

Contaminación de nitratos en aguas superficiales y subterráneas (*). Efectos sobre el medio natural y medidas correctoras



SUMARIO

Este trabajo pretende hacer una revisión bibliográfica para conocer el estado de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a nitratos se refiere, realizando un estudio de las posibles fuentes de contaminación, los efectos sobre las plantas y animales, incluido el hombre, así como los métodos de eliminarla y la legislación actual que existe sobre el tema.

AUGUSTO ARCE MARTÍNEZ

*Profesor Titular de Ingeniería Química,
Dpto. de Química y Análisis Agrícola de
la E.T.S.I. Agrónomos,
Universidad Politécnica de Madrid.*

Palabras clave: Agua, contaminación, nitratos, salud.

(*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE, como resultado final de un trabajo realizado en 1992 durante la realización del Máster "Contaminación Ambiental" en la E.T.S.I. de Caminos de Madrid, con una beca concedida por la Fundación.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo exponencial del crecimiento humano y de las actividades ligadas al mismo ha provocado en unos casos la escasez del recurso más importante para nuestra existencia: el agua, y en otros, como consecuencia de su uso abusivo y descontrolado, ha conseguido la contaminación de la misma.

La contaminación del agua puede ser de muy diversos tipos: orgánica, microbiológica, metales pesados y otras, entre las que cabe destacar la contaminación por elementos nutrientes, fundamentalmente nitratos y fosfatos.

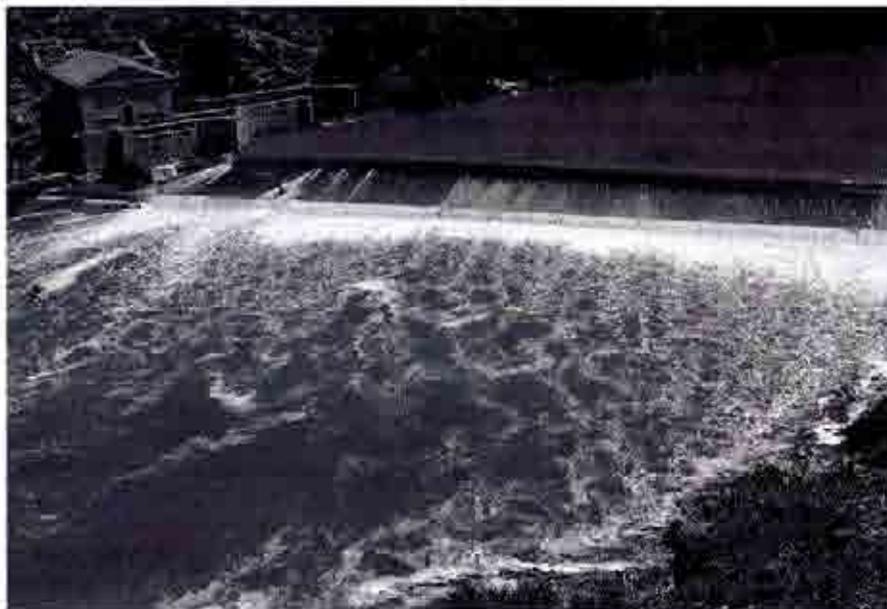
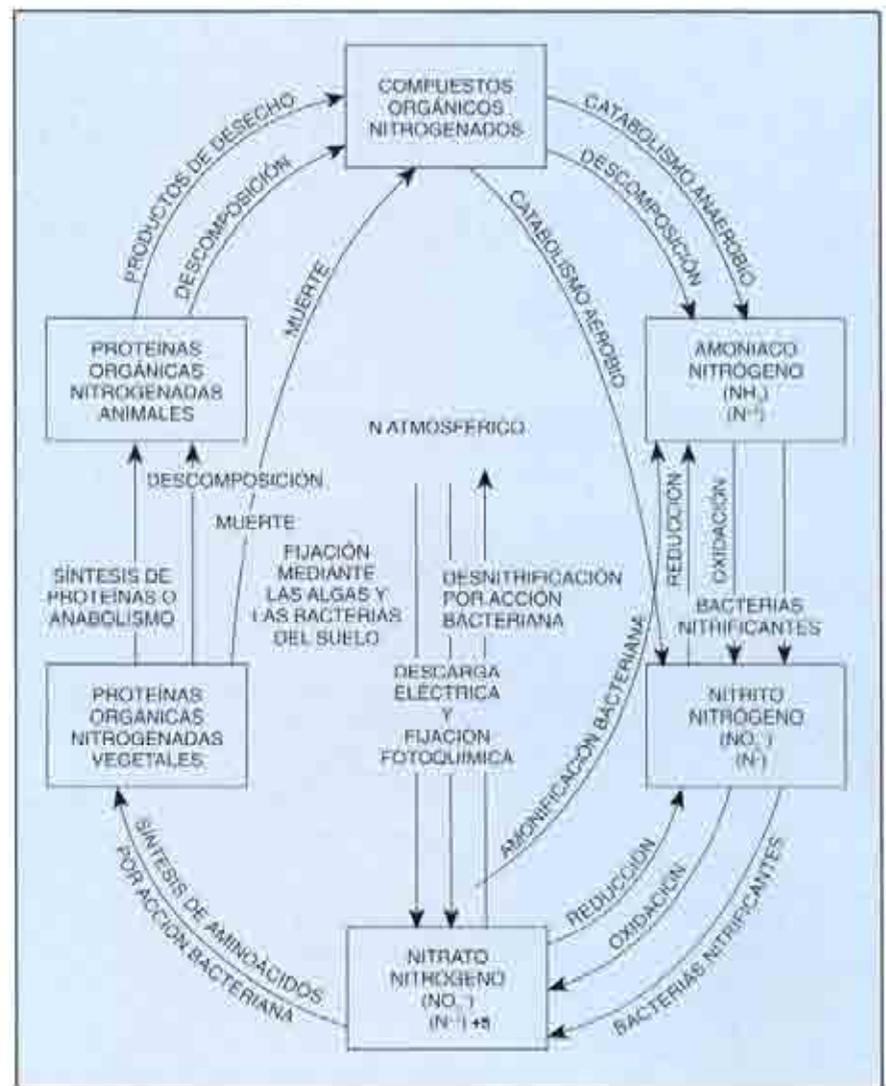
Esta última, en principio, no tendría demasiado interés, pero recientemente, y sobre todo en los países más desarrollados, ha cobrado una especial importancia por los problemas de eutrofización que genera en lagos, embalses y pantanos, con la consiguiente inutilización de grandes volúmenes de agua.

En este trabajo nos vamos a centrar en la contaminación por nitratos de las aguas superficiales y subterráneas, cuyo incremento ha sido muy significativo en los últimos años, consecuencia del incremento de población y de los usos, y a veces abusos, en la industria y en la agricultura.

Ciclo del nitrógeno

Los nitratos forman parte del ciclo biogeoquímico del nitrógeno (Fig. 1),

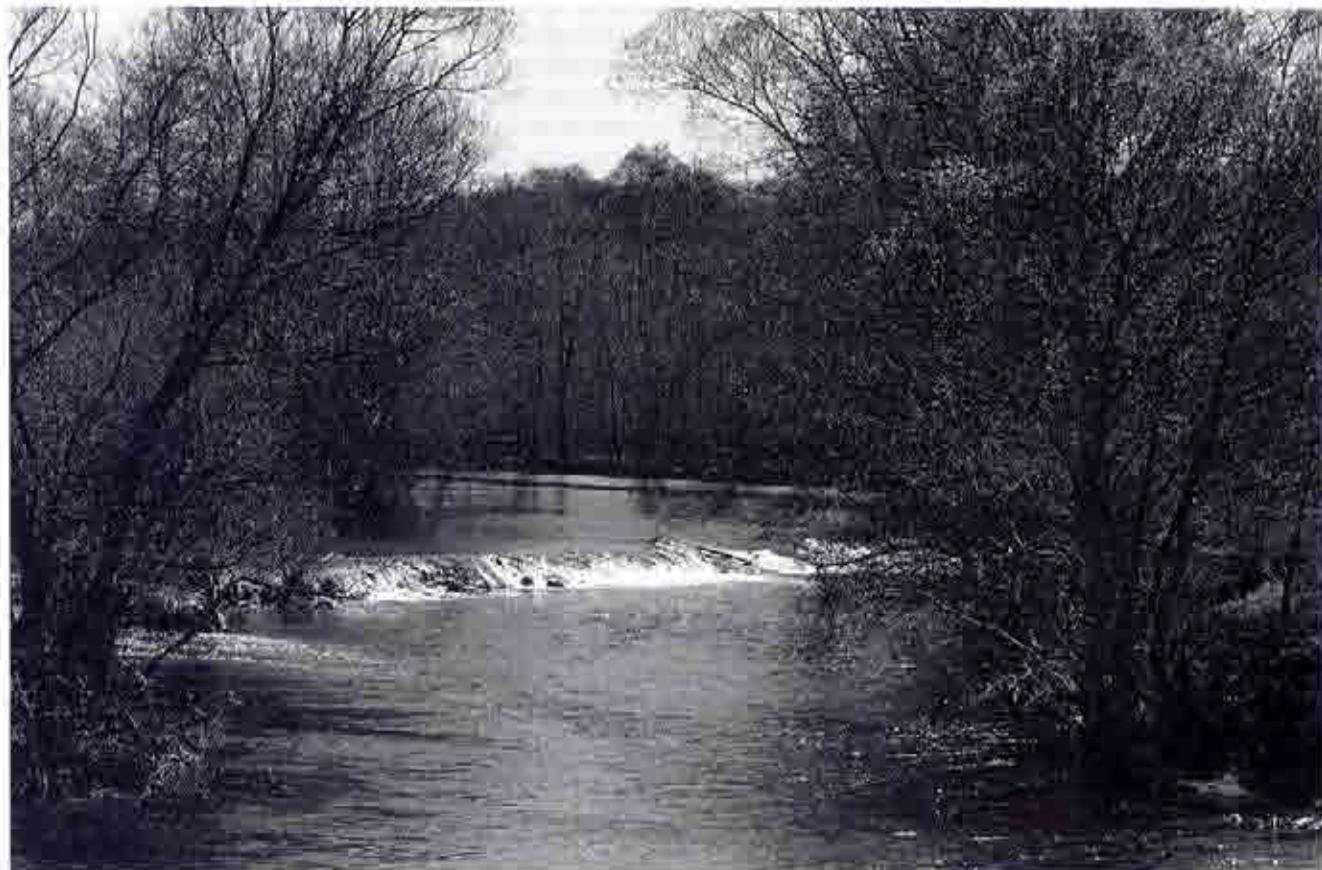
FIGURA 1. Ciclo del nitrógeno.



La contaminación del agua es de muy diversos tipos: orgánica, microbiológica, por metales pesados, nitratos, fosfatos, etc.

que, a su vez, interacciona con otros ciclos. El nitrógeno es un elemento esencial para todos los seres vivos, formando parte de los aminoácidos que constituyen las proteínas y las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos.

Sin embargo, a pesar de que el N₂ es un elemento bastante abundante en la naturaleza (el 79 por 100 de la atmósfera es N₂), su estructura molecular hace que su reactividad sea muy baja y que sólo pueda ser utilizada como fuente de nitrógeno por algunas bacterias. Por otra parte, los animales, las plantas y gran parte de los microorganismos requieren para su nutrición otras fuentes de nitrógeno, como pueden ser el amoníaco, los nitratos, la urea, etc., pero estas formas nitrogenadas son bastante escasas en los hábitat acuáticos y terrestres, y en la mayoría de los casos un factor limitante para el desarrollo de los seres vivos.



La Comunidad Económica Europea está elaborando una directiva para hacer realidad la disminución de los contenidos de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas.

Fijación del nitrógeno al ciclo biogeoquímico

La cantidad de nitrógeno atmosférico que se fija anualmente en la Tierra supera los 250 millones de Tm (Vian, 1984). El 65 por 100 de esta cantidad corresponde al que reciben directamente algunas plantas a través de ciertos microorganismos nitrificadores mediante una síntesis biológica, obteniendo los microorganismos a partir del N_2 del aire amoníaco, que posteriormente pasa a nitrógeno proteico en la planta. El resto (un 35 por 100 se fija por dos tipos de síntesis química; la primera corresponde a una síntesis incidental y supone un 10 por 100 del total, en ella el N_2 se une al O_2 o al H_2 por la acción de los rayos de la luz ultravioleta y de las altas temperaturas para dar óxidos de nitrógeno o NH_3 , que la lluvia se encarga de arrastrar a la superficie terrestre; la segunda corresponde a la síntesis industrial del H_2 con el N_2 mediante procesos de síntesis catalítica, siendo el proceso de Haber-Bosch el más utilizado a partir de nitrógeno e hidrógeno en determinadas condiciones de presión y temperatura, y en presencia de un cata-

lizador adecuado se obtiene el NH_3 , que a su vez es la base para la síntesis del resto de los fertilizantes nitrogenados; en total, la síntesis industrial supera los 70 millones de Tm. Son estos millones de Tm de fertilizantes los que, utilizados de manera intensiva, van a provocar en parte la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. En la figura 2 se muestra un esquema de la fijación del N_2 atmosférico.

ESTADO ACTUAL DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Los recursos mundiales de agua dulce se estiman en más de 37 millones de km^3 , aproximadamente 10 veces el mar Mediterraneo ($1/4$ partes corresponden a glaciares y hielo polar, y casi $1/4$ a los acuíferos subterráneos); de estas cantidades tan enormes solamente 9.000 km^3 anua-

FIGURA 2. Esquema de la fijación de N_2 atmosférico.

FIJACIÓN DEL N_2 ATMOSFÉRICO		
250 · 10 ⁶ Tm/año		
Síntesis química		Síntesis biológica
87,5 · 10 ⁶ Tm/año		162,5 · 10 ⁶ Tm/año
S. Industrial	S. Incidental (*)	
$H_2 + N_2$ ↓ T.P. catalizador $NH_3 \rightarrow$ Fert. nitrog.	$N_2 + H_2 + O_2$ ↓ h $NH_3 + NO_x$	Bacterias $N_2 atm \rightarrow NH_3$ ↓ Proteínas
25%	10%	65%

(*) La formación de NO_x en motores de combustión, las descargas electrónicas y las emisiones volcánicas estarían incluidas en la fijación incidental (J. Brill, 1977).

nea), y que de continuar esta tendencia en 1995 alrededor de 10 millones (el 20 por 100 de la población) se le suministraría agua con una concentración en nitratos mayor de 50 mg/l.

— En Alemania, el 20 por 100 de las plantas de tratamiento de agua está por encima de 25 mg/l, y el 5 por 100 presenta valores superiores a 50 mg/l.

— En los restantes países comunitarios también existen problemas de aumento de las concentraciones de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas, con zonas de mayor riesgo que también coinciden con zonas de agricultura o ganadería intensiva.

En Estados Unidos existen numerosos estudios de los Estados con mayor índice de contaminación de nitratos, siendo este un problema muy bien estudiado y sobre el cual ya se han tomado las oportunas medidas correctoras.

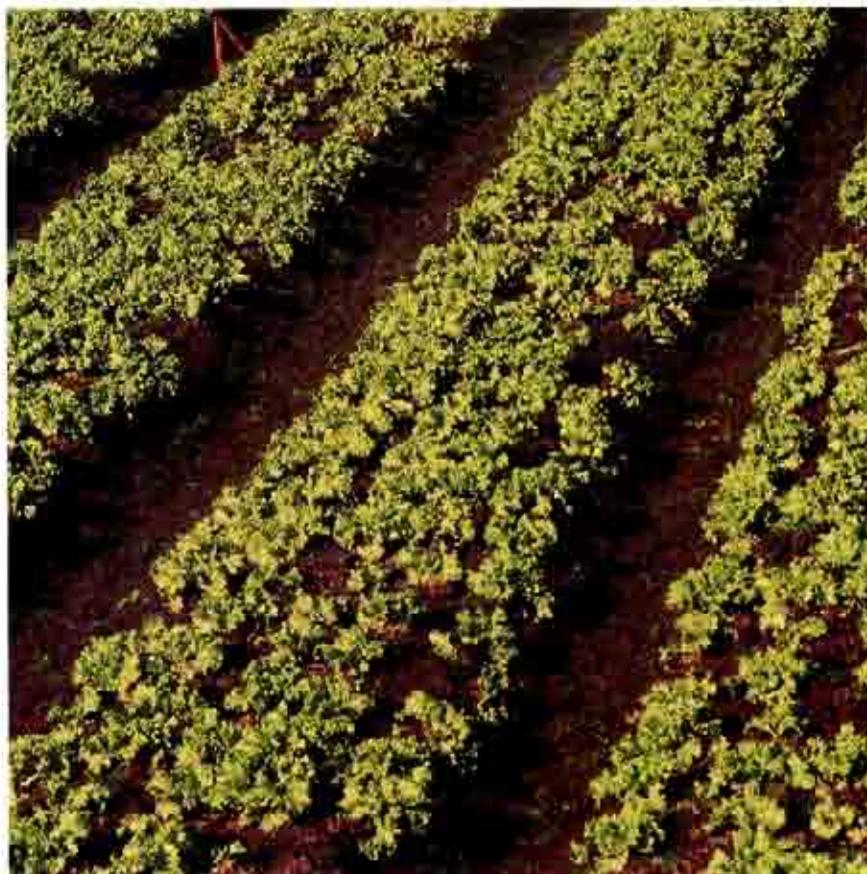
La situación en España no difiere mucho de la europea. En nuestro país el sector agrario alcanza un gran desarrollo, y, por lo tanto, el fenómeno de la contaminación por nitratos se halla estrechamente ligado a esta actividad en su doble vertiente: agrícola y ganadera.

Actualmente, como se puede observar en el mapa adjunto, existe en España un elevado número de acuíferos sobreexplotados afectados por contaminación agrícola, así, en determinadas zonas del levante español se ha observado un continuo incremento del contenido en nitratos del agua, sobrepasando en muchos casos los límites establecidos por la Reglamentación Técnico-Sanitaria. También se puede observar que la distribución de la contaminación está estrechamente ligada a zonas de alta concentración humana.

FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE NO₃

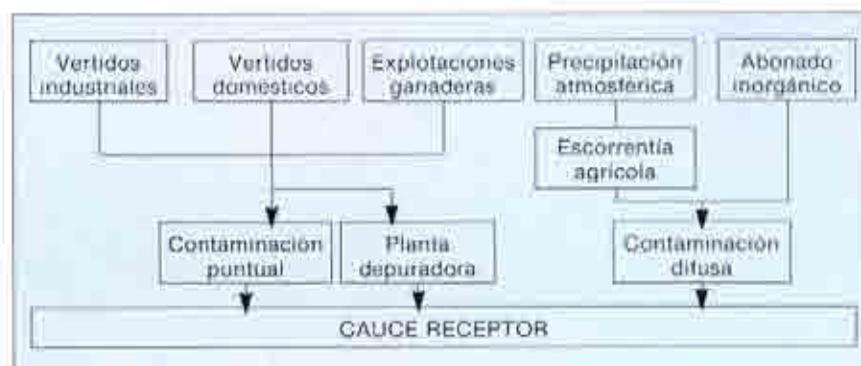
Existen dos tipos de contaminación por NO₃, claramente definidos: por una parte, la contaminación puntual ligada generalmente a actividades de origen industrial y urbano, y por otra, una contaminación difusa, originada fundamentalmente por las actividades agrícolas. En líneas generales, los aportes de nitrógeno (Fig. 3) a las aguas superficiales y subterráneas se podrían resumir en:

a) Nitrógeno atmosférico, muy importante en zonas industriales.



Las lechugas son una de las hortalizas que acumulan más nitratos.

FIGURA 3. Fuentes de contaminación por NO₃.



b) Efluentes procedentes de actividades industriales.

c) Aguas residuales urbanas incorporadas directamente a los cauces sin tratamiento previo.

d) Lixiviados procedentes de vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU).

e) Efluentes ligados originados por explotaciones ganaderas intensivas.

f) Aplicación masiva de fertilizantes inorgánicos en zonas eminentemente agrícolas, originando lixiviados que contaminan cauces y aguas subterráneas.

INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN DE NITRATOS SOBRE EL MEDIO NATURAL

Contaminación de la planta por aplicación de fertilizantes nitrogenados

El contaminante es el propio fertilizante, y concentraciones elevadas de NO₃ pueden causar una acumulación excesiva en la planta, que, a su vez, puede ocasionar efectos perjudiciales para la salud de los animales y del hombre.

Un exceso de nitrógeno es perju-

dicial para la planta, ya que da lugar a un aumento de follaje, con menor rendimiento del fruto, disminución del contenido en azúcar, retraso en la maduración y deterioro en el sistema radicular.

En diversos estudios realizados en Suiza y Alemania se ha observado que las hortalizas son propensas a acumular nitratos, en particular lechuga, acelgas, espinacas y remolacha, cuyos contenidos en nitratos superan en todos los casos 1.000 ppm.

Efectos de la ingestión de NO_3^- sobre la salud humana

Diversos estudios han puesto de manifiesto que la ingestión de altas dosis de NO_3^- o NO_2^- puede producir metahemoglobinemia, especialmente en los niños menores de seis meses.

La metahemoglobinemia se produce porque en el organismo los iones nitrato se reducen a nitrito y éste oxida el hierro ferroso de la hemoglobina al estado férrico, dando lugar a la formación de metahemoglobina, la cual es incapaz de fijar el oxígeno y, por tanto, de transportarlo hacia los tejidos. Los adultos poseen un sistema enzimático capaz de convertir la metahemoglobina en oxihemoglobina, lo cual no ocurre en los niños de corta edad. En Suiza, la Oficina Federal de la Salud Pública no admite en los alimentos infantiles la presencia de nitritos, y el límite para los nitratos es de 400 mg por kg de alimento a punto de ser consumido.

En la sangre normal, el 1 por 100 (adultos) o el 2 por 100 (niños) de la hemoglobina está como metahemoglobina; los primeros síntomas clínicos aparecen con el 10 por 100 de la metahemoglobina; anoxia cerebral, con el 20 por 100, y cuando alcanza el 50 por 100 puede producir la muerte por asfixia.

Se han detectado estados epidemiológicos sobre la incidencia de la metahemoglobinemia relacionada con el consumo de aguas subterráneas contaminadas por nitratos.

En Minnesota (USA), en 1950, H. Bosch detectó 139 casos de metahemoglobinemia infantil; por otra parte, P. G. Satt, en 1962, detectó 1.064 casos en la antigua República Federal Alemana.

En España, I. Farré detectó nueve casos de metahemoglobinemia infantil por consumo de agua con nitratos (76 mg/l).

En 1981, Troxles investigó un caso de muerte de 19 terneras después de la ingestión de un determinado fo-

rraje con un elevado contenido de nitratos en la materia seca.

Zaldivar y cols. (1975) realizaron un estudio acerca de la mortalidad por cáncer gástrico como función de la exposición a los nitritos, y Moller y Forman (1990) afirman que los compuestos N-nitrosos (CNN) carcinógenos pueden ser formados directamente en el estómago. Finalmente, estudios realizados por Forman (1990) han estimado cierta relación entre el cáncer de estómago y trabajadores de fábricas de fertilizantes.

En la figura 4 se muestra el esquema de la relación nitratos-nitritos-amoniaco con respecto a la incidencia en la salud humana.

Contaminación del medio natural en general

Cuando, por causas determinadas, se produce una acumulación de nutrientes (fosfatos y nitratos, fundamentalmente) en las aguas continentales tiene lugar el fenómeno conocido con el nombre de eutrofización (*eu*: abundante, y *tropho*: alimento), con el consiguiente aumento de materia vegetal y la proliferación de seres vivos, en particular algas.

Las causas principales de la eutrofización son:

- Aumento de las poblaciones próximas a las orillas de las cuencas que alimentan lagos y embalses.
- La utilización masiva y creciente de detergentes.
- La utilización de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en dosis elevadas.
- El empleo de fosfatos en el tratamiento de aguas de abastecimiento.

Consecuencia de todo lo anterior

es el deterioro de los lagos y embalses, produciéndose una disminución de la transparencia de las aguas, descenso del contenido de oxígeno en las aguas profundas (debido a la oxidación de las algas que se van depositando en el fondo), disminución de la función clorofílica, decantación acelerada y, finalmente, sedimentación del calcio y aparición de fermentaciones anaerobias en el fondo, lo cual provoca la desaparición total de la vida. Todo lo anterior nos lleva a la inutilización de los lagos y embalses debido al mal sabor y olor del agua e incluso toxicidad producida por alguna de las algas.

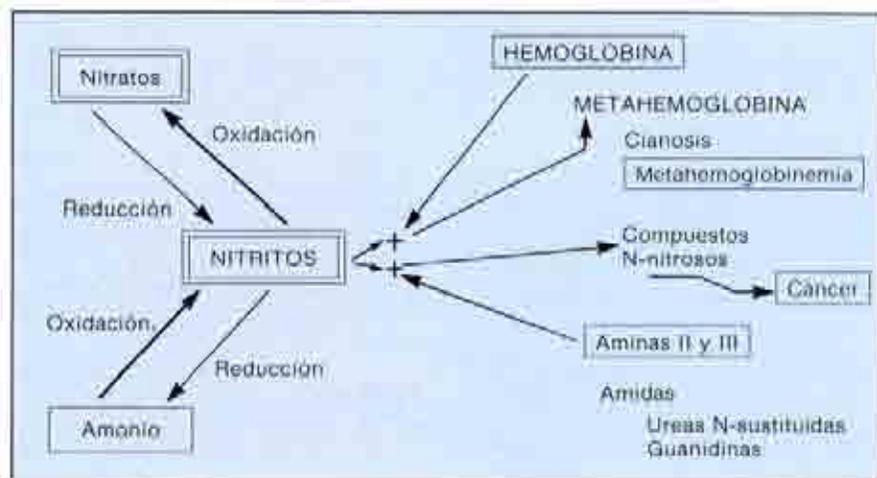
PROCEDIMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE NITRATOS Y LEGISLACIÓN

Como medidas preventivas contra la eutrofización, y en consecuencia de la contaminación de las aguas subterráneas, habría que controlar la contaminación difusa provocada por la agricultura y ganadería intensiva en las proximidades de lagos y embalses, así como un control en los niveles de nitrógeno y fósforo de los vertidos de las poblaciones próximas a los mismos, para lo cual se podría recurrir, en cuanto a la eliminación de nitratos, a los siguientes procesos de tratamiento:

- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.
- Nitrificación biológica.

La nitrificación biológica sería el proceso más adecuado, y consiste en la reducción de nitratos a nitrógeno gas, produciéndose simultáneamente la oxidación de sustancias orgánicas.

FIGURA 4. Esquema de la relación NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ respecto a la incidencia de la salud humana.



Por lo que se refiere al fósforo, existe un procedimiento químico eficaz con sulfato de alúmina que puede tener un rendimiento de hasta un 82-85 por 100.

Estos tratamientos, denominados terciarios, presentan un coste muy elevado y solamente son aplicados en un reducido número de países, como, por ejemplo, Alemania, cuya legislación impide vertidos con niveles de nitrógeno superiores a 1 ppm.

En la Unión Europea existe una extensa legislación sobre las concentraciones límites del agua para sus distintos usos, y tanto la Directiva para las aguas de consumo humano de la UE (16 de junio de 1975) como la Reglamentación Técnico-Sanitaria para las aguas de consumo público (Real Decreto de 18 de junio de 1982, publicado en el BOE de 29 de junio de 1982) clasifican a los nitratos como «componente no deseable» y fijan su concentración máxima en 50 mg de NO_3 /l.

La UE trata actualmente de homogeneizar la legislación de todos los Estados miembros, y a este respecto se está elaborando una Directiva Comunitaria que trata, entre otros aspectos, minimizar la contaminación por nitratos, para lo cual propone medidas tales como:

— Creación de agencias que orienten a los agricultores y establezcan los Códigos de Buenas Prácticas Agrícolas.

— Desarrollo de la investigación científica (dirigida al estudio de los mecanismos físicos, físico-químicos y biológicos que eviten las pérdidas de nitrógeno por lixiviación).

CONCLUSIONES

Como consecuencia del estudio y la revisión bibliográfica se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1.^ª Es clara y notoria la contaminación por nitratos existente en aguas superficiales y subterráneas en España, en los países de la UE y, en general, en todos aquellos países industrializados.

2.^ª Está totalmente comprobado que esta contaminación va a crecer en los próximos años si no se adoptan medidas preventivas y correctoras.

3.^ª Las concentraciones de NO_3 en aguas de bebida superiores a 50 mg/l y en las plantas de consumo directo son causa de la metahemoglobinemia en lactantes.

4.^ª Las concentraciones elevadas de NO_3 están directamente relacio-

nadas con el cáncer de esófago y estómago, ya que los nitratos se reducen a NO_2 y éstos pueden dar lugar a (NNC), que son sustancias mutantes y carcinógenas.

5.^ª Las fuentes principales de contaminación por NO_3 son los grandes núcleos de población (concentración puntual) por los vertidos de aguas residuales con elevados niveles de nutrientes y las prácticas agrícolas y ganaderas intensivas (contaminación difusa).

6.^ª Existen medidas preventivas y correctoras que pueden detener el aumento progresivo de estos niveles de NO_3 en las aguas superficiales y subterráneas, aunque éstas suponen un alto coste económico.

7.^ª La Unión Europea está elaborando una Directiva Comunitaria que puede hacer realidad la disminución de los contenidos en NO_3 si se cumplen realmente sus directrices.

8.^ª Finalmente, somos todos los que, debidamente concienciados de éste y otros problemas contaminantes, podemos conseguir un medio ambiente más limpio y natural.

BIBLIOGRAFÍA

AMBROGGI, R. P.: «Embalses subterráneos para el control del ciclo del agua», *Investigación y Ciencia*, n.º 10, julio 1977.

—: «El agua», *Investigación y Ciencia*, noviembre 1980.

BOGARDI, ISTVAN, ed.: *Nitrate contamination*. Edited by Istvan Bogardi, Robert D. Kuzelka, Wilma G. Ennenga. Berlin. Springer-Verlag, cop. 1990.

CÁNOVAS, J.: *Calidad agronómica de las aguas de riego*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986.

CATALÁN LAFUENTE J.: *Química del agua*, Ed. Librería Editorial Bellisco, 1990.

CEOTMA-INIA-ICONA: *Tratado del medio natural*, Tomos II, III y V. Universidad Politécnica de Madrid, 1981.

DÍAZ ÁLVAREZ, M. C.: *Agricultura y medio ambiente*, Ed. Dirección General del Medio Ambiente, MOPU, 1988.

EQUIPO DE ANÁLISIS ECOLÓGICOS: «Nitratos y nitritos: dos tóxicos cada vez más abundantes en los alimentos», en *Integral: Ecología, salud y vida natural*, Barcelona, vol. 9 (1987), n. 87, pp. 18-23.

FERNÁNDEZ RUIZ, L.: *Los nitratos y su incidencia en España*, TecnAmbiente, abril 1991, pp. 47-52.

FOLLET, R. F., ed.: *Nitrogen mana-*

gement and ground water protection. Amsterdam [etc] Elsevier, 1989. XV, 395 p.; II (Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology: 21).

GARCÍA-BADELL, J. J.: *La contaminación y el equilibrio ecológico*, vol. I, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1987.

GAVIÑA MÚGICA, M.: *La eutrofización de las aguas lénticas*, tratado del medio natural, CEOTMA, INIA, ICONA, Ed. U.P.M., 1981.

HEALTH: *Health hazards from nitrates in drinking-water: report on a WHO meeting*, Copenhagen, 5-9 March 1984. [2nd printing], Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 1986. VII, 102 p.; II (Environmental Health; 1).

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A.: *Abastecimiento y distribución del agua*, Ed. Servicio de publicaciones de la E.T.S.I. Caminos, Madrid, 1987.

—: *Depuración de las aguas residuales*, Ed. Servicio de publicaciones de la E.T.S.I. Caminos, Madrid, 1990.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA: *Contaminación de las aguas subterráneas: la problemática de los nitratos y su incidencia en España*, Madrid, IGME, D.L., 1989.

LÓPEZ VERA, F.: *Contaminación de las aguas subterráneas*, Ed. MOPU, 1990.

MOPU: *Estudio sobre la contaminación nitrata en las aguas subterráneas del territorio peninsular y Baleár*, Documentación Técnica, DGOH, Madrid.

NALCO: *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*, tomos 1, 2, y 3, McGraw-Hill, 1989.

NITRATES-AGRICULTURE-EAU: *International Symposium organized by Institut National Agronomique*, Paris. Grignon: Paris. La Défense (France), November 7-8, 1990 / editor: R. Calvet. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, cop. 1990, p. 576.

SEL DE SCIENTIFIC-AMERICAN: *Química y ecosfera: temas de ecología química e industrial*.

VALERIO, E.: *La legislación europea del medio ambiente. Su aplicación en España*. Ed. Colex, 1991.

VEZ, A.: «Nitrates, nitrites, composés N-nitroso et santé publique», *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* Vol 14 (4) 195-197, 1982.

VIAN ORTUÑO, A.: *La fijación industrial del nitrógeno atmosférico*, Ciclo de conferencias: «Historia de la Química», Real Academia de Ciencias Físicas y Naturales, 1982.