nitrospina. De forma similar a la oxidación del amoníaco, la energía generada a partir de la oxidación de nitrito a nitrato es muy pequeña, y por lo tanto el rendimiento es muy escaso. De hecho, los oxidantes de amoniaco y nitrito deben procesar muchas moléculas de uno u otro con el fin de fijar una sola molécula de CO2. Para que se haga una nitrificación completa, deben concurrir tanto la oxidación del amoníaco como la oxidación de nitrito.

Los amoniaco-oxidantes y nitrito-oxidantes se hallan omnipresentes en los ambientes aeróbicos. Han podido ser ampliamente estudiados en entornos naturales como suelos, estuarios, lagos y ambientes de alta mar. Sin embargo, los oxidantes de amoniaco y nitrito también juegan un papel muy importante en el tratamiento de aguas residuales, mediante la eliminación de niveles potencialmente dañinos de amonio que podrían conducir a la contaminación de las aguas receptoras. Una amplia investigación se ha centrado en cómo mantener poblaciones estables de estos importantes microorganismos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, los citados oxidantes ayudan a mantener los

acuarios sanos al facilitar la eliminación del amonio excretado a través de la orina de los peces, y que resulta potencialmente tóxico

http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno5.php

Anammox

El anammox es un acrónimo del inglés "Anaerobic Ammonium Oxidation", traducido como "oxidación anaerobia del ión amonio" u "oxidación anaerobia del amoníaco".

Tradicionalmente, se creía que toda nitrificación se llevaba a cabo bajo condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno), pero a finales del siglo pasado se descubrió un nuevo tipo de oxidación del amoniaco que se produce en condiciones anóxicas (en ambientes con el oxígeno agotado), y que fue descrito por el microbiólogo Marc Strous en 1999.

El anammox lo realizan los procariotas que pertenecen al filo de las bacterias *Planctomycetes*. La primera bacteria anammox que se descubrió fue la *anammoxidans Brocadia*. Estos microorganismos oxidan el amoníaco mediante el uso de nitrito como aceptor de electrones para producir nitrógeno gaseoso (véase la fórmula inferior).

Las bacterias anammox fueron descubiertas por primera vez en biorreactores anóxicos de plantas de tratamiento de aguas residuales, pero posteriormente se hallaron también en variados sistemas acuáticos, incluidas las áreas oceánicas de bajo nivel de oxígeno, sedimentos costeros y estuarios, manglares y lagos de agua dulce. En algunas áreas del océano, se considera que el proceso anammox es responsable de una pérdida significativa de nitrógeno (descrito por el microbiólogo Kuypers en 2005). Sin embargo, también se argumentó (Ward, en 2009) que es la desnitrificación, en lugar del anammox, la responsable de la mayor pérdida de nitrógeno en muchas áreas. Ya sea el anammox o la desnitrificación el responsable de la mayor pérdida de nitrógeno oceánico, está claro que el anammox sí representa un proceso importante en el ciclo global del nitrógeno.

La desnitrificación

La desnitrificación es el proceso que convierte el nitrato en nitrógeno gaseoso, eliminando así el nitrógeno biodisponible y devolviéndolo a la atmósfera. El gas dinitrógeno (N_2) es el producto final de la desnitrificación, pero existen otras formas gaseosas intermedias del nitrógeno (véase la fórmula inferior). Algunos de estos gases, como el óxido nitroso (N_2O), se consideran gases de efecto invernadero, que reaccionan con el ozono y contribuyen a la contaminación del aire.

A diferencia de la nitrificación, la desnitrificación es un proceso anaeróbico (en ausencia de oxígeno), que sucede principalmente en suelos, sedimentos y zonas anóxicas de lagos y

océanos, o sea, que han perdido sus niveles de oxígeno. De forma similar a la fijación del nitrógeno, la desnitrificación la llevan a cabo un grupo diverso de procariotas, y no hay evidencia de que algunas eucariotas también sen capaces de la desnitrificación (descrito por Risgaard-Petersen en 2006). Algunas bacterias desnitrificantes incluyen especies de los géneros Bacillus, Paracoccus, y Pseudomonas. Los desnitrificadores son quimioorganótrofos, y por tanto también deben ser suministrados con alguna forma de carbono orgánico.
La desnitrificación es importante ya que elimina nitrógeno fijado (nitrato) del ecosistema, y lo devuelve a la atmósfera en una forma biológicamente inerte (N2). Esto es particularmente importante en la agricultura, donde la pérdida de nitratos en los fertilizantes es perjudicial y costoso. Sin embargo, la desnitrificación en tratamiento de aguas residuales sí tiene un papel muy beneficioso, mediante la eliminación de nitratos no deseados de los flujos de aguas residuales, lo que reduce las posibilidades de que el agua descargada de las plantas de tratamiento tenga consecuencias indeseables, como puede ser la floración de algas.

http://www.natureduca.com/cienc_gen_ciclonitrogeno6.php
La amonificación

Cuando un organismo excreta los residuos o muere, el nitrógeno de sus tejidos se halla en la forma de nitrógeno orgánico (como aminoácidos, ADN). Seguidamente, varios hongos y procariotas descomponen el tejido y liberan de nuevo en el ecosistema el nitrógeno inorgánico como amoníaco, en el proceso conocido como amonificación. El amoníaco se halla entonces disponible para ser absorbido por las plantas y varios microorganismos.
Implicaciones ecológicas de alteraciones humanas en el ciclo del nitrógeno
Muchas actividades humanas tienen un impacto significativo en el ciclo del nitrógeno. La quema de combustibles fósiles, la aplicación de fertilizantes a base de nitrógeno, y otras actividades, pueden aumentar drásticamente la cantidad de nitrógeno biológicamente disponible en un ecosistema. Debido a que la disponibilidad de nitrógeno limita a menudo la productividad primaria de muchos ecosistemas, los grandes cambios en esa disponibilidad pueden llevar a graves alteraciones del ciclo del nitrógeno en los ecosistemas acuáticos y terrestres. La fijación de nitrógeno industrial aumentó exponencialmente desde la década de 1940, y la actividad humana ha duplicado la cantidad de fijación de nitrógeno mundial (descrito por Vitousek en 1997).

En los ecosistemas terrestres, la adición de nitrógeno puede conducir a un desequilibrio de nutrientes en los árboles, cambios en la salud de los bosques, y disminución de la biodiversidad. Con el aumento de la disponibilidad de nitrógeno a menudo hay un cambio en el almacenamiento de carbono, lo que repercute en más procesos y no sólo en el ciclo del nitrógeno. En los sistemas agrícolas, los fertilizantes se utilizan ampliamente para aumentar la producción de las plantas, pero el nitrógeno no utilizado (por lo general en forma de nitrato), puede filtrarse más allá del área de cultivos terrestres, y terminar fluyendo hacia

los arroyos y ríos y, en última instancia, terminar interceptando el agua potable que consumen los humanos y animales. El proceso de elaboración de fertilizantes sintéticos para uso en la agricultura al provocar que N2 reaccione con H2, conocido como el proceso Haber-Bosch, ha aumentado significativamente en las últimas décadas. De hecho, hoy en día, casi el 80% del nitrógeno que se encuentra en los tejidos humanos se originó a partir del proceso de Haber-Bosch (descrito por Howarth en 2008).

Gran parte del nitrógeno aplicado a las áreas agrícolas y urbanas entra finalmente en los ríos y sistemas cercanos a la costa. En los sistemas marinos costeros, el aumento de nitrógeno a menudo puede conducir a la anoxia (pérdida de oxígeno) o hipoxia (bajo nivel de oxígeno), alteración de la biodiversidad, cambios en la estructura de la red alimentaria, y la degradación general de hábitat. Una consecuencia común del aumento de nitrógeno es una proliferación de algas nocivas (descrito por Howarth en 2008). Las floraciones tóxicas de ciertos tipos de dinoflagelados se han asociado con alta mortalidad de peces y mariscos en algunas áreas. Incluso sin esos efectos económicos catastróficos, la adición de nitrógeno puede conducir a cambios en la biodiversidad y en la función general de los ecosistemas. Algunos incluso han sugerido que las alteraciones en el ciclo del nitrógeno pueden conducir a un mayor riesgo de enfermedades parasitarias e infecciosas entre los humanos y la vida silvestre (descrito por Johnson en 2010). Además, el aumento de nitrógeno en los sistemas acuáticos pueden llevar a un aumento de la acidificación en los ecosistemas de agua dulce