

# Tópicos en Ecología

Traducción al español de *Issues in Ecology*

Publicado por la Ecological Society of America (la Sociedad Norteamericana de Ecológica)

Numero 3, Verano 1998

## Contaminación No Puntual De Aguas Superficiales Con Fósforo Y Nitrógeno



Fotografía por Brett Johnson



# Contaminación No Puntual De Aguas Superficiales Con Fósforo Y Nitrógeno

## TITULO ORIGINAL

Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen

## RESUMEN

La escorrentía a partir de zonas agropecuarias y ciudades es la mayor fuente de fósforo (P) y nitrógeno (N) que entra a los ríos, lagos y aguas costeras. La lluvia ácida y los contaminantes del aire generados por las actividades humanas también aportan N a las aguas superficiales. Estas fuentes de nutrientes son llamadas “no puntuales” porque ellas involucran actividades ampliamente dispersas. Los ingresos no puntuales son difíciles de medir y de regular debido a su origen disperso y porque varían con las estaciones y el clima. En la actualidad, los ingresos no puntuales constituyen la mayor fuente de contaminación de agua en los EE.UU. y sus impactos son profundos. En ecosistemas acuáticos el sobre-enriquecimiento con P y N causa un amplio rango de problemas, incluyendo los florecimientos de algas tóxicas, pérdidas de oxígeno, muerte de peces, pérdidas de plantas marinas de fondo y otras plantas acuáticas, degradación de arrecifes de coral y pérdidas de biodiversidad, incluyendo especies importantes para pesca comercial y deportiva e industrias pesqueras. De esta manera, la contaminación con nutrientes degrada seriamente nuestros recursos marinos y de agua dulce y perjudica el uso del agua en la industria, agricultura, recreación, bebida y otros propósitos.

Basados en nuestra revisión de literatura científica, nosotros tenemos la certeza que:

- La eutroficación causada por el sobre-enriquecimiento con P y N es un problema ampliamente difundido en los ríos, lagos, estuarios y océanos costeros.
- La contaminación no puntual es la mayor fuente de P y N en aguas superficiales de los EE.UU. La mayor fuente de contaminación no puntual son las actividades agrícolas y urbanas, incluyendo la industria y el transporte.
- En los EE.UU. y varias otras naciones, los aportes de P y N a la agricultura en forma de fertilizantes exceden las salidas de estos nutrientes en los cultivos.
- La alta densidad de ganado ha creado situaciones en las cuales la producción de estiércol excede las necesidades de los cultivos en los cuales el estiércol es aplicado. La densidad de animales en las áreas agropecuarias está directamente relacionada con el flujo de nutrientes a los ecosistemas acuáticos.
- El exceso de fertilización y producción de estiércol causa un excedente de P, el cual se acumula en el suelo. Algunos de estos excedentes son transportados por escorrentía a los ecosistemas acuáticos.
- El exceso de fertilización y producción de estiércol crea un excedente de N en las tierras agrícolas. Estos excedentes son muy móviles en el suelo y mucho N es lixiviado a las aguas superficiales o percolados a las aguas subterráneas. El excedente de N también puede ser volatilizado a la atmósfera y redepositado lejos por el viento como lluvia ácida o contaminación seca que, eventualmente, llega a los ecosistemas acuáticos.

Si las prácticas actuales continúan, la contaminación no puntual de aguas superficiales se incrementará en el futuro. Sin embargo, a causa de que están disponibles numerosas tecnologías, prácticas en el uso de la tierra y medidas de conservación, podría decrecer el flujo de P y N no puntual en las aguas superficiales.

A partir de nuestra revisión de la información científica disponible nosotros confiamos que:

- La contaminación no puntual de aguas superficiales con P y N podría decrecer mediante la reducción del exceso del flujo de nutrientes en sistemas agrícolas, reduciendo la escorrentía rural y urbana y reduciendo las emisiones de N a partir de la quema de combustibles fósiles.
- La eutroficación de ecosistemas acuáticos puede ser revertida mediante la disminución de la tasa de ingreso de P y N. Sin embargo, las tasas de recuperación son altamente variables y a menudo la recuperación es lenta.

El panel encuentra que las raíces del problema de la contaminación no puntual y la eutroficación son bien conocidas científicamente. Hay una necesidad de esfuerzos creativos para traducir este conocimiento en políticas y prácticas efectivas que conducirán a la protección y recuperación de nuestros ecosistemas acuáticos.

# Contaminación No Puntual De Aguas Superficiales Con Fósforo Y Nitrógeno

por

Stephen Carpenter, Chair, Nina F. Caraco, David L. Correll,  
Robert W. Howarth, Andrew N. Sharpley, y Val H. Smith

## INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, la gente ha elegido vivir cerca del agua, asentándose en los valles de los ríos, al lado de lagos o a lo largo de las líneas costeras. La atracción por el agua es tan diversa como las necesidades y aspiraciones humanas. El agua limpia es un recurso crucial para bebida, irrigación, industria, transporte, recreación, pesca, caza, soporte de la biodiversidad y el disfrute estético. De la misma manera que los humanos han vivido cerca de los cursos de agua, ellos han usado el agua para tirar y diluir los desechos y contaminantes de la sociedad. Pero, con el crecimiento de la población y el incremento de la producción y consumo, esta larga tradición de volcar los desechos corriente abajo, ha comenzado a sobrecargar la capacidad de depuración de las aguas del planeta. El ingreso de contaminantes ha incrementado en las décadas recientes, y el resultado ha sido la degradación de la calidad del agua en varios ríos, lagos y océanos costeros. Esta degradación muestra la disrupción del

ecosistema acuático natural y la consecuente pérdida de las especies que lo componen como también las amenidades que estos ecosistemas pueden proveer a la sociedad. La escasez de agua, por ejemplo, esta en aumento y probablemente se vuelva mas severa en el futuro. La escasez de agua y la mala calidad del agua están unidas, a causa de que la contaminación reduce los suministros de agua e incrementa los costos de tratamiento para hacer aguas seguras para el uso humano. De esta manera, prevenir la contaminación es una de las medidas de mayor costo-efectividad para incrementar el suministro de agua.

El deterioro mas común de las aguas superficiales en los EE.UU. es la eutroficación causada por excesivo ingreso de P y N. Las aguas deterioradas son definidas como aquellas que no son sustentables para determinados usos como bebida, irrigación, industria, recreación o pesca. La eutroficación acontece en cerca de la mitad de las áreas lacustres y en el 60% de los ríos deteriorados en los EE.UU. y es el problema de contaminación mas difundido en los estuarios de los EE.UU. Otra importante causa de degradación de las aguas superficiales es la carga de arcilla

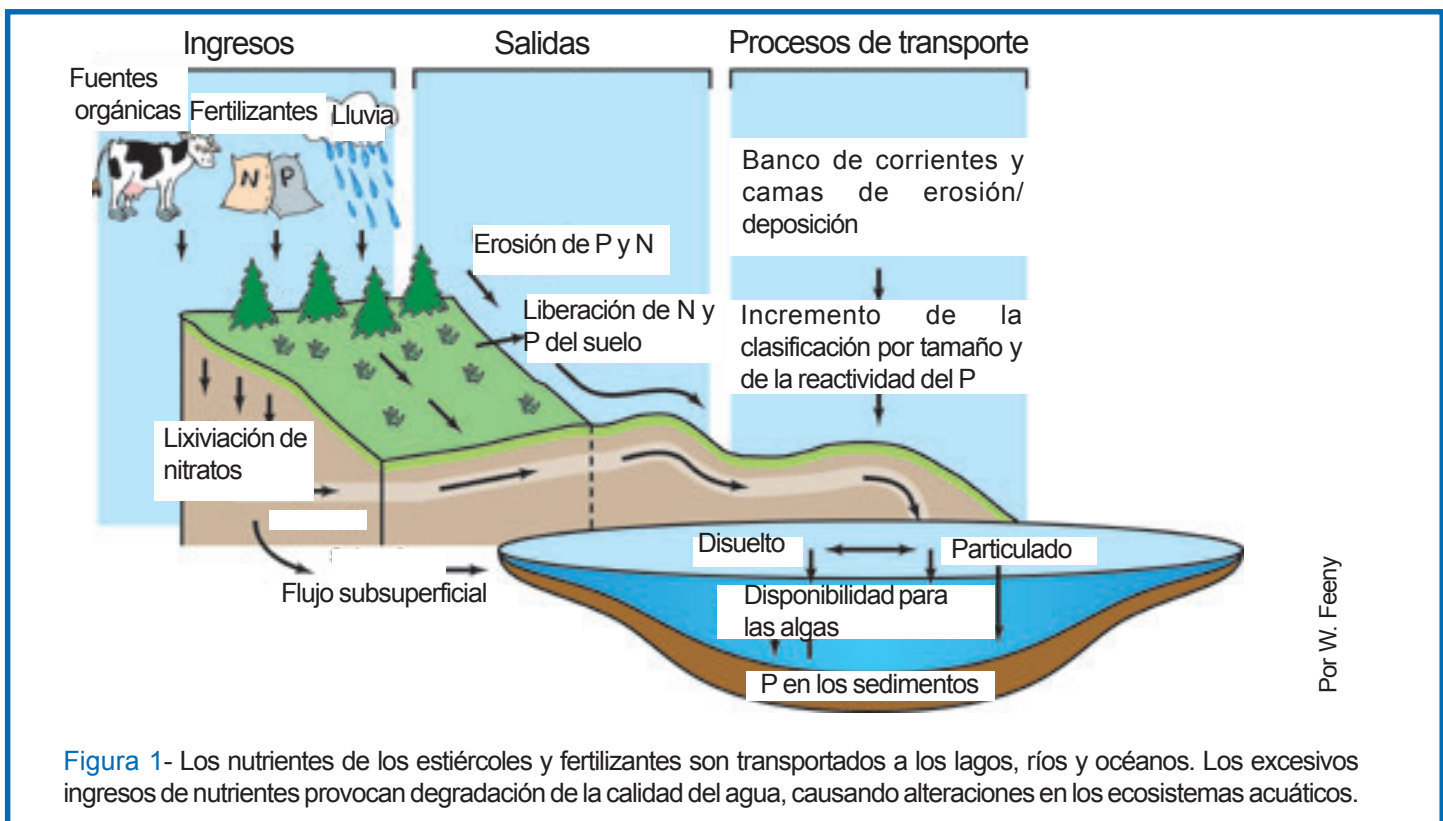


Figura 1- Los nutrientes de los estiércoles y fertilizantes son transportados a los lagos, ríos y océanos. Los excesivos ingresos de nutrientes provocan degradación de la calidad del agua, causando alteraciones en los ecosistemas acuáticos.

## Fuentes de Puntuales y no puntuales de Contaminación

FUENTES PUNTALES	FUENTES NO PUNTALES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efluentes de aguas residuales de origen cloacal e industrial</li> <li>• Escorrentía y lixiviación desde sitios de deposición de desechos</li> <li>• Escorrentía e infiltración desde sitios de ganadería en "feed lots"</li> <li>• Escorrentías desde sitios mineros, campos petroleros e industrias sin sistemas cloacales</li> <li>• Desagües pluviales a partir de sitios con poblaciones mayores a 100.000 habitantes</li> <li>• Escorrentías desde sitios en construcción mayores a 2 hectáreas</li> <li>• Flujo superficial de desagües sanitarios y fluviales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escorrentía desde zonas agrícolas (incluyendo el flujo de retorno de la agricultura de regadío)</li> <li>• Escorrentía desde zonas de pastoreo y cría de ganado</li> <li>• Escorrentía urbana a partir de áreas sin desagües cloacales y áreas con desagües cloacales menores a 100.000 habitantes</li> <li>• Lavado y escorrentía a partir de sistemas sépticos en malas condiciones</li> <li>• Escorrentías a partir de sitios en construcción menores a 2 hectáreas</li> <li>• Escorrentía desde sitios mineros abandonados</li> <li>• deposición atmosférica sobre las aguas superficiales</li> <li>• Actividades terrestres que generan contaminación como deforestación, conversión de humedales, construcción y desarrollo de tierras y cursos de agua.</li> </ul>

**Figura 2-** Fuentes puntuales y no puntuales de ingreso de sustancias químicas a los lagos, ríos y océanos, reconocidos por los estatutos. La descarga de contaminantes a partir de fuentes puntuales tienden a ser continuas y de esta manera son relativamente simples de identificar y monitorear. Sin embargo, las fuentes no puntuales emanan de una serie de actividades a través de grandes áreas y son mucho mas difíciles de controlar.

causada por la erosión a partir de suelos agrícolas, y las actividades de construcción (las arcillas también llevan nutrientes, contribuyendo a la eutroficación); la acidificación a partir de fuentes atmosféricas y drenaje de minería; contaminación por toxinas; introducción de especies exóticas como el mejillón cebra y la lamprea de mar; y los cambios hidrológicos creados por diques, canalizaciones, drenajes de humedales, y otros trabajos en los causes de agua.

Las sustancias químicas que ingresan en los ríos, lagos y océanos provienen de fuentes puntuales o no puntuales. Las fuentes puntuales incluyen caños de efluentes de plantas de tratamientos de aguas servidas municipales y de fábricas. Las descargas de contaminantes a partir de fuentes puntuales tienden a ser continuas, de poca variabilidad en el tiempo y a menudo pueden ser monitoreadas midiendo el caudal y la concentración de químicos periódicamente en un solo lugar. Consecuentemente, las fuentes puntuales son relativamente simples de monitorear y regular y pueden a menudo ser controladas mediante el tratamiento de la fuente. Los ingresos no puntuales pueden también ser continuos pero mas a menudo son intermitentes y relacionados a las actividades agrícolas de carácter estacional, como plantaciones, laboreos o eventos irregulares como fuertes lluvias o grandes construcciones. Los ingresos no puntuales, a menudo aumentan debido a la variada gama de actividades que producen cambios en

el paisaje y a la entrada de materiales que reciben las aguas como flujo superficial, filtraciones profundas, o a través de la atmósfera. Consecuentemente, las fuentes no puntuales son difíciles de medir y regular. El control de la contaminación no puntual se centra sobre prácticas de manejo del suelo y la regulación de la liberación de contaminantes a la atmósfera. Estos controles pueden afectar las actividades diarias de millones de personas.

En varios casos en décadas recientes, las fuentes puntuales de contaminación de agua han sido reducidas, debido a su relativamente fácil identificación y control. Sin embargo, las fuentes puntuales son todavía sustanciales en algunos lugares del mundo y pueden incrementarse con la futura expansión de las áreas urbanas, la acuicultura, y las "granjas fabricas" como las "fabricas de porcinos". Este informe focaliza sobre fuentes no puntuales, no porque las fuentes puntuales no son importantes sino porque los ingresos no puntuales son a menudo dejadas de lado y son un desafío ambiental significativo.

En la actualidad, los ingresos no puntuales son la mayor fuente de contaminación de agua en los EE.UU. El National Water Quality Inventory afirmó en 1988 que "cuanto mas vemos, mas encontramos". Por ejemplo, 72% a 82% de los lagos eutróficos podrían requerir control de ingresos no puntuales de P para lograr los estándares de calidad de agua, incluso si los ingresos puntuales fueran reducidos a cero.

Este informe esta dirigido principalmente a la contaminación no puntual de agua por N y P porque:

- La eutroficación es actualmente el problema de calidad de agua mas ampliamente difundido en los EE.UU y varios otros países.
- La recuperación de las aguas eutróficas requiere la reducción de los ingresos no puntuales de P y N.
- Existe un sólido conocimiento científico de las causas de la contaminación no puntual por nutrientes. En muchos casos, se tiene el conocimiento técnico necesario para decrecer la contaminación no puntual a niveles compatibles con los estándares de calidad de agua.
- Las barreras mas importantes para el control de la contaminación no puntual con nutrientes parecen ser de carácter social, político e institucional. Nosotros deseamos que este resumen sobre las bases científicas del problema informe y genere un debate acerca de las soluciones.

escasos. En tiempos geológicos, la eutroficación debida a ingreso de nutrientes y sedimentos es un proceso natural de envejecimiento por el cual los lagos cálidos poco profundos evolucionan a tierras secas. Actualmente, la actividad humana está fuertemente acelerando este proceso. La eutroficación de las aguas dulces es un problema en crecimiento en las ultimas décadas. Los

ingresos de N y P contribuyen a la eutroficación, aunque el excesivo ingreso de P es la causa principal en la mayoría de los lagos.

La eutroficación también está ampliamente diseminada y rápidamente se expande en estuarios y mares costeros del mundo desarrollado. En la mayoría de los estuarios templados y los sistemas costeros, el N es el elemento mas limitante para la producción de plantas y algas (productividad primaria) y de esta manera los ingresos de N son los mas problemáticos. Aunque el N es el mayor factor de eutroficación en la mayoría de los estuarios y mares costeros, el P es también un elemento esencial que

contribuye a la eutroficación costera. De hecho es el factor dominante de la producción primaria de algunos ecosistemas costeros.

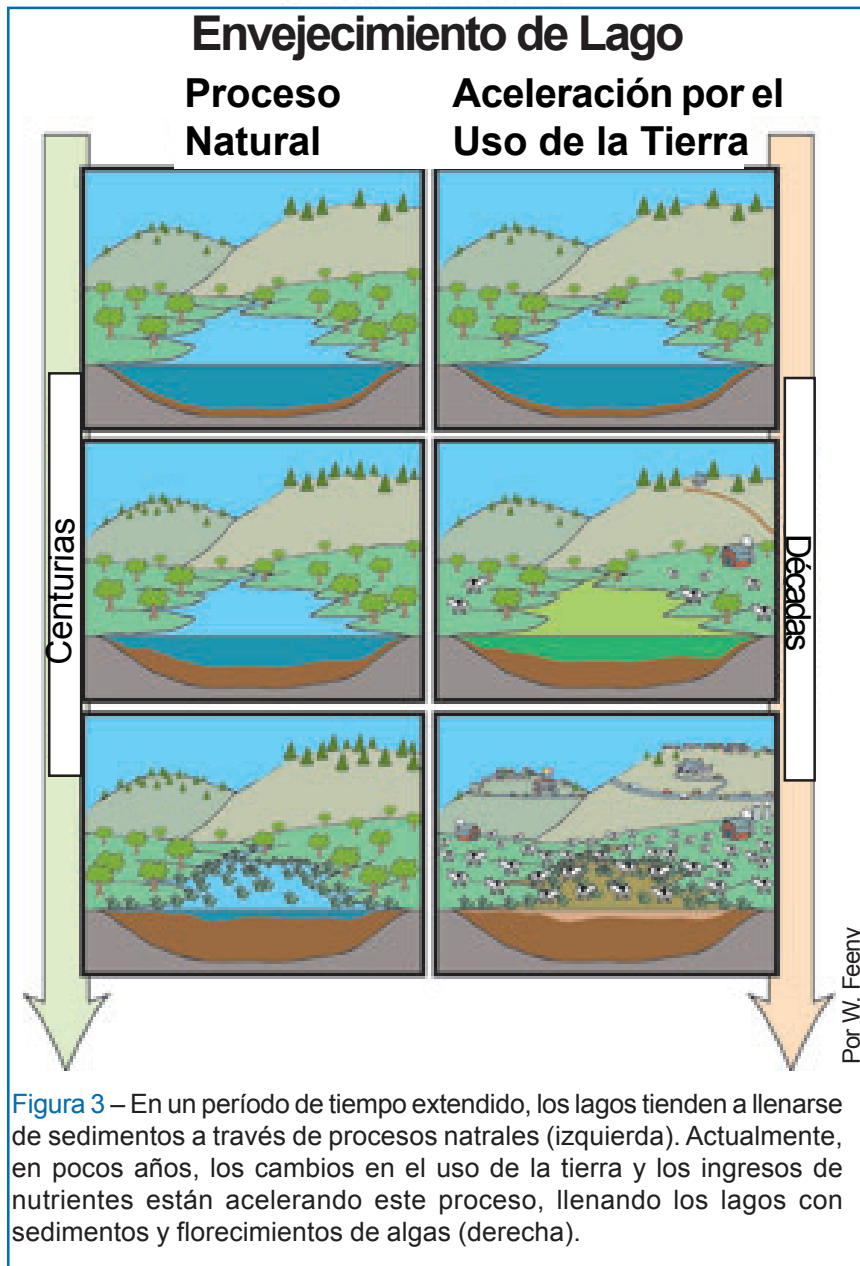


Figura 3 – En un período de tiempo extendido, los lagos tienden a llenarse de sedimentos a través de procesos naturales (izquierda). Actualmente, en pocos años, los cambios en el uso de la tierra y los ingresos de nutrientes están acelerando este proceso, llenando los lagos con sedimentos y florecimientos de algas (derecha).

Por W. Feeny

**PORQUE SON DE INTERÉS LAS FUENTES NO PUNTUALES DE P Y N**

*Eutroficación: Alcance y Causas*

Eutroficación se refiere a la fertilización de las aguas superficiales por nutrientes, que anteriormente eran

*Consecuencias*

La eutroficación tiene varios efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos. Quizás la consecuencia mas visible sea la proliferación de algas, las cuales pueden

## Efectos Adversos de la Eutroficación

- Incremento de la biomasa de fitoplancton •
- Cambios en el fitoplancton favoreciendo las especies que forman florecimientos las que pueden ser tóxicas o no comestibles •
  - Incremento en el florecimiento de zooplancton gelatinoso (en ambientes marinos) •
    - Incremento en la biomasa de algas bénticas y epifíticas •
    - Cambios en la composición y biomasa de especies macrófitas •
- Muerte de arrecifes de coral y pérdidas de las comunidades de los arrecifes coralinos •
  - Disminución de la transparencia del agua •
  - Problemas con el gusto y el olor para el tratamiento del agua •
    - Disminución del oxígeno disuelto •
    - Incremento en la incidencia de muerte de peces •
    - Pérdidas de especies de peces de valor •
- Reducción en los rendimientos de pesca y recolección de mariscos •
  - Disminución del valor estético de los cuerpos de agua •

**Figura 4** – La eutroficación causada por excesivo ingreso de fósforo (P) y nitrógeno (N), tiene muchos efectos adversos sobre los lagos, reservorios de agua, ríos y océanos costeros (modificado de Smith 1998).

transformar a las aguas en “lagunas espumosas” con una capa superficial verde y turbia. Este alto crecimiento de algas y de malezas acuáticas puede degradar la calidad del agua e interferir con el uso del agua para pesca, recreación, industrias, agricultura y bebida. Cuando la sobreabundancia de plantas nocivas muere, las bacterias decomponedoras proliferan y como ellas degradan la materia orgánica, consumen el O<sub>2</sub> disuelto en el agua. El resultado puede ser escasez de O<sub>2</sub> que causa la muerte de peces. La eutroficación puede conducir a pérdidas de hábitat para plantas acuáticas de fondo en aguas dulces y marinas y de arrecifes de corales a lo largo de las costas tropicales. De esta manera la eutroficación juega un importante rol en las pérdidas de la biodiversidad acuática.

El explosivo crecimiento de algas nocivas es uno de los efectos mas perniciosos de la eutroficación. Las algas producen sustancias químicas que son dañinas para otros organismos, incluyendo el ganado y los seres humanos. En los ecosistemas marinos el florecimiento de algas conocido como marea roja o marrón causa un problema muy difundido a causa de la liberación de toxinas y por desencadenar la deplección del O<sub>2</sub> cuando ellas mueren y se descomponen. La incidencia de florecimientos de algas dañinas en los océanos costeros ha incrementado en los últimos años. Ese incremento está unido a la eutroficación y a otros factores como cambios en las cadenas tróficas marinas que pueden incrementar la descomposición y el ciclado de nutrientes o reducir las

poblaciones de algas que son consumida por peces. Los florecimientos de algas tienen severos impactos negativos sobre la acuicultura y la pesca de mariscos. Ellos son causa de envenenamiento por mariscos en humanos, y de importante mortalidad de mamíferos marinos. Un dinoflagelado tóxico conocido como es *Pfiesteria*, ha sido asociado con la mortandad de “finfish” en la costa Atlántica de los EE.UU. La alta toxicidad de los compuesto producidos por estos dinoflagelados puede también causar daños neurológicos a la gente que esta en contacto con ellos.

En aguas dulces, los florecimientos de cianobacterias (llamadas algas verde-azules) son un síntoma prominente de eutroficación. Estos florecimientos contribuyen a un amplio rango de problemas relacionados con el agua incluyendo muerte de peces en verano, mal olor y mal gusto en el agua de beber. Además, cuando el agua es procesada en las plantas de tratamiento, la alta carga de detritos orgánicos reacciona con el cloro y forma compuestos cancerígenos conocidos como trihalometanos. Compuestos solubles tóxicos para el sistema nervioso y el hígado son liberados cuando los florecimientos de cianobacterias mueren o son ingeridos. Estos compuestos pueden matar al ganado y pueden constituir un serio peligro para la salud humana.

### *Contribución de la Contaminación No Puntual*

Actualmente, las fuentes no puntuales dominan los ingresos de P y N en la mayoría de las aguas



Fotografía por Chris Luecke

**Figura 5** – La contaminación de nitrógeno y fósforo incrementa la incidencia de muerte de peces. Los peces mueren a causa del florecimiento de algas tóxicas o por la falta de oxígeno provocada por la descomposición de las algas muertas.

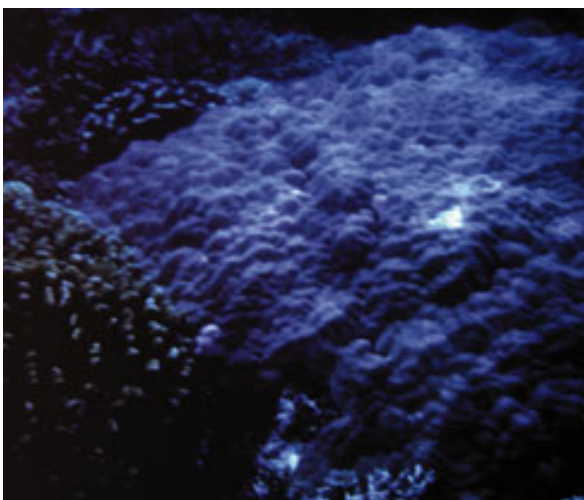
superficiales de los EE.UU. Los ingresos de P causan eutroficación en grandes áreas de lagos, estuarios y reservorios de agua en los EE.UU. Además, las fuentes no puntuales son la contribución dominante de P y N en la mayoría de los ríos en los EE.UU., aunque las fuentes puntuales todavía generan mas de la mitad del flujo de P y N en los ríos provenientes de áreas urbanizadas. En un estudio de 86 ríos, las fuentes no puntuales de N fueron responsables de mas del 90% de los ingresos en mas de la mitad de los ríos analizados. Las fuentes no puntuales contribuyeron con cerca del 90% del P en un tercio de los ríos analizados.

Las fuentes no puntuales son dominantes en los ingresos de N en muchos estuarios y mares costeros. Por ej. a lo largo de la línea costera del Océano Atlántico Norte las fuentes de N no puntuales son 9 veces mas grandes que los ingresos a partir de las plantas de tratamientos de aguas cloacales. En algunas áreas

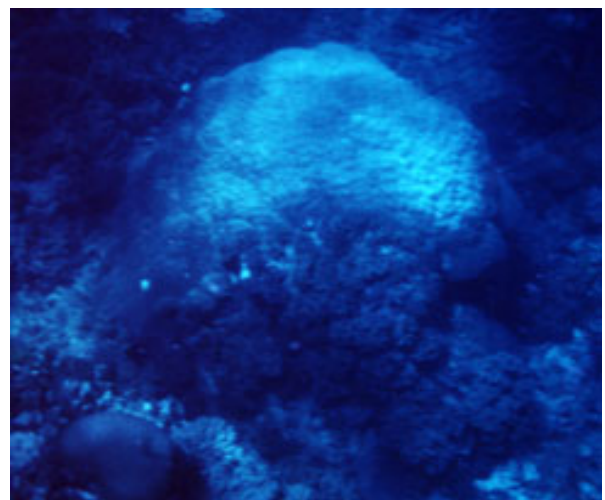
costeras, sin embargo, las plantas de tratamiento de aguas cloacales siguen siendo la fuente primaria de ingresos de N, y aunque las fuentes no puntuales de P son a menudo importantes, las fuentes puntuales aportan los mayores ingresos de P en varios ambientes marinos.

### Remediación

Revertir la eutroficación requiere de la reducción de los ingresos de P y N, pero la recuperación a veces puede ser acelerada mediante la combinación de control de ingresos con otros métodos de manejo. De hecho, una activa intervención humana puede ser necesaria en algunos lagos donde el estado eutrófico es relativamente estable. Algunos mecanismos internos pueden impedir la recuperación a partir de estos estados degradados incluyendo la continua liberación de P proveniente de la acumulación en los sedimentos en el fondo de los lagos, la pérdida de plantas sumergidas cuyas raíces sirven para



Fotografía por R.W. Buddemeier, Kansas Geological Survey



**Figuras 6 y 7** – La eutroficación puede conducir a la pérdida de hábitats como los arrecifes de coral, contribuyendo a la pérdida de la biodiversidad acuática. Note el crecimiento saludable y la cobertura de los corales en la figura de la izquierda versus la menor diversidad de corales resultado de los disturbios humanos, incluyendo el incremento de la turbidez, en el área de arrecifes, como se muestra en la figura de la derecha.



estabilizar los sedimentos y los cambios complejos en las cadenas tróficas como por ej. la disminución de los peces y zooplancton herbívoros que ayudan a controlar el crecimiento de algas indeseables. Menos es conocido acerca de la estabilidad de la eutroficación en estuarios y costas marinas, pero en esos lugares el estado eutrófico puede ser fácilmente alterado o remediado debido que en los lugares abiertos los nutrientes costeros pueden estar diluidos y pueden ser llevados lejos rápidamente. Sin embargo, en lugares relativamente confinados, aguas marinas de poca profundidad, como en el mar Báltico, los nutrientes pueden ser atrapados y la eutroficación puede ser persistente al igual que en los lagos.

### Efectos Directos Sobre la Salud

El P en el agua no es considerado directamente tóxico para los humanos y animales y a causa de esto no se han establecido estándares de P para el agua de beber. Cualquier toxicidad causada por contaminación por P en aguas dulce es indirecta a través de la estimulación del florecimiento de algas o resultado de la disminución del O<sub>2</sub>.

En contraste, la contaminación con nitratos posee un efecto directo sobre la salud humana y otros mamíferos. Los nitratos en el agua son tóxicos en altas concentraciones y han sido relacionados con efectos tóxicos en el ganado y con la enfermedad de los "niños azules" (metahemoglobinemia). La EPA (Environmental Protection Agency), para proteger a los niños entre 3 y 6 meses de edad, ha establecido en 10 mg/L el Nivel de Contaminación Máximo para N de nitratos en el agua de beber. Este grupo de edad es el más sensible a causa de que las bacterias que viven en el tracto digestivo de los niños pueden reducir el nitrato a nitrito el cual oxida la hemoglobina e interfiere con el transporte del O<sub>2</sub> en la sangre. En el ganado, el nitrato reducido a nitrito también puede ser tóxico y causar un tipo de anemia similar y también abortos. Niveles de 40 a 100 mg/L de N de nitratos en el agua del ganado son considerados de riesgo a menos que el alimento de los animales sea bajo en nitratos y contenga vitamina A.

## CUALES SON LAS FUENTES NO PUNTALES DE CONTAMINACIÓN?

La contaminación no puntual de P y N es causada principalmente por actividad agrícola y urbana. En los EE.UU. la agricultura es la fuente predominante de contaminación no puntual. El viento o la lluvia depositan una importante cantidad de N en las aguas superficiales, a partir de muy variadas fuentes, incluyendo la agricultura y la quema de combustibles fósiles.

### Agricultura

En las tierras cultivadas del mundo, la incorporación y extracción humana de nutrientes a sobrecargándolos los ciclos naturales de los nutrientes. Globalmente, mas nutrientes son agregados como fertilizantes de lo que son

extraídos con la producción. Los fertilizantes se mueven desde las áreas de manufacturas a las áreas de producción de cultivos. Los nutrientes de los fertilizantes son sólo parcialmente incorporados a los cultivos los cuales son cosechados y transportados a otras áreas para consumo de la gente o ganado. De esta manera, balanceando, hay un transporte neto de P y N desde sitios de manufactura de



Fotografía por Stephen R. Carpenter

**Figura 8** – La producción animal intensiva es donde un gran número de animales están concentrados en pequeñas unidades de alimentación (feed lots), y crean enorme cantidad de desechos que causan excesos de nutrientes que permanecen en el suelo, se van por escorrentía o infiltran a las napas de agua.

fertilizantes a sitios de deposición de fertilizantes y producción de estiércol. Este flujo crea una sobredosis en las tierras cultivadas y esta sobredosis constituye la línea de base de la contaminación no puntual a partir de la agricultura.

### Fertilizantes

El P se está acumulando en los suelos agrícolas del mundo. Entre 1950 y 1995, cerca de 600 millones de toneladas de fertilizantes de P fueron aplicados sobre la superficie de la tierra, principalmente sobre tierras cultivadas. Durante el mismo período de tiempo 250 toneladas de P fueron extraídas de las áreas cultivadas por la cosecha de los cultivos. Algunos de estos productos fueron comidos por el ganado y una parte del estiércol de

**Figura 9** – La escorrentía por actividad humana como campos de deportes fertilizados, y desechos de mascotas son una importante fuente de contaminación no puntual que todos podemos ayudar a controlar.



Fotografía por S.C. Delaney/EPA

estos animales fue reaplicado a las áreas agrícolas retornando algo del P cosechado (cerca de 50 millones de toneladas) al suelo. De esta manera el ingreso neto de P en los suelos agrícolas durante ese periodo de tiempo fue de 400 millones de toneladas. Este exceso de P puede permanecer en el suelo o ser exportado a las aguas superficiales por erosión o lixiviado. La mayoría del P aplicado permanece en el suelo de las áreas cultivadas y solo el 3 al 20% es exportado a las aguas superficiales. De esta manera, probablemente cerca de 350 millones de toneladas de P se han acumulado en las tierras agrícolas del mundo. El stock de P en los 10 cm superiores del suelo en las áreas cultivadas del mundo son aproximadamente 1.300 millones de toneladas. Esto significa que el agregado de 350 millones de toneladas entre 1950 y 1995, podría haber incrementado el contenido de P de los suelos agrícolas en cerca del 25%. En los EE.UU. y Europa solamente cerca del 30% del ingreso de P de los fertilizantes termina siendo incorporado a las plantas cultivadas, resultando en una tasa promedio de acumulación anual de 22 kg de exceso de P por ha. En las cuencas de agua, la cantidad de P en exceso aplicado a los suelos agrícolas (mas de lo que las plantas pueden usar) está estrechamente relacionado con la eutroficación de las aguas superficiales.

La industria de producción de fertilizantes nitrogenados ha incrementado fuertemente desde cerca de 0 en 1940 a 80 millones de toneladas por año. En JUL. y Europa, solamente el 18% de los ingresos de N del fertilizante queda en productos agrícolas, lo que significa que 174 kg por ha de N en exceso es dejado anualmente sobre las tierras cultivadas. Este exceso puede acumularse en el suelo, erosionarse o lixivarse a las aguas superficiales o subterráneas o entrar a la atmósfera. El N entra a la atmósfera a través de la volatilización del amonio y mediante la producción de óxidos de N gaseosos por

actividad microbiana en el suelo. Los óxidos de N contribuyen al calentamiento global y pueden también catalizar la destrucción del ozono estratosférico. Mucho del N volatilizado a la atmósfera en estas formas es arrastrado por la lluvia o redepositado en formas secas sobre el agua o tierra y eventualmente entrar a los ríos, lagos y otros ecosistemas acuáticos.

### *Estiércol*

La producción intensiva de ganado, generalmente consiste en alimentar un gran número de animales en pequeñas áreas. Por ej. 4% del ganado alimentado en “feedlots” en los EE.UU. producen el 84% del ganado total. Esta gran concentración de animales genera una enorme cantidad de residuos. Los problemas de deposición de residuos son comparables a la provocada por los desechos crudos humanos y todavía los estándares regulatorios para la deposición de los desechos animales son menos estrictos que los estándares fijados en las ciudades y que se deben cumplir para el tratamiento de desechos humanos.

Los nutrientes de los estiércoles pueden ser reciclados aplicando el estiércol en las tierras agrícolas. Sin embargo, la cantidad de estiércol generado en los sistemas de ganadería concentrada a menudo exceden por lejos la capacidad de usar y retener estos nutrientes de las tierras agrícolas cercanas. Por ej. se requiere un área agrícola cerca de 1.000 veces mas grande que el área de feedlot en si misma para distribuir los nutrientes del estiércol a un nivel igual al que puedan ser utilizados por los cultivos. Muchos cultivos pueden no estar disponibles y el exceso de estiércol termina siendo aplicado en áreas agrícolas pequeñas. Entonces el exceso de nutrientes se incorpora al suelo, se va por escorrentía o se infiltra en las napas de agua o, en el caso del N, puede entrar a la atmósfera.

### *Transporte a los Ecosistemas Acuáticos*

Incrementos en los flujos de N y P en aguas superficiales han sido detectados después de la aplicación de fertilizantes o estiércol en las tierras agrícolas. Las pérdidas de fertilizantes en las escorrentías son generalmente menores a 5% de la cantidad aplicada. La pérdidas provenientes de los abonos pueden ser ligeramente mas altas (hasta un 20% si la lluvia cae inmediatamente después de la aplicación). Sin embargo, estos porcentajes subestiman el flujo total de N hacia los ecosistemas acuáticos porque ellos no incluyen la infiltración y el lixiviado, los cuales llevan finalmente al N a las aguas subterráneas y superficiales. El N exportado desde los ecosistemas agrícolas al agua, tiene un rango entre el 10 al 40% del porcentaje de ingreso del fertilizante, en suelos franco y arcillosos y hasta un 25 a 80% en suelos arenosos. En general, la tasa de pérdida de nutrientes a partir de los fertilizantes y estiércoles hacia el agua están influenciadas por la dosis, la estación, la forma química y el método de aplicación de los nutrientes, la cantidad y tiempo de las lluvias después de la aplicación y la cobertura de la vegetación. Las pérdidas proporcionalmente mas altas de P y N desde los estiércoles que desde los fertilizantes producidos industrialmente puede ser resultado del mayor contenido de P y N de los estiércoles y de la menor flexibilidad en las fechas de aplicación, ya que el estiércol debe ser trabajado en el suelo antes o después de la estación de crecimiento y no en el momento en que los cultivos requieren P y N.

La cantidad de P perdido hacia las aguas superficiales incrementa con el contenido de P del suelo. Las pérdidas pueden ser en forma de P disuelto pero la mayor parte del P es transportado como partículas. A largo plazo, este P particulado puede ser convertido en fosfato y quedar disponible para los organismos acuáticos.

El N transportado a los océanos ha incrementado en las últimas décadas y el incremento puede ser

correlacionado con una cantidad de actividades humanas que incrementan el ingreso de N en las cuencas de agua. Similarmente, la cantidad de P llevado a los ríos y océanos está positivamente correlacionada con la densidad de la población humana en las cuencas. Globalmente, el movimiento de P a las costas de los océanos ha incrementado desde un flujo pristino estimado de 8 millones de toneladas anuales, a la tasa actual de 22 millones de toneladas anuales. Cerca del 30% de este incremento es atribuido al enriquecimiento de P de los suelos agrícolas y el resto al incremento en la tasa de erosión.

### *Escorrentía Urbana*

Una importante cantidad de P y N que entra a los lagos, ríos y aguas costeras proviene de fuentes urbanas no puntuales como los sitios de construcción, escorrentía de campos de deportes fertilizados y desechos de mascotas, sistemas sépticos y desarrollo de áreas en las cuales faltan servicios cloacales. La escorrentía urbana es la tercera causa mas importante de deterioro de los lagos en los JUL, afectando cerca del 28% de las áreas de lagos que no cumplen con los estándares de calidad de agua. Las fuentes puntuales urbanas de contaminación de agua, como son las aguas servidas y las descargas industriales son también importantes, pero a diferencia de las fuentes no puntuales, ellas a menudo son intensamente manejadas.

Los sitios en construcción son de crítico interés como fuentes no puntuales de contaminación. Aunque los sitios en construcción pueden ocupar un relativamente pequeño porcentaje de las áreas terrestres, las tasas de erosión pueden ser extremadamente alta y el total de contaminación no puntual puede ser muy grande. La tasa de erosión a partir de las cuencas en desarrollo pueden llegar a 50.000 ton/ km<sup>2</sup> por año, comparado con las 1.000 a 4.000 ton/km<sup>2</sup> por año para las tierras agrícolas y menos de 1.00 toneladas para las tierras con cobertura vegetal

Fotografía por S.C. Delaney/EPA



**Figura 10** – La alta tasa de erosión de los sitios en construcción es la mayor fuente de escorrentía en las áreas desarrolladas. Los materiales erosionados contribuyen a la acumulación de arcilla y la eutroficación en los lagos, ríos y océanos costeros.

no disturbada. El material erosionado a partir de los sitios en construcción contribuye al aumento de la cantidad de arcilla en los cuerpos de agua y a la eutroficación.

### Deposición de N Atmosférica

El N depositado sobre la superficie del agua a partir de la atmósfera, proviene de varias fuentes, incluyendo la

liberación de gases trazas a partir de suelos agrícolas y la quema de combustibles fósiles. La combustión de carbón e hidrocarburos libera importantes cantidades de gases trazas de N a la atmósfera, mediante la oxidación del N almacenado en los combustibles y fijando el N molecular del aire mediante procedimientos con altas temperaturas y presión generados por la combustión (fijar N involucra tomarlo del aire y ligarlo al H o O<sub>2</sub> para formar compuestos que las plantas y otros organismos pueden usar). Actualmente, cerca de 20 millones de toneladas de N fijado por año es liberado a partir de la combustión por automóviles, fábricas y plantas de energía eléctrica. Sin embargo, esto representa solo un cuarto de la cantidad de N usado en los fertilizantes inorgánicos y quizás un séptimo de la cantidad total de N fijado a

través de la actividad humana, incluyendo la fabricación de fertilizantes inorgánicos y el cultivo de plantas fijadoras de N como soja y otras leguminosas. Sin embargo, el N proveniente de la quema de combustibles fósiles puede contribuir sustancialmente a las fuentes no puntuales de contaminación de aguas superficiales.

Un estudio comparativo de los flujos de N de 33 ríos en el NE de EE.UU. encontró que la cantidad de nitratos y N total en los ríos estaba correlacionada con la deposición atmosférica de N oxidado, el cual proviene en mayor medida de la combustión de combustibles fósiles dentro de las cuencas de estos ríos. Para una pequeña parte de estos ríos, los datos históricos muestran un incremento en la concentración de nitratos a partir del comienzo de 1900 hasta el presente. El incremento en la concentración de N se correlaciona con estimaciones de la emisión de N a

partir de combustibles fósiles durante el mismo período de tiempo.

Nosotros todavía tenemos mucho que aprender acerca del transporte de N atmosférico desde la tierra hacia el agua. Claramente, la atmósfera puede ser una importante fuente de N para los lagos y ríos y potencialmente puede ser una gran contribución a la

eutroficación costera. Y nosotros conocemos que la volatilización de gases de N a partir de las tierras agrícolas aporta una importante fracción de este N.

### QUE PODEMOS HACER ACERCA DE ESTO?

A menos que las actuales prácticas sean cambiadas, la contaminación de aguas superficiales se incrementará en el futuro. Algunos factores para esta presunción son: el aumento sustancial en la incorporación de P y N en los suelos agrícolas, el incremento de la población humana, la preferencia de la gente por dietas ricas en carne, las cuales llevan a incrementar la producción ganadera, el crecimiento de las áreas urbanas con los procesos asociados de erosión y desarrollo y el incremento de la fijación de N por actividad humana como producción de

fertilizantes y quema de combustibles fósiles. (Irónicamente, el aumento del uso de máquinas y turbinas mas eficientes para quemar combustibles fósiles, ha tenido el inadvertido efecto de incrementar la fijación de N).

Sin embargo, este pronóstico pesimista podría ser incorrecto, porque hay numerosas fuentes no puntuales que pueden ser reducidas. Aquí nosotros ofrecemos un breve catalogo:

### Manejo del Paisaje

Los bosques y otros tipos de vegetación a lo largo de los ríos y costas pueden reducir significativamente el flujo no puntual de nutrientes en las aguas superficiales. Esta vegetación también hace una importante contribución al hábitat de peces y vida silvestre y a la diversidad regional.



Fotografía por S.C. Delaney/EPA

**Figura 11** – Numerosas fuentes no puntuales de contaminación pueden ser reducidas. Por ejemplo, la restauración de humedales y el incremento de la vegetación de riberas interceptan la contaminación no puntual y provee hábitats para la vida silvestre

El interés por usar vegetación de ribera para controlar la contaminación no puntual ha incrementado rápidamente en los últimos años, al igual que los trabajos científicos y artículos sobre el tema.

Los humedales, lagos y ríos son sitios de denitrificación (proceso bacteriano que rompe el N orgánico y lo libera a la atmósfera, decreciendo el flujo de N en los ecosistemas acuáticos). La restauración de humedales y tierras inundables incrementa la denitrificación a escala de paisaje y para algunos también reduce la contaminación de lagos y ríos. De esta manera, la restauración de humedales puede ser el método de mejor costo-beneficio para decrecer la contaminación no puntual.

### *Manejo del P y N Usado en Agricultura*

La causa última de contaminación no puntual proviene de las tierras agrícolas que son fertilizadas en exceso y del desarrollo de explotaciones ganaderas de alta densidad. Hay soluciones directas. La aplicación de fertilizantes puede ser reducida hasta ajustar con los requerimientos del cultivo. Los desechos de las explotaciones ganaderas de alta densidad pueden ser manejados como una fuente puntual de contaminación, como la de los desechos humanos. Los nutrientes del estiércol pueden ser usados como fertilizantes, o los nutrientes pueden ser removidos (como se hace en los tratamientos de efluentes humanos) antes de que los efluentes sean descargados en las aguas superficiales. Los trabajos para implementar estas soluciones, están focalizados sobre el establecimiento de niveles límite en los cuales los nutrientes del suelo amenazan la calidad del agua, identificar las fuentes intensivas de contaminación y desarrollar mecanismos para controlar las fuentes y el transporte de nutrientes

### *Límites*

Los niveles límite de nutrientes en el suelo que crean una amenaza inaceptable para la calidad del agua deben ser establecidos para proveer una base firme para la regulación de la protección de los recursos acuáticos. Definir límites ha sido controversial porque los datos son insuficientes. Desafortunadamente, la base de datos relacionada con la concentración de nutrientes en suelos de escorrentía está limitada a unos pocos tipos de suelos y cultivos, lo que hace muy difícil extrapolar estos datos a todas las regiones. A causa de que los costos del manejo de nutrientes son muy altos, las industrias agrícolas afectadas por los límites tienen un desafío en sus bases científicas. Una fundación científica fuerte puede y debería estar desarrollada para límites de nutrientes en el suelo de tal manera que los estándares fijados sobre bases científicas puedan ser promulgados y defendidos.

### *Delimitación del Área Fuente*

Típicamente, mas del 90% del P exportado desde las cuencas se origina a partir de menos del 10% de las tierras durante unas pocas pero grandes tormentas. De esta manera, las medidas de remediación serán mas efectivas si ellas se apuntan a las áreas fuentes de exportación de P. Estas áreas son tierras que combinan una alta concentración de P en el suelo y características que favorecen la erosión y escorrentía superficial.

### *Manejo de Fuentes*

La escorrentía de P y N puede ser fuertemente reducida si los fertilizantes son aplicados a tasas que se ajustan con la asimilación del P y N por los cultivos y si los fertilizantes son aplicados cuando los cultivos están creciendo rápidamente. También, la asimilación de P por el ganado se debe ajustar a los requerimientos de los animales lo cual podría favorecer la disminución de P excretado en el estiércol. El manejo de las fuentes puede reducir significativamente la concentración de P en las escorrentías que entran en los cursos de agua y lagos. Por ejemplo, un agresivo tratamiento de efluentes de industrias lácteas en Florida redujo entre un 62% y 87% la concentración total de P en las aguas superficiales.

### *Manejo del Transporte*

El transporte de P y N a partir de las tierras agrícolas hacia las aguas superficiales por erosión y escorrentía puede ser reducido manteniendo la vegetación de las zonas de ribera o bandas de amortiguamiento, creando lagunas de retención o adoptando prácticas agrícolas como labranzas conservacionistas, terrazas y cultivos de cobertura. Por ej. las bandas de amortiguamiento de las zonas de ribera reducen entre un 50% y 85% el transporte de P a los cursos de agua. Sin embargo, cada solución debe ser combinada con reducciones de fuentes de nutrientes al suelo, de otra manera los nutrientes en el suelo continuarán acumulándose.

### *Control de la Escorrentía Urbana*

El control de la contaminación urbana no puntual es una rama bien desarrollada de la ingeniería civil con una extensiva y sofisticada literatura. Un objetivo clave es la optimización de los sistemas de aguas servidas. Otra propuesta incluye la creación de lagunas de retención, humedales y áreas verdes como integrantes de sistemas de manejo de aguas de tormentas, control de hojarasca y barrido de calles, reducción de áreas impermeables, como pavimento y asfalto que favorecen la escorrentía, y reducción de erosión especialmente a partir de sitios con obras en contracción

### Deposición Atmosférica

La deposición atmosférica de N puede ser reducida mediante el uso más eficiente de fertilizantes y mejorando el manejo de los desechos animales. De esta manera, los pasos necesarios para reducir el movimiento superficial del N agrícola también reducirán el transporte atmosférico. La reducción de la quema de combustibles fósiles y el mejoramiento de la interceptación de los gases traza de N generados durante la combustión también reducirán la deposición del N atmosférico.

### CONCLUSIONES

Nosotros ya tenemos un sólido conocimiento sobre los procesos que causan contaminación no puntual y eutroficación. Las causas y consecuencias son claras a escala global y regional. Nuestra capacidad para el análisis de sitios específicos de fuentes no puntuales y sus impactos está bien desarrollada y mejorada. Aunque la ciencia no puede por sí sola resolver el problema, los autores creen que la ciencia necesaria está disponible y podría ser fácilmente utilizada en la búsqueda de soluciones. La necesidad más crítica ahora es el desarrollo de políticas creativas y mecanismos de regulación que combinen la ciencia con la realidad social para diagramar una estrategia tendiente a reducir la contaminación no puntual y mitigar la eutroficación de nuestros cursos de agua.

### PARA MAYOR INFORMACIÓN

Este informe sintetiza los descubrimientos de nuestro panel. Nuestro reporte completo, el cual está siendo publicado en la revista *Ecological Applications* (Volumen 8, número 3, de agosto de 1998) discute y cita más de 70 referencias de la principal literatura científica sobre este tema. A partir de esa lista nosotros hemos elegido los siguientes como ilustrativos de las publicaciones científicas y síntesis en los cuales se basó nuestro informe.

- Naiman, R. J., J. J. Magnuson, D. M. McKnight, and J. A. Stanford. 1995. *The Freshwater Imperative*. Island Press, Washington D. C.
- National Research Council. 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology and Public Policy*. National Academy Press, Washington D.C.
- Novotny, V. and H. Olem. 1994. *Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. Van Nostrand Reinhold, NY.

Postel, S.L. and S.R. Carpenter. 1997. Freshwater ecosystem services. Pages 195-214 in G.C. Daily, editor, *Nature's Services*. Island Press, Washington D.C.

Vitousek, P. M., J. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger, and G. D. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Causes and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.

### Acerca del panel de científicos

Este informe presenta un consenso logrado por un panel de científicos elegidos para constituir una comisión de expertos en el área. Este informe fue sometido a evaluación de pares y fue aprobado por el Comité Editorial de *Issues in Ecology*. La afiliación de los miembros de panel de científicos es:

- Dr. Stephen R. Carpenter, Panel Chair, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
- Dr. Nina F. Caraco, Institute of Ecosystem Studies, Cary Arboretum, Millbrook, NY 12545
- Dr. David L. Correll, Smithsonian Environmental Research Center, Edgewater, MD 21037
- Dr. Robert W. Howarth, Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, NY 14853
- Dr. Andrew N. Sharpley, USDA-ARS, Pasture Systems and Watershed Management Research Laboratory, University Park, PA 16802
- Dr. Val H. Smith, Department of Systematics and Ecology, University of Kansas, Lawrence, KS 66045

### Agradecimientos

Nosotros agradecemos a E.M. Bennet, L. Pitelka, T. Reed, G.D. Tilman, y anónimos evaluadores por los comentarios para mejorar el manuscrito. Nosotros también agradecemos a W. Feeny por la parte gráfica. Este informe fue financiado mediante Pew Fellowships a S.R. Carpenter y G.D. Tilman y el sitio NTL-LTER.

### Sobre El Escritor científico

Yvonne Baskin, una escritora científica, editó el reporte del panel de científicos para asegurar una comunicación más efectiva de sus descubrimientos con lectores no científicos.

### Comité Editorial De *Issues in Ecology*

Dr. David Tilman, Editor en Jefe, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-6097. E-mail: tilman@lter.umn.edu.

*Miembros del comité*

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
- Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 1815 North Lynn Street, Arlington, VA 22209
- Dr. Simon Levin, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544
- Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331
- Dr. Judy L Meyer, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA 30602
- Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195
- Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532
- Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708

*Informes Previos*

Informes previos de *Issues in Ecology* disponibles de la *Ecological Society of America* incluyen:

Vitousek, P.M., J. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger, and G.D. Tilman. 1997. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences, *Issues in Ecology* No. 1.

Daily, G.C., S. Alexander, P.R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P.A. Matson, H.A. Mooney, S. Postel, S.H. Schneider, D. Tilman, and G.M. Woodwell. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems, *Issues in Ecology* No. 2.

*Traducción al Castellano*

Adriana Abril, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

*Copias adicionales*

Para recibir copias adicionales de este reporte por favor contacte:



Ecological Society of America  
1707 H Street, NW, Suite 400  
Washington, DC 20036  
esahq@esa.org, (202) 833-8773

### *Acerca de Issues in Ecology*

*Issues in Ecology* está diseñado para reportar, en lenguaje comprensible para no-científicos, el consenso de un panel de científicos expertos en temas ambientales relevantes. *Issues in Ecology* son financiados por el Programa “Pew Scholars in Conservation Biology” y por la *Ecological Society of America* –ESA- (la Sociedad Norteamericana de Ecología). Este es publicado en intervalos irregulares, conforme los reportes se completan. Todos los reportes están sujetos a una detallada revisión y deben ser aprobados por el Consejo editorial antes de su publicación. Ninguna responsabilidad por la opinión expresada por los autos en las publicaciones de ESA es asumida por los editores o la editorial de la *Ecological Society of America*.

*Issues in Ecology* es una publicación oficial de la Sociedad Americana de Ecología, la sociedad nacional de profesionales líder de ecologistas. Fundada en 1915, ESA busca promover la aplicación responsable de principios ecológicos para la solución de problemas ambientales. Para mayor información, contactar a la *Ecological Society of America*, 1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC, 20006. ISSN 1092-8987.

