

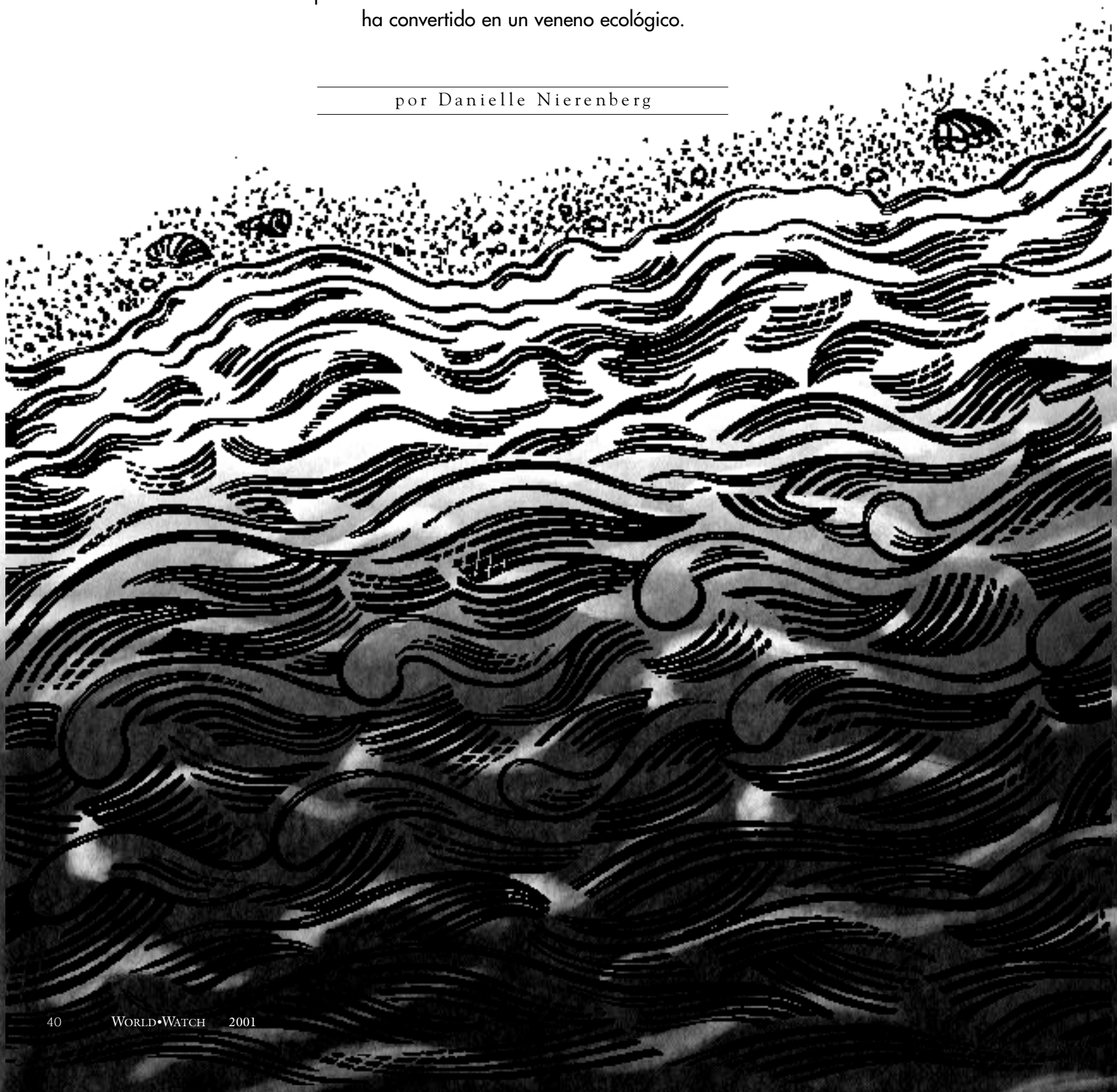
# Fertilidad tóxica

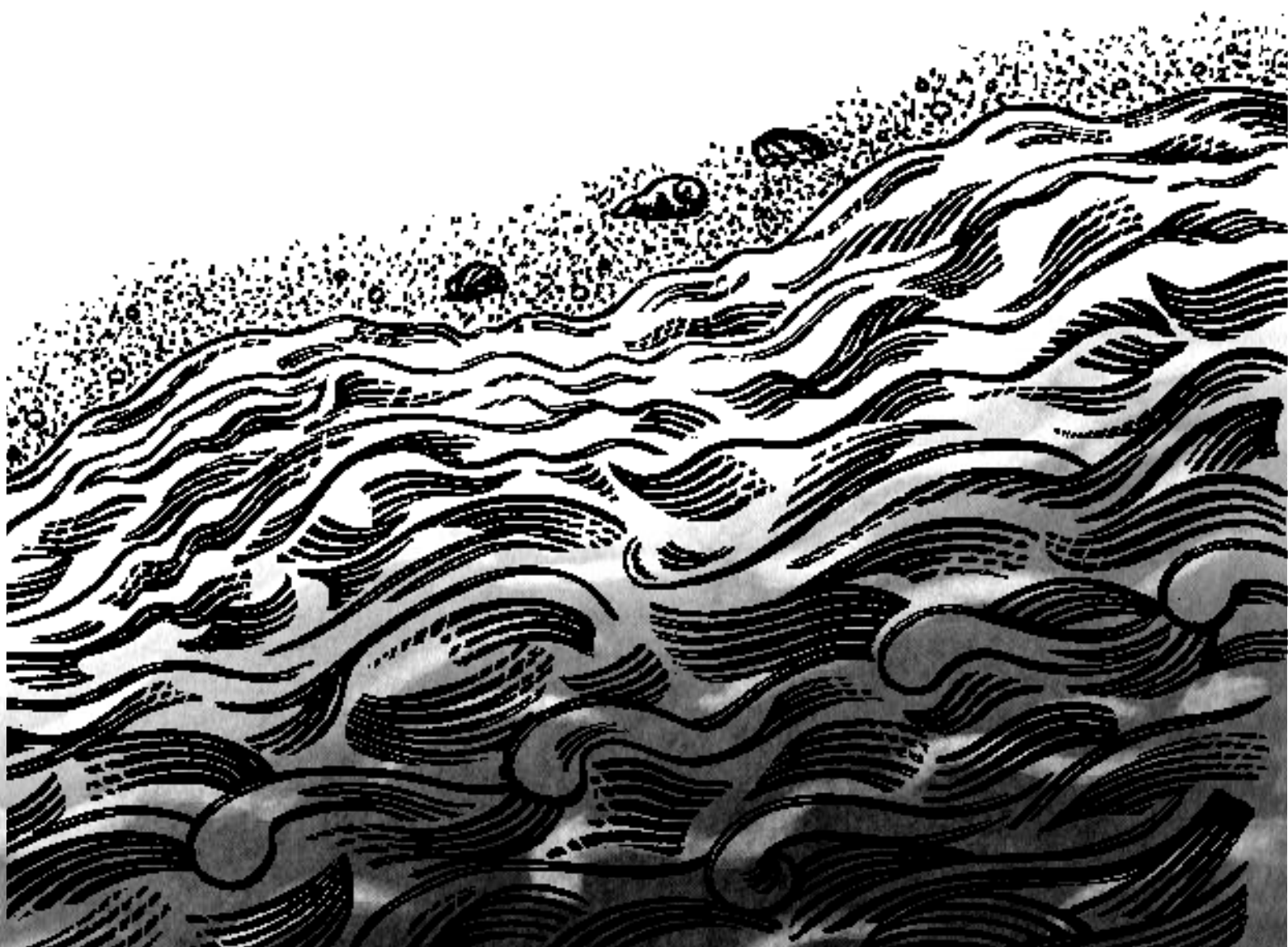
En el último medio siglo, la cantidad de nitrógeno biológicamente activo en circulación a través de los organismos vivos probablemente se ha duplicado. Este exceso antinatural de un nutriente esencial se ha convertido en un veneno ecológico.

---

por Danielle Nierenberg

---





**E**l pasado mes de diciembre las negociaciones sobre el tratado del clima llegaron a un callejón sin salida. Se supone que el proceso del tratado permitirá reducir las emisiones de carbono. Pero cuando los delegados se reunieron en La Haya, en Holanda, en la sexta Conferencia de las Partes, la agenda se centró no tanto en la reducción del consumo de combustibles fósiles como en el problema de los “sumideros de carbono.” Los sumideros son áreas, principalmente bosques jóvenes, que absorben más carbono del que emiten. Dado que retiran carbono de la atmósfera, los sumideros ofrecen una atractiva opción contable a Estados Unidos y algunos otros países que emiten grandes cantidades de carbono. Estos países pretenden reclamar “créditos de carbono” para evitar reducir sus emisiones, en base a sus sumideros. ¿Qué cantidad puede adjudicarse a los sumideros, si

ILUSTRACION DE MILAN KECMAN

se permite? En una u otra manera, esa pregunta subyacía en la mayoría de las discusiones, y los delegados no pudieron llegar a un acuerdo. Fallaron, en otras palabras, en la manera de equilibrar el ciclo global del carbono.

Aparte de las razones inmediatas para preocuparse por este fracaso, hay la cuestión de otro ciclo natural desequilibrado. El nitrógeno, como el carbono, juega un papel importante en los grandes ciclos bioquímicos de la vida. Y cada vez más, el ciclo de nitrógeno se ve condicionado por la actividad humana, un proceso que podría afectar al futuro de prácticamente todos los ecosistemas de la Tierra. Nuestras economías tienen una necesidad urgente de una “auditoría del nitrógeno.”

Como el carbono, el nitrógeno es un ingrediente básico de los organismos vivos. Se encuentra, por ejemplo, en el ADN, en las proteínas y en la clorofila, el pigmento que realiza la fotosíntesis. El nitrógeno

comparte otra característica importante del carbono: es muy común. Representa el 78 por ciento de la atmósfera. Pero casi todo este nitrógeno atmosférico es dinitrógeno elemental, o  $N_2$ , en forma de dos átomos de nitrógeno unidos. El nitrógeno elemental no puede ser metabolizado por la mayoría de los organismos vivos. El nitrógeno sólo se hace biológicamente activo cuando es “fijado”, es decir, incorporado en otras moléculas, principalmente amonio ( $NH_4$ ) y nitrato ( $NO_3$ ). El nitrógeno fijado fluye a lo largo de la cadena alimentaria: primero es absorbido por las plantas, luego por los animales herbívoros y posteriormente por sus depredadores y parásitos. La muerte en cada fase libera los compuestos de nitrógeno que vuelven a incorporarse de nuevo al ciclo. El proceso de fijación es lo que hace al ciclo del nitrógeno tan diferente del ciclo del carbono. A pesar de la abundancia de nitrógeno elemental, el nitrógeno fijado a menudo es lo que los científicos llaman un “nutriente limitante.” Bajo las condiciones naturales normales, a menudo escasea, y por lo tanto la cantidad de nitrógeno disponible es un regulador importante de los procesos ecológicos.

La clave de la parte biológica del ciclo del nitrógeno son ciertas bacterias capaces de fijar el nitrógeno atmosférico elemental. Algunas de estas bacterias viven en el suelo, a menudo en estrecha asociación con las plantas que pertenecen a la familia de las leguminosas, como el fríjol. Esta relación beneficia a ambas partes: las plantas obtienen los compuestos de nitrógeno; las bacterias consiguen hidratos de carbono que las plantas producen a través de la fotosíntesis. (A veces se dice que las plantas fijan el nitrógeno, pero esto no es exacto.) La fijación del nitrógeno también tiene lugar en el agua. Uno de los mayores misterios del ciclo de nitrógeno es el papel del plancton marino. Estas plantas microscópicas fijan enormes cantidades de nitrógeno, pero su papel en el ciclo global tiene todavía que definirse claramente. Además de estos organismos vivos, hay procesos naturales inanimados que fijan grandes cantidades de nitrógeno: la radiación solar sirve para combinar el nitrógeno y el oxígeno para crear nitratos.

Las actividades humanas recientes han aumentado mucho la tasa a la que se fija el nitrógeno. Se piensa que la cantidad de nitrógeno que circula a través de los organismos vivos se ha duplicado desde los años cincuenta. Y, cada vez más, en bosques y campos, en ríos y a lo largo de las costas, los científicos culpan al exceso de nitrógeno fijado de un amplio rango de problemas ecológicos, algunos de ellos obvios, otros más sutiles. Cualquiera de estos problemas se debe a alguna causa local o regional; el equilibrio de nitrógeno de un río podría verse perturbado por el aumento de la cantidad de aguas residuales. Pero hay tres actividades que ocasionan la mayoría de los problemas.

En primer lugar la combustión del carbón y del petróleo libera grandes cantidades de nitrógeno fija-

do al quemar los residuos de antiguas plantas. La economía de los combustibles fósiles no sólo está alterando el ciclo del carbono sino también el ciclo de nitrógeno. En segundo lugar, la progresiva destrucción de bosques y zonas húmedas libera el nitrógeno almacenado en estas áreas naturales, al igual que el carbono. Ambas actividades sumadas emiten 90 millones de toneladas de nitrógeno fijado al año; esta cifra representa el 43 por ciento de la emisión antropocéntrica al ciclo de nitrógeno. (Ver tabla.)

El resto, unos 120 millones de toneladas, proviene de la agricultura. Los cultivos que fijan el nitrógeno producen un tercio de esa cantidad; el resto viene de los fertilizantes artificiales. El nitrógeno fijado es el componente básico de los fertilizantes. A través de su dependencia de los fertilizantes artificiales, la moderna agricultura convencional se ha vuelto, en cierto sentido, una forma de gestión industrial del nitrógeno. Este desarrollo es relativamente reciente en la historia agrícola. Las técnicas de bajo coste para sintetizar el amoníaco surgieron inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial. El amoníaco barato condujo a la producción en masa de fertilizantes artificiales y a lo que el ecólogo David Tilman llama “los 35 años más gloriosos de la producción agrícola.”

Para los agricultores en los países industrializados, y cada vez más también en los países en desarrollo, este nutriente hoy está disponible en cantidades casi ilimitadas. Como es típico en los productos baratos, se despilfarra mucho. El fertilizante a menudo se aplica de forma muy ineficiente; gran parte nunca alcanza las plantas cultivadas. Se lixivia en los campos y arroyos, o se convierte en gas como el óxido nitroso y escapa a la atmósfera.

La práctica totalidad de los cultivos en los países industrializados están saturados de más nitrógeno del que pueden asimilar. Pero la producción de fertili-

## El ciclo del nitrógeno

Emisiones anuales de nitrógeno fijado a causa de actividades antropocéntricas.

Fuente	Millones de Tm
Fertilizantes	80
Cultivos que fijan el nitrógeno	40
Combustibles fósiles	20
Quema de biomasa	40
Drenaje de zonas húmedas	10
Deforestación	20
Total actividades humanas	210
Total de nitrógeno fijado por fuentes naturales*	140

\*Sólo fuentes terrestres; las fuentes marinas no se han estimado con fiabilidad.

Fuente: Instituto de Recursos Mundiales, “Global Nitrogen Glut”, disponible en [www.wri.org/wri/wr-98-99/nutrient.htm](http://www.wri.org/wri/wr-98-99/nutrient.htm)

zantes continúa creciendo, para responder a la fuerte demanda del mundo en desarrollo. Con las tasas actuales de producción, el fertilizante agrega unos 80 millones de toneladas de nitrógeno fijado al ciclo, y se espera alcanzar los 134 millones de toneladas en el año 2020, sólo 6 millones de toneladas menos que la suma de todas las fuentes terrestres naturales.



En la mañana del 22 de junio de 1995, el muro de una "laguna artificial de residuos" se rompió en una granja industrial en Carolina del Norte. Unos 95 millones de litros putrefactos de orina y excrementos de cerdos se vertieron, extendiéndose por los campos vecinos y una carretera, para acabar en el Río Nuevo. Millones de peces y otros organismos acuáticos murieron en uno de los peores vertidos en la historia del estado. Desgraciadamente, no fue un accidente aislado. Las grandes granjas animales, conocidas como "instalaciones concentradas de alimentación de animales", son un componente importante del sector agrícola del estado, y los vertidos son cada vez más frecuentes.

Al igual que las aguas residuales, la contaminación a causa de instalaciones concentradas de alimentación de animales tiene un alto contenido de nitrógeno, y la mayor parte procede de los alimentos artificiales para engordar el ganado. Los agricultores han sustituido el estiércol por las bolsas de fertilizantes. Los costes ambientales de este sistema lo hacen insostenible a largo plazo. En la actualidad los fertilizantes son la fuente de cerca de un tercio de las proteínas consumidas por los seres humanos (tanto de animales como de plantas), según Vaclav Smil, profesor de la Universidad de Manitoba.

Cada cerda y sus cochinitos generan anualmente 1,9 toneladas de residuos, que simplemente no pueden acumularse en las lagunas, dados sus obvios límites de espacio, por lo que deben extenderse por los cultivos vecinos. Pero los cultivos no pueden usar tanto nitrógeno. Al agregar demasiado pueden reducirse los rendimientos; las plantas, al igual que las personas, pueden alimentarse en exceso, y la excesiva absorción de nitrógeno tiende a interferir con la habilidad de una planta para fabricar los varios productos químicos necesarios para su metabolismo. El exceso de nitrógeno también puede alterar el equilibrio de la comunidad de organismos del suelo, favoreciendo sólo a aquellos que prosperan en condiciones de altas concentraciones de nitrógeno, a costa de muchos otros.

Encontrar la cantidad de purines que puede ser esparcida es una tarea muy difícil. Por cada cochinito se requieren 1,2 hectáreas de tierra. (Esta proporción no está determinada por la concentración de nitrógeno del estiércol sino por el fósforo que también es un nutriente y, por consiguiente, capaz de causar algunos de los problemas de "exceso de fertilización" del

nitrógeno. El fósforo, en el caso del estiércol del cerdo, también debe acomodarse a la cantidad de nitrógeno.) Una granja de 50.000 animales necesitaría unas 60.000 hectáreas de cultivos. Con frecuencia se extiende demasiado estiércol en los campos. O se aplica en los momentos inadecuados, cuando los cultivos no pueden absorber los nutrientes de forma eficaz. O a veces el estiércol se extiende en cultivos que fijan el nitrógeno como la soja y la alfalfa, que requieren poco o ningún fertilizante adicional. En Norteamérica se estima que sólo la mitad del estiércol se emplea de manera adecuada. El resto termina contaminando el agua, el aire y el propio suelo.

La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas puede ocasionar serios riesgos para la salud pública. (Ver "La crisis de las aguas subterráneas," World Watch n° 10, 2000.) Los altos niveles de nitrato en los pozos que abastecen al ganado aumentan el riesgo de aborto. En casos extremos, la contaminación por nitratos puede causar metahemoglobinemia, o "el síndrome de los niños azules," una forma de intoxicación infantil en la cual se reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, a veces hasta ocasionar la muerte. La contaminación del agua por nitratos también es una seria preocupación ecológica. Quizás la forma más obvia de alteración ecológica es la floración de algas, crecimientos explosivos de algas y cianobacterias que pueden sofocar a muchos otros organismos acuáticos. Hay otros efectos más sutiles; ciertos declives de anfibios parecen deberse a la exposición crónica a niveles elevados de nitrato. (Ver "El declive de los anfibios," World Watch n° 11, 2000.)

Pero como sabe cualquiera que vive cerca de una gran instalación de cría de ganado, la contaminación de las aguas subterráneas no es el mayor impacto ambiental. Si el estiércol se expone al aire, más del 95 por ciento del nitrógeno escapará a la atmósfera como amoníaco gaseoso ( $\text{NH}_3$ ). En la vecindad el proceso produce una experiencia olfativa que es difícil olvidar. Pero al poco tiempo el nitrógeno normalmente se deposita dentro de un área de 80 a 160 kilómetros de su fuente, contaminando el agua y el suelo.

Al intensificarse la producción de ganado, tales problemas son cada vez más comunes. Los 7 millones de cerdos de Carolina del Norte generan más residuos que los 6,5 millones de residentes humanos del estado. La producción intensiva de ganado es la regla en Estados Unidos y Europa occidental, y los productores quieren extender tales prácticas a todo el mundo. La demanda de carne está creciendo en el mundo en desarrollo, y los costes son generalmente más bajos que en Estados Unidos o Europa.

China está interesada en promover la producción de carne para satisfacer la creciente demanda doméstica, y varias multinacionales de EE UU están intentando venderles los modelos de grandes unidades cerdos, pollos y vacuno. En Filipinas, dos empresas,

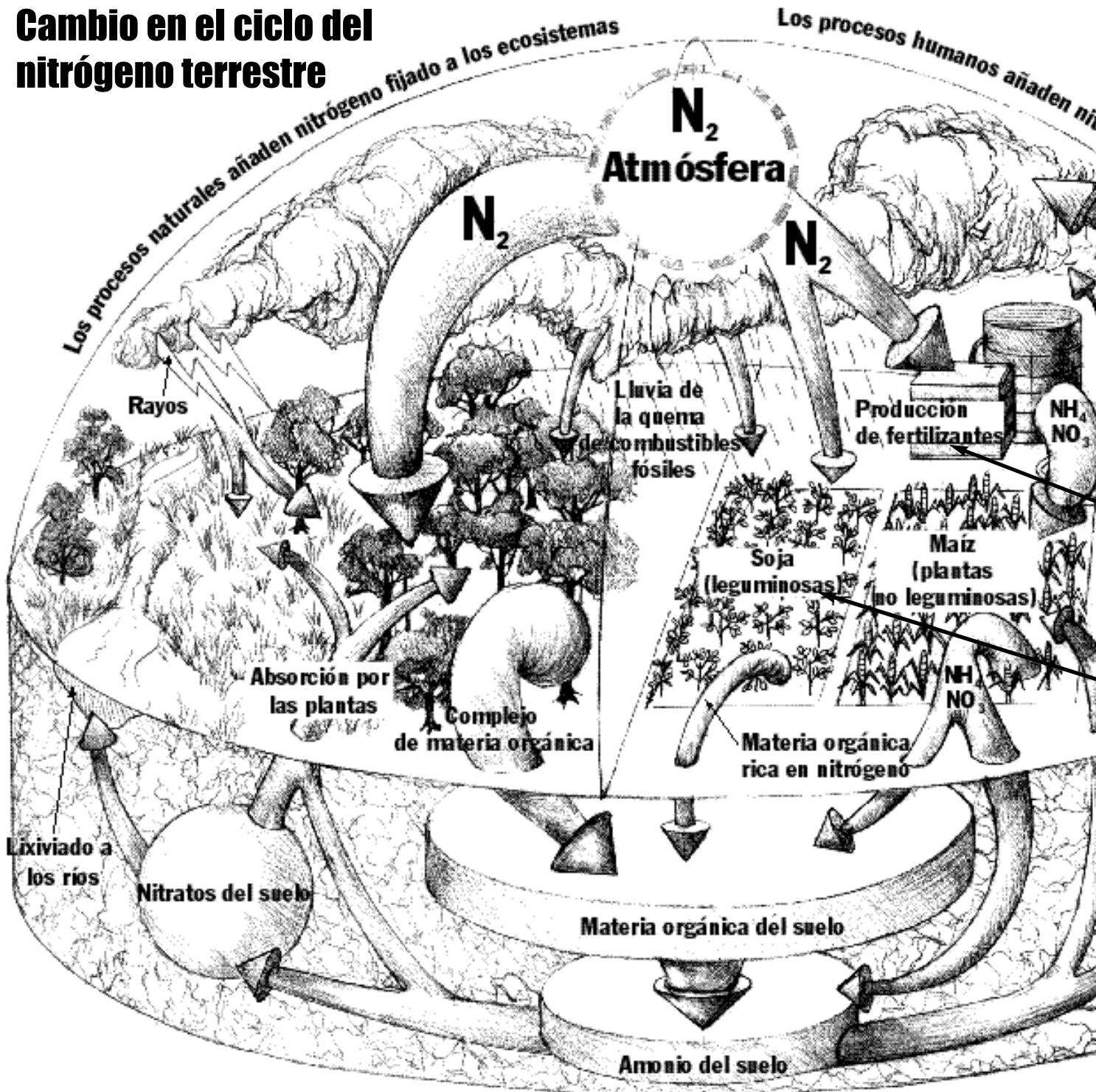
Tyson Foods y Purina Mills, abrieron una enorme granja de cría de cerdos cerca de Manila en 1998, capaz de producir 100.000 cerdos por año.

Tomado globalmente, la producción de ganado es la causa principal de la aportación de nitrógeno al ciclo natural. La población del planeta de unos 2.500 millones de cerdos y vacas emiten anualmente más de 80 millones de toneladas de nitrógeno. La población humana, en comparación, genera 30 millones de toneladas. El estiércol, antes un valioso recurso de las granjas, hoy se produce en tales cantidades que podría considerarse un residuo tóxico.

A lo largo de los 18.000 kilómetros del litoral chino cada vez hay más mareas rojas. Los científicos sospechan que se debe a dos factores. Las temperaturas de la superficie del mar en la región están subiendo, un efecto probable del cambio climático, y cada vez se vierten más residuos ricos en nitrógeno en las aguas costeras de China, unos 8.000 millones de toneladas de aguas residuales, residuos industriales y agrícolas.

Las aguas calientes y ricas en nutrientes son el hábitat ideal para las algas, y las mareas rojas resultantes no sólo envenenan a los peces y al marisco, sino también a cualquier persona que los consuma.

## Cambio en el ciclo del nitrógeno terrestre



Las floraciones no tóxicas de algas también están aumentando. Aunque estas algas no producen ningún veneno, consumen la mayor parte del oxígeno disponible en el agua al descomponerse. Las “zonas muertas” resultantes—áreas donde las concentraciones de oxígeno disuelto son demasiado bajas para soportar la mayoría de las formas de vida—pueden durar durante meses.

Las floraciones de algas no sólo se producen en China. Quizás el más famoso de estos eventos es la floración recurrente en el Golfo de México, frente a las costas de Texas y Louisiana. Casi cada primavera, y cada vez más en otras estaciones, se forman nubes espesas de algas en estas aguas. La zona muerta es inmensa—en 1999 cubrió 18.000 kilómetros cuadrados—y ocasiona pérdidas por millones de dólares a

las pesquerías de la región todos los años. Aquí, también, el nitrógeno es el factor clave (aunque las cargas crecientes de fósforo y sílice también alimentan a las algas). La mayor parte del nitrógeno proviene de las aguas residuales y de las actividades agrícolas

Pero las actividades ganaderas y las aguas residuales no son los únicos componentes del ciclo del nitrógeno que promueven las mareas rojas. En el Mar Báltico, el exceso de nitrógeno viene de las emisiones de combustibles fósiles. Más de un tercio del nitrógeno que entra en el Mar consiste en óxidos de nitrógeno generados por la combustión del carbón y el petróleo en los países circundantes. El Báltico es un ambiente natural bajo en nitrógeno que soporta una única comunidad de organismos adaptado a esas circunstancias. Pero al aumentar los niveles de nitrógeno



**Cuando se fija el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) inerte de la atmósfera, se convierte en un nutriente esencial para las plantas. Pero demasiado nitrógeno fijado puede perjudicar funciones fisiológicas y ecológicas esenciales. En condiciones naturales, la cantidad de nitrógeno fijado es limitada. En tierra, la fijación la realizan sólo ciertos microbios del suelo y los rayos, que separan el nitrógeno del oxígeno. (El nitrógeno también se fija en los océanos por algunos tipos de plancton.)**

La parte izquierda de este diagrama muestra el ciclo terrestre del nitrógeno tal como funciona naturalmente. La parte derecha muestra algunas de las maneras en las que las actividades humanas aumentan la cantidad de nitrógeno fijado en el ciclo:

La quema de carbón y petróleo emite nitrógeno que fue fijado de forma natural hace millones de años, cuando estos combustibles fósiles eran plantas vivas. Parte del nitrógeno se fija directamente, como subproducto de la combustión.

La producción de fertilizantes fija artificialmente una gran cantidad de nitrógeno adicional. La mayor parte se libera en el medio ambiente, ya sea directamente, cuando se aplican los fertilizantes a los cultivos, o indirectamente, en el estiércol alimentado con cereales fertilizados.

El cultivo de leguminosas, que crecen en estrecha asociación con microbios que fijan el nitrógeno, emplea un mecanismo natural de fijación del nitrógeno, pero a una escala que es antinaturalmente grande, porque se produce en extensos monocultivos.

Finalmente, la destrucción de bosques y zonas húmedas (no mostradas aquí), no añade nitrógeno en su conjunto al ciclo, pero emite grandes cantidades de nitrógeno fijado tras un largo confinamiento en los ecosistemas.

ILUSTRACIÓN DE MICHAEL RÖTHMAN, CORTESÍA DE LARS HEDIN, DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA Y BIOLOGÍA EVOLUTIVA, UNIVERSIDAD DE CORNELL

no, las cianobacterias proliferan, alterando el equilibrio ecológico. Y al descomponerse las floraciones, absorben el oxígeno del agua, un cambio al que el Mar Báltico es especialmente sensible, dado que sus aguas son relativamente bajas en oxígeno.

Las floraciones de algas y las zonas muertas hoy son un rasgo regular de la vida costera en muchos otros lugares del mundo, desde la costa de Nueva Inglaterra, a la costa oriental de India, y frente a Japón y Corea. La mayoría de los ecosistemas costeros del mundo sufren algún grado de hipoxia. Según científicos de la FAO y la Comisión Oceanográfica Internacional, los años ochenta y noventa vieron una proliferación de mareas rojas. Igualmente ha aumentado el número de especies de algas involucradas. A comienzos de los noventa, sólo se conocían 20 especies que provocaran floraciones tóxicas; hoy, por lo menos se han identificado 85 especies.



Algunos de los efectos de la contaminación por nitrógeno son mucho más sutiles que las mareas rojas, pero aún más peligrosos. Los óxidos de nitrógeno generados en la quema de los combustibles fósiles son un componente básico de las lluvias ácidas que afecta al suelo y a las aguas dulces en muchas partes del mundo. Las aguas cada vez más ácidas tienen menos formas de vida acuática. De forma similar, la acidificación de la tierra tiende a empobrecer los organismos del suelo. En parte se debe a que el ácido libera los iones de aluminio de la matriz mineral en la que está normalmente. El aluminio libre es tóxico para las plantas, y para muchos organismos acuáticos en los arroyos. El ácido también provoca la lixiviación de ciertos minerales. El calcio, magnesio y potasio son nutrientes esenciales de la planta y a menudo escasean. Al reducirse su aportación, el crecimiento de las plantas se resiente, y numerosas especies pueden desaparecer.

Estos minerales se incorporan al suelo a través del desgaste de las rocas, en un proceso muy lento. La acidificación podría reducir la productividad de los suelos durante siglos. El caso extremo son algunos cultivos, donde el exceso de fertilizante podría jugar el papel de las lluvias ácidas. Según Phillip Barak, la lixiviación a causa del nitrógeno podría "envejecer" algunos suelos por un periodo equivalente a 5.000 años.

Durante las dos últimas décadas, los países industrializados han hecho progresos considerables en la reducción de las emisiones de uno de los ingredientes principales de las lluvias ácidas: el dióxido de azufre generado en la combustión de carbón con alto contenido de azufre. La sustitución por carbón con bajo contenido de azufre y la instalación de filtros en las centrales termoeléctricas ha reducido mucho este tipo de contaminación. Pero las medidas han sido menos eficientes en la reducción de los compuestos de nitrógeno emitidos por la quema de combustibles fósiles.

El exceso de nitrógeno del suelo afecta también de otras maneras a los bosques y campos. Puede reducir la resistencia al frío en ciertas especies de árboles y hacerlos más propensos a las enfermedades o a la muerte durante el invierno. Igualmente tiende a reducir la densidad de las raíces finas que a su vez restringe la captación de agua y nutrientes y hace a las plantas más susceptibles a la sequía.

A nivel de comunidad, el nitrógeno es una fuerza homogeneizadora, porque favorece las especies de plantas de crecimiento rápido que pueden usar el nutriente extra, a costa de las especies de crecimiento lento que no pueden hacerlo. Las áreas afectadas pueden mostrar un crecimiento aparente pero es probable que sea bastante uniforme.

Durante los últimos años los investigadores indios han detectado grandes cantidades de óxido nitroso procedente del Mar Árabe, frente a las costas occidentales de India. Tales emisiones contribuyen con un 21 por ciento del total del gas procedente de los océanos. En las capas altas de la atmósfera, el óxido nitroso tiende a destruir la capa de ozono estratosférico que protege la Tierra contra la dañina radiación ultravioleta. El óxido nitroso también es un potente gas de invernadero. Molécula-por-molécula, es 200 veces más potente en retener el calor que el CO<sub>2</sub>. Por suerte, es menos común que el CO<sub>2</sub>, pero aún así representa del 2 al 3 por ciento del calentamiento global.



¿Por qué emite el Mar Árabe tanto gas nitroso? Rajiv Naqvi, investigador en el Instituto Nacional de Oceanografía de India ve una relación con la agricultura intensiva. Durante las últimas cuatro décadas, el uso de fertilizantes creció mucho en la llanura costera occidental de India, como en el conjunto del país. (Según las estadísticas de FAO, el consumo de fertilizantes de India se duplicó entre 1965 y 1998, hasta llegar a más de 11 millones de toneladas.) Como en muchas zonas costeras del mundo, el nitrógeno resultante alimenta a las cianobacterias y a otras especies de plancton. Las cianobacterias generalmente producen algo de óxido nitroso cuando crecen, pero su actividad en estas aguas se debe a otro factor poderoso: los monzones de junio a septiembre. Puesto que el agua dulce es más ligera que el agua salada, las intensas lluvias del monzón tienden a cubrir la superficie del océano y reducen la aeración del agua más salada de abajo. Eso reduce el nivel del oxígeno, y la falta de oxígeno ocasiona que las cianobacterias metabolicen nitrógeno de tal forma que se libera grandes cantidades de óxido nitroso. Este efecto parece haberse exacerbado en años recientes debido a monzones extraordinariamente fuertes, un posible resultado del cambio climático.

Los datos de los glaciares indican que la concentración atmosférica de óxido nitroso era estable hasta hace

un siglo, cuando empezó a aumentar. La tasa actual de aumento se estima de un 0,2 a un 0,3 por ciento por año. Las concentraciones atmosféricas son hoy un 10 por ciento más altas que al principio del siglo.

Sobre el papel, esto es lo que parece estar pasando en el Mar Árabe: un aumento del nitrógeno fijado, posiblemente combinado con el cambio climático en la forma de monzones más intensos, altera el sistema climático. Hay una conexión sutil entre los ciclos del nitrógeno y del carbono, pero esta es sólo una de las causas posibles. Pamela Matson, Directora del Programa de Sistemas de la Tierra de la Universidad de Stanford, señala: "para comprender el carbono y los otros ciclos de la Tierra, tenemos que entender cómo está cambiando el nitrógeno." ¿Cómo afectará el cambio en el ciclo del nitrógeno al ciclo del carbono?

Dado el curso de las negociaciones del tratado del clima, hay un impulso político casi irresistible para buscar los sumideros que podrían estar aumentando la absorción de carbono de la atmósfera. Quizás el exceso de nitrógeno aumentará los sumideros de carbono. A primera vista parece una expectativa razonable. Después de todo el nitrógeno a menudo es un nutriente limitado; más cantidad debería significar mayor crecimiento de las plantas, lo que debe aumentar la absorción de CO<sub>2</sub>. Pero no es tan simple.

En los océanos, el crecimiento del plancton más allá de las aguas costeras a menudo no está limitado por la disponibilidad de nitrógeno sino de hierro, otro nutriente esencial. El nitrógeno extra no se traduce automáticamente en más absorción de CO<sub>2</sub>. (Es verdad que algunos científicos defienden la siembra de los océanos con hierro para aumentar la absorción de CO<sub>2</sub>, pero dado todos los problemas imprevistos que ya hemos creado con el exceso de nitrógeno y de carbono, no sería una política inteligente interferir en otro ciclo.) E incluso en el caso de las floraciones costeras de algas, que pueden aumentar la absorción de CO<sub>2</sub> por lo menos periódicamente, no está claro si ese CO<sub>2</sub> permanecerá en las aguas a largo plazo, o terminará rápidamente en la atmósfera.

En tierra, el problema principal es el crecimiento del bosque, dado que los bosques generalmente absorben más carbono que otros tipos de ecosistemas terrestres. Es cierto que el exceso de nitrógeno puede hacer que los bosques crezcan más rápidamente a corto plazo. Pero a largo plazo, las perspectivas son sombrías, dado que el nitrógeno causa acidificación, envenenamiento por aluminio y otras alteraciones fisiológicas y ecológicas. Y un bosque en declive libera más carbono del que absorbe. A pesar de las conexiones entre el ciclo del nitrógeno y el del carbono, no hay ninguna razón para asumir que la ruptura de uno "anula" las alteraciones del otro.

En términos estrictamente técnicos, la estabilización del ciclo del nitrógeno es una tarea tan apremiante como la del ciclo del carbono. Tres reformas básicas

parecen necesarias si queremos reducir las emisiones de nitrógeno fijado. Necesitaremos convertir el paradigma del modo dominante de producción agrícola de "grandes insumos" a otro que ponga el énfasis en la agricultura biológica. (Ver "¿Dónde han ido a parar los agricultores?" World Watch n° 12, 2000.) Debemos reconvertir nuestra economía energética basada en los combustibles fósiles a otra basada en la energía solar, eólica, geotérmica, y otras fuentes de energías renovables. Y finalmente, tenemos que frenar, y revertir en el futuro, la destrucción de las áreas naturales que aún quedan, sobre todo los bosques.



Es difícil, por supuesto, pero posible. En primer lugar, todas pretenden una amplia reforma estructural, pero enfocada hacia las unidades a pequeña escala. La agricultura ecológica se adapta mejor a las pequeñas parcelas insertas en el paisaje local. Los sofisticados sistemas de energías renovables crean redes de pequeños productores en lugar de una o dos enormes centrales. Y el uso sostenible del bosque, por definición, se adapta a las realidades ecológicas locales. Hay también un segundo rasgo común: cada una de estas metas pone el énfasis en el uso creativo de la diversidad. La idea es reemplazar los monocultivos por un sistema de policultivos, un amplio rango de tecnologías de energías renovables y una combinación de agrosilvicultura, extracción de madera y turismo. La pequeña escala y la diversidad son los caminos a seguir, con un mayor grado de adaptación local.

La humanidad ha alcanzado un punto en el que dominamos no sólo los ecosistemas individuales, sino los ciclos que regulan los procesos básicos de los que depende toda la vida. Nuestra capacidad para entender los efectos de nuestra interferencia crece rápidamente. ¿Pero podremos usar esa comprensión de forma productiva? Cada vez más parece que el progreso a escala global depende de nuestra habilidad de reinventar nuestras relaciones a nivel local, a escala de los ecosistemas particulares y las sociedades en las que realmente vivimos.

---

**Danielle Nier enberg** completó recientemente su doctorado en agricultura, alimentación y medio ambiente en la Universidad de Tufts, en Massachusetts, y trabaja actualmente en World Watch.

## Referencias básicas

Página web de GRACE Factory Farm Project: [www.factoryfarm.org](http://www.factoryfarm.org)

Vaclav Smil, *Cycles of Life* (Nueva York: Scientific American library, 1997).

Peter M. Vitousek, et al., *Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle, Issues in Ecology*, vol. 1 (Washington, DC: Ecological Society of America, 1997).