

Capítulo 17

Nitratos y nitritos

Lilia A. Albert *

1. ANTECEDENTES

La toxicidad de nitratos y nitritos se conoce desde fines del siglo pasado. Ya en 1895, Mayo describió algunas intoxicaciones en ganado y las atribuyó a la ingestión de nitratos. En 1945, Conway asoció por primera vez la methemoglobinemia fatal en un infante con la ingestión de agua de pozo contaminada con nitratos. Desde entonces hasta 1979, se habían reportado cerca de dos mil casos similares en todo el mundo, aproximadamente el 10 % de los cuales causaron la muerte de los afectados. En Estados Unidos, el caso más reciente de muerte por esta causa ocurrió en 1987.

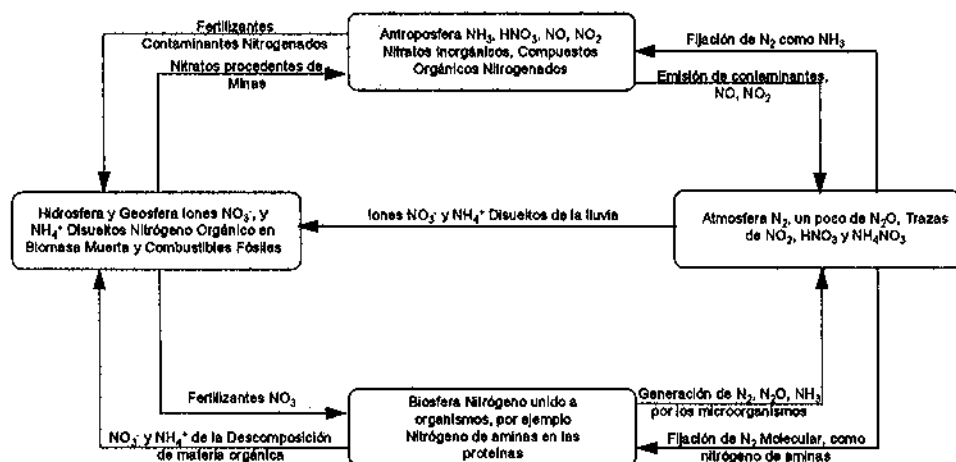
Es importante destacar que, aunque el agente responsable de esta enfermedad son los nitritos, debido a que éstos se forman naturalmente a partir de los nitratos, un factor determinante en la incidencia de esta enfermedad es la concentración de nitratos en el agua y los alimentos. Para dar una idea de la gravedad y magnitud potencial de este problema, basta mencionar que los datos obtenidos a través del *Global Environmental Monitoring System* (GEMS) indican que el 10 % de los ríos que se estudiaron en todo el mundo tenían concentraciones de nitratos en exceso del límite permisible que recomienda la OMS. Los estudios de GEMS también encontraron que, en Europa, el 5 % de los ríos tenían concentraciones de nitratos hasta 45 veces mayores que la concentración natural.

* Sociedad Mexicana de Toxicología, Xalapa, Ver.

2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y QUÍMICA AMBIENTAL

Los iones nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) son aniones inorgánicos de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno (véase el Capítulo 3). En este ciclo, los desechos que contienen nitrógeno orgánico se descomponen en el suelo o el agua, por acción de los microorganismos, para formar amoníaco en primera instancia. Posteriormente, éste se oxida para formar iones nitrito y éstos, a su vez, para dar nitratos. Este ciclo se esquematiza en la figura 17.1.

FIGURA 17.1
Ciclo del Nitrógeno



Fuente: Modificado de Manahan (1994).

Los organismos superiores, incluyendo al hombre, no pueden aprovechar directamente el nitrógeno del aire, que es esencial para la vida, y requieren de la intervención de los microorganismos fijadores de nitrógeno, que lo pueden

captar de la atmosfera y combinarlo enzimáticamente, para formar compuestos orgánicos.

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ión; la estructura de éste es plana y de alta estabilidad, con el nitrógeno en el centro y los oxígenos en las esquinas de un triángulo equilátero y, en ella, cada uno de los enlaces N-O es un híbrido de un enlace sencillo y uno doble. Esta es la forma del nitrógeno más estable termodinámicamente en presencia de oxígeno, por lo que, en los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.

Los nitritos (sales del ácido nitroso, HNO_2) son solubles en agua y, por lo general, más estables que el ácido del que provienen. Se forman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana.

El ión nitrito es menos estable que el ión nitrato, es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que sólo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos, y de que, en general, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas, así como en el ambiente. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y por factores abióticos.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados —incluyendo el amoníaco— así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente, los nitratos son solubles y no se adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas.

3. FUENTES AMBIENTALES

Como ya se señaló, la presencia natural de nitratos y nitritos en el ambiente se debe al ciclo del nitrógeno, por lo que cualquier alteración antropogénica

de este ciclo modificará las concentraciones normales de nitratos y nitritos en el ambiente. Entre estas alteraciones son especialmente importantes la fijación industrial de nitrógeno y la emisión de grandes cantidades de óxidos de nitrógeno en las zonas urbanas, los cuales se transformarán eventualmente en nitratos (véanse los Capítulos 9 y 10).

Las fuentes ambientales más importantes de nitratos y nitritos son antropogénicas e incluyen:

- El uso de fertilizantes nitrogenados
- La disposición de excretas
- La disposición de desechos municipales e industriales
- El uso de aditivos alimentarios.

A continuación se discute brevemente cada una de ellas.

3.1 USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

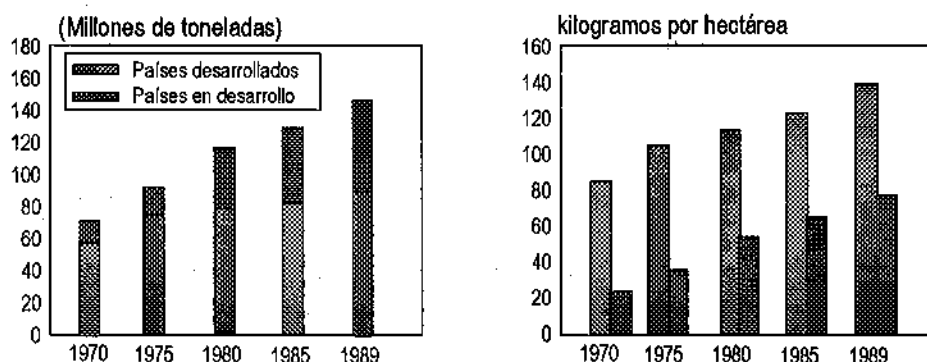
El nitrógeno es un elemento esencial para las plantas que lo requieren para la síntesis de proteínas. Cuando no hay rotación de cultivos ni policultivos, como ocurre en la agricultura de monocultivo, el nitrógeno disponible en los suelos se reduce continuamente, por lo que es necesario reponerlo mediante fertilizantes sintéticos. El uso de estos fertilizantes ha aumentado notoriamente en los últimos años y, en los países desarrollados, se llegan a aplicar hasta 550 kg/ha de suelo cultivable por año (véase la figura 17.2).

En las zonas agrícolas, los fertilizantes nitrogenados son la fuente principal de contaminación con nitratos de los acuíferos poco profundos, de los cuales proviene la mayoría del agua de bebida de las poblaciones rurales.

En los estudios que se han realizado al respecto, se ha comprobado que la contaminación del agua subterránea es un problema cada vez más grave en los países en desarrollo. Así por ejemplo, en Jamaica ha sido necesario cancelar el uso de más del 50 % de las fuentes de agua subterránea, mientras que, en Argentina, se calcula que alrededor de 10 millones de habitantes están expuestos a altos contenidos de nitrato en el agua. A pesar de esta

realidad, el número de estudios sobre la presencia de nitratos en las aguas subterráneas es muy bajo en estos países.

FIGURA 17.2
Aumento en el Consumo Mundial de Fertilizantes



Fuente: Modificado de PNUMA (1984).

3.2 DISPOSICIÓN DE EXCRETAS

Otra fuente importante de contaminación por nitratos son las excretas de los animales, por ejemplo, un novillo de 450 kg excreta alrededor de 43 kg de nitrógeno/año, en consecuencia, la cría intensiva de animales de cualquier tipo (bovinos, porcinos o aves) es una fuente importante de nitrógeno, la mayoría del cual eventualmente se transformará en nitratos, los que pasarán a las aguas superficiales y profundas de la zona.

Otro aporte relacionado es la contaminación que puede originarse en algunas fosas sépticas, especialmente en los pozos más profundos. Como resultado, durante las temporadas de sequía —o de deshielo en los países fríos— tanto los pozos domésticos como los sistemas de aprovisionamiento de agua que utilizan aguas superficiales pueden contener concentraciones de nitratos más elevadas que lo normal.

3.3 DISPOSICIÓN DE DESECHOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES

Las descargas de desechos municipales e industriales son fuentes concentradas de compuestos de nitrógeno y, en los países en desarrollo, en su mayoría se depositan directamente en las aguas superficiales, las cuales pueden tener concentraciones elevadas de estos compuestos, aún después de ser tratadas, pues el tratamiento secundario logra eliminar, cuando mucho, el 20 % del nitrógeno presente. Los lodos de las plantas de tratamiento pueden ser otra fuente importante de contaminación con nitrógeno y también pueden ocurrir filtraciones al subsuelo a partir de las lagunas de estabilización, lo que es una fuente adicional de contaminación.

Considerando que la cantidad de nitrógeno en las excretas humanas se calcula en unos 5 kg/persona/año, se puede comprender fácilmente la grave alteración del ciclo del nitrógeno que se genera en las zonas a las que llegan las aguas residuales de los grandes ciudades, en particular, el aumento en la concentración de nitratos en los suelos y aguas de esas zonas.

El contenido de nitrógeno en los desechos industriales depende del producto y del proceso; generalmente, las industrias de elaboración de alimentos, las refinerías y la industria petroquímica son las fuentes más importantes de contaminación ambiental con nitrógeno, la que necesariamente influirá sobre el ciclo de este elemento y sobre la presencia ambiental de nitratos y nitritos.

Por otra parte, la cantidad de óxidos de nitrógeno (NO_x) que se generan por el uso de combustibles fósiles en los vehículos automotores y los procesos industriales es muy elevada y una proporción considerable de este nitrógeno regresa a la superficie terrestre en forma de nitratos (véanse los Capítulos 9 y 10).

3.4 USO DE ADITIVOS ALIMENTARIOS

La sal común mezclada con nitrato de potasio se ha empleado desde épocas remotas para la conservación de carnes, la cual se debe a la acción antimicrobiana del ión nitrito. El uso de nitratos (como fuente de nitritos) y, directamente de nitritos, es frecuente en la elaboración (curado) de derivados de la carne, como tocino, salchichas, y otros embutidos, que deben

almacenarse por largo tiempo, y en la conservación de pescado en algunos países. Su objeto es evitar el desarrollo de *Clostridium botulinum* y otras bacterias. Al mismo tiempo, estos aditivos mantienen y aumentan el color y sabor característicos de la carne, por formación de pigmentos rosados y desnaturalización de las proteínas y su acción antioxidante retarda el enranciamiento. Para lograr una estabilidad y presentación comercial aceptables de ciertos productos cárnicos se requiere aplicar aproximadamente 50 mg de nitrito/kg de alimento.

En la industria de quesos de algunos países se suelen emplear los nitratos de sodio o potasio como agentes antimicrobianos.

3.5 OTRAS FUENTES

Los vegetales son la fuente de más del 70 % de los nitratos en una dieta común, aunque rara vez contienen cantidades de éstos que puedan causar efectos tóxicos agudos. La concentración de nitratos en los vegetales depende, sobre todo, del uso de fertilizantes nitrogenados, aunque otros factores también la favorecen, entre ellos, la actividad de algunas enzimas y la presencia o deficiencia de otros elementos esenciales como potasio, hierro o molibdeno. Entre los vegetales con mayores concentraciones naturales de nitratos están la lechuga, la coliflor, la espinaca y el brócoli, así como los tubérculos y raíces comestibles, a este respecto merece mención especial el tabaco. Durante la cocción de los vegetales, parte de los nitratos presentes pasa al agua, lo que puede reducir el riesgo que representan, sin embargo, esto no ocurre si esta agua se utiliza para preparar los alimentos.

El remanente de los nitratos en una dieta común proviene del agua de bebida (cerca de 21 %) y de la carne y sus productos (aproximadamente 6 %), cuando en ellos se han usado nitratos o nitritos como aditivos; la principal fuente de nitratos para los bebés es el agua que se emplea en la preparación de la leche en polvo.

En los laboratorios químicos pueden ocurrir exposiciones accidentales a nitritos y se conocen casos de intentos suicidas. En algunos países es frecuente el abuso deliberado de nitritos orgánicos volátiles (de amilo, butilo e *iso*-butilo) como agentes sicodélicos o afrodisíacos. Otras posibles fuentes

de exposición a estos agentes incluyen el nitrito de sodio que se usa como agente anticorrosivo en líquidos de enfriamiento y los gases nitrosos para soldadura. Han ocurrido intoxicaciones graves y muerte cuando se ha confundido el nitrato de sodio con sal común, y se ha ingerido con los alimentos.

En diversos procesos químicos como la producción de colorantes diazóticos, el tratamiento de superficies metálicas y diferentes tratamientos galvanoplásticos, se utilizan o se generan nitritos.

La exposición a nitratos y nitritos también puede ocurrir a través de ciertos medicamentos, por ejemplo, por el uso tópico de nitrato de plata para tratar quemaduras, el de antimaláricos y otros. En el cuadro 17.1 se resumen las principales fuentes de exposición a nitratos y nitritos. Como es lógico, la importancia relativa de estas fuentes varía en los distintos países y para los diferentes individuos.

4. TOXICOCINÉTICA

En los humanos, el nitrato ingerido se absorbe rápidamente en el intestino delgado y se distribuye en el organismo, el nitrato llega al intestino grueso a través de la sangre y ahí se convierte rápidamente –en parte por los microorganismos fecales– en nitrito, el cual es muy reactivo y se reabsorbe a la sangre. Esta reducción requiere la acción de la nitrato reductasa, enzima presente en la plantas y en varios organismos.

El nitrato también se puede convertir en nitrito en la saliva, como resultado de la reducción bacteriana; esta transformación depende de la microflora oral y de las características de la dieta. La exposición oral a altas concentraciones de nitratos causa aumentos importantes en la concentración de nitritos en la saliva.

En cuanto a los nitritos, se absorben por difusión a través de la mucosa gástrica y la pared intestinal.

CUADRO 17.1
Algunas Fuentes de Nitratos y Nitritos

Agente	Fuente/uso
NITRATOS/NITRITOS INORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Agua de pozos contaminados - Conservadores de productos cárnicos - Algunos vegetales (jugo de zanahoria espinacas, etc.) - Tratamientos a base de nitrato de plata para quemaduras - Sales de uso industrial - Contaminantes de los tanques de óxido nitroso para anestesia.
NITRITOS ORGÁNICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Nitritos de butilo e iso-butilo • Nitrito de amilo • Nitroglicerina 	<ul style="list-style-type: none"> - Propelentes para desodorantes de habitaciones - Inhalantes en el equipo de antidotos para cianuros - Medicamentos orales, sublinguales o transdérmicos para el tratamiento de la angina.
OTROS	
<ul style="list-style-type: none"> • Nitrobenzeno • Anestésicos locales • Sulfonamidas • Fenazopiridina • Antimaláricos • Sulfonas • Ac. p. aminosalicílico • Productos de la combustión 	<ul style="list-style-type: none"> - Disolventes industriales, limpiadores de armas - Benzocaína, lidocaína, propitocaína, prilocaína - Medicamentos antibacterianos - Piridium - Cloroquina, primaquina - Dapsone - Bactericidas - Incendios, incineración.

Fuente: Modificado de ATSDR (1991)

Después de la absorción, tanto nitratos como nitritos se distribuyen con rapidez a todos los tejidos. En las ratas se ha demostrado que los nitritos atraviesan la barrera placentaria. No se ha demostrado que los nitritos se bioacumulen.

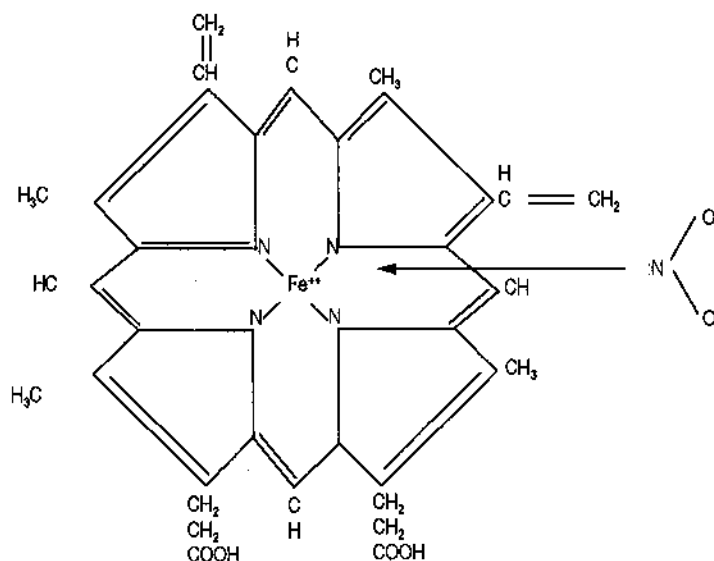
Una vez en la sangre, el nitrito reacciona con el ión ferroso (Fe^{2+}) de la desoxihemoglobina, formando methemoglobina en la cual el hierro se

encuentra en estado férrico (Fe^{3+}), por lo que es incapaz de transportar el oxígeno (véase la figura 17.3).

En el hígado, los nitratos se convierten rápidamente en metabolitos desnitrogenados y nitritos inorgánicos, los cuales son excretados con la orina. Así, entre el 60 y el 70 % de la dosis de nitratos ingerida se excreta con la orina durante las primeras 24 horas. Cerca del 25 % se excreta en la saliva, a través de un sistema activo de transporte sanguíneo del nitrato y puede reabsorberse. Las vidas medias de los compuestos que contienen nitratos son, usualmente, de menos de una hora y las de los metabolitos fluctúan entre 1 y 8 horas.

Se ha demostrado que parte del nitrato se puede excretar a través de la leche humana.

FIGURA 17.3
Formación de Methemoglobina



5. EFECTOS ADVERSOS

Como ya se dijo, el agente tóxico específico es el ión nitrito, el cual se forma naturalmente en el organismo humano a partir de los nitratos, cuando se reúnen ciertas condiciones que se detallan más adelante.

Un problema asociado, que aún está sujeto a controversia, es la posibilidad de que los nitritos que se usan como aditivos alimentarios reaccionen *in vivo* con las aminas de las proteínas y formen nitrosaminas (derivados N-nitroso), las cuales son carcinogénicas para los animales de experimentación. Aunque aún no hay pruebas concluyentes de que la ingestión de nitratos o nitritos cause efectos carcinogénicos y se requieren más estudios al respecto, esta posibilidad no debe desestimarse, ya que las nitrosaminas tienen un importante potencial carcinogénico.

Las siguientes condiciones favorecen la reducción de nitratos a nitritos:

- pH elevado en el estómago
- Cierta flora microbiana intestinal
- Aclorhidria gástrica
- Algunas enteritis graves.

A menos que existan estas condiciones, el nitrato ingerido se metaboliza y excreta sin producir efectos adversos aparentes. Independientemente de si el nitrito se ingirió o inhaló como tal, o si fue producido *in vivo* a partir de los nitratos, su principal efecto es la methemoglobinemia.

El proceso de formación y reducción de la methemoglobina en los eritrocitos es continuo; por lo común, en los individuos sanos, la concentración de ésta es de menos del 2 % de la hemoglobina total. Los valores de methemoglobina son más elevados en los niños prematuros que en los nacidos a término y, en los lactantes, más que en los niños mayores y en los adultos.

Hay dos tipos fundamentales de methemoglobinemia: la primaria o congénita, que es hereditaria, y la secundaria (aguda, inducida o adquirida)

que es producida por sustancias tóxicas. Esta puede deberse a diversos compuestos capaces de oxidar la hemoglobina *in vitro* (oxidantes directos) o a través de intermediarios metabólicos (oxidantes indirectos). Además de los nitritos, otros compuestos, entre ellos, anilinas, derivados sulfamídicos, acetanilidas y fenacetinas tienen esta capacidad. En el cuadro 17.2 se resumen los signos y síntomas de la methemoglobinemia.

CUADRO 17.2
Signos y Síntomas de Methemoglobinemia

Conc. de methemoglobina	Síntomas y signos
10 - 20 %	Cianosis central de tronco y extremidades, usualmente es asintomática.
20 - 45	Signos y síntomas de hipoxia: depresión del SNC (dolor de cabeza, mareo, fatiga, debilidad, letargia), síncope, disnea.
45 - 55 %	Coma, arritmia, colapso, convulsiones.
> 70 %	Alto riesgo de muerte.

Fuente: Modificado de ATSDR (1991).

Se considera que la methemoglobinemia subclínica -que se observa, por lo común, en concentraciones de entre 3 y 10 % de methemoglobina- no tiene efectos adversos para la salud; sin embargo, en niños se han observado cambios en el SNC que pueden deberse a un déficit de oxigenación, por lo que no debe desestimarse la posibilidad de que ocurran efectos adversos a causa de estos niveles relativamente bajos de methemoglobina.

Es importante subrayar que, en un individuo normal, los niveles de methemoglobina pueden ser de hasta 0.24 g/100 mL de sangre y que la cianosis puede llegar a presentarse en concentraciones de 0.5 g/100 mL de sangre, lo que indica que la diferencia entre la concentración normal y la concentración tóxica es muy pequeña.

5.1 EFECTOS HEMATOLÓGICOS

El principal mecanismo de toxicidad de los nitritos es la oxidación de ión ferroso (Fe^{2+}) en la desoxihemoglobina a ión férrico (Fe^{3+}), lo que produce la methemoglobina (véase la figura 17.3), la cual no puede unirse de manera reversible al oxígeno ni transportarlo. Dependiendo del porcentaje de la hemoglobina total que se encuentra en forma oxidada, los signos y síntomas son los de anoxia con cianosis, disrritmias cardíacas y falla circulatoria, con un aumento progresivo de efectos sobre el SNC, los que van desde mareo ligero y letargia, hasta coma y convulsiones.

La proteína de la hemoglobina también puede oxidarse, causando su desnaturalización y la hemólisis de los eritrocitos y, finalmente, anemia hemolítica. La proteína desnaturalizada se puede ver en las manchas de sangre periférica conocidas como cuerpos de Heinz, pequeñas partículas que a veces se pueden observar en los eritrocitos por iluminación con luz negra.

Los signos clásicos de la methemoglobinemia son la cianosis que no responde al suministro de oxígeno y el color chocolate de la sangre. La cianosis es central, de color café chocolate o gris pizarra. Afecta al tronco y la porción proximal de las piernas, así como a las extremidades distales y las membranas mucosas, se debe al color café-chocolate oscuro de la methemoglobina y, por lo común, se observa a concentraciones de 10 a 15 % de la hemoglobina total. Normalmente hay dos enzimas, (una dependiente de NADH y otra dependiente de NADPH), que pueden reducir la methemoglobina para formar nuevamente hemoglobina.

La methemoglobinemia fisiológica (1 a 2 % de la hemoglobina total) se observa generalmente como resultado de la exposición a sustancias oxidantes presentes en la dieta. La methemoglobinemia congénita (10 a 50 % de la hemoglobina) es rara pero puede encontrarse en individuos con hemoglobinas anormales en las que la sustitución de un sólo aminoácido favorece la formación de methemoglobina, a pesar de que las cantidades de methemoglobina reductasa sean normales, o por una deficiencia de la methemoglobina reductasa dependiente de NADH.

La methemoglobinemia adquirida se debe a la exposición a agentes oxidantes, incluyendo los nitritos; los individuos con una deficiencia de la reductasa dependiente de NADH pueden ser más susceptibles a desarrollar methemoglobinemia sintomática después de la exposición a nitritos. Otras causas de susceptibilidad son la presencia de enfermedades diarreicas agudas, la deficiencia enzimática de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa, las deficiencias nutricionales y la existencia de hemoglobinopatías.

5.2 EFECTOS CARDIOVASCULARES

En dosis altas, el nitrito es un fuerte vasodilatador, a causa de su acción relajante sobre el músculo liso vascular, por lo que puede causar hipotensión y shock.

5.3 EFECTOS RESPIRATORIOS

En los casos de methemoglobinemia grave, especialmente en niños pequeños o cuando se han presentado hipotensión y shock, se puede desarrollar acidosis metabólica. En los pacientes con methemoglobinemia se han desarrollado disnea y taquipnea. En los pacientes que abusan de los nitritos volátiles se ha presentado irritación del tracto respiratorio.

Los efectos de los nitratos presentes como contaminantes atmosféricos se discuten en los Capítulos 9 y 10.

5.4 ESTUDIOS EN ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN

Aunque se considera que la toxicidad asociada con la ingestión crónica de nitratos y nitritos es muy baja, algunos experimentos en animales muestran que pueden causar efectos mediatos y transplacentarios. Sin embargo, no se han demostrado de manera suficiente los efectos teratogénicos y fetotóxicos que se han atribuido a la exposición crónica a estos contaminantes.

En cobayos se han observado lesiones inflamatorias en el útero y lesiones placentarias degenerativas, aborto o reabsorción de los fetos, esto ha sido la base de que se les atribuyan efectos fetotóxicos a los nitritos. En diversos estudios se ha demostrado la posibilidad de inducir en el feto

methemoglobinemia transplacentaria. Sin embargo, no se ha comprobado un efecto teratogénico, y los datos sobre el daño a los productos son contradictorios.

A pesar de que existen pruebas de la mutagenicidad de los nitritos, su potencial mutagénico no está totalmente estudiado y no hay pruebas de que causen efectos carcinogénicos.

6. POBLACIONES EN RIESGO

Los riesgos de la exposición a nitratos y nitritos para la salud no dependen únicamente de la exposición, sino que en ellos influyen la existencia de condiciones favorables para la reducción de nitratos a nitritos y algunos factores inherentes al individuo. Esto impide que se pueda formular una relación dosis-respuesta con respecto a la presencia de nitratos en el agua o en los alimentos

6.1 NIÑOS MENORES DE TRES MESES

Estos niños están en riesgo especial de desarrollar methemoglobinemia aguda a causa de la exposición a nitratos cuando se les alimenta con leche en polvo que ha sido preparada con agua de pozos rurales que, como ya se indicó, muy frecuentemente está contaminada con nitratos. Esto se debe a que:

- El pH del tracto gastrointestinal en los bebés es normalmente mayor que en los niños mayores y en los adultos, lo que favorece la reducción bacteriana del nitrato ingerido. La gastroenteritis con vómito y diarrea puede acelerar la formación de nitritos.
- El mecanismo fisiológico de defensa basado en la reductasa no está completamente desarrollado en los menores de tres meses de edad, pues en ellos, la methemoglobina reductasa dependiente de NADH, tiene solamente la mitad de la actividad presente en los adultos.
- En los lactantes, una proporción importante de la hemoglobina se encuentra como hemoglobina fetal, la cual es oxidada a methemoglobina con más facilidad que la hemoglobina de adultos.

- La elevada ingesta relativa de líquidos durante la lactancia, por lo que, si el agua que los lactantes ingieren directamente, o la que se use para reconstituir la leche en polvo o para preparar otros alimentos, tienen concentraciones elevadas de nitratos, los bebés estarán consumiendo estas sales en concentraciones mayores, en relación con su peso corporal, que las que ingiere un adulto.

Estos factores se combinan para que los infantes que ingieren agua contaminada con nitratos estén en el mayor riesgo de desarrollar methemoglobinemia que los adultos. No hay pruebas de que los infantes que son alimentados con leche materna estén en riesgo de desarrollar methemoglobinemia a causa de la exposición a los nitratos ingeridos por la madre y que pudieran excretarse con la leche.

6.2 MUJERES EMBARAZADAS

En estas mujeres, el nivel de methemoglobina aumenta del normal (0.5 a 2.5 %) a un máximo de 10.5 % en la semana 30 del embarazo y declina, después del parto, hasta llegar al nivel normal. Por lo tanto, las mujeres embarazadas pueden ser más sensibles a la inducción de methemoglobinemia por nitritos o nitratos alrededor de la trigésima semana del embarazo.

6.3 POBLACIÓN GENERAL

El riesgo es, sobre todo, para las poblaciones rurales, por ejemplo, se ha calculado que, entre 1 y 2 % de la población de Estados Unidos cuya agua de bebida procede de los sistemas públicos de aprovisionamiento, puede estar ingiriendo nitratos en cantidades que exceden la concentración máxima recomendada por la EPA. También se ha calculado que los residentes de más de 600 mil hogares en ese país consumen agua de pozos domésticos contaminados con nitratos.

Aunque los responsables de los sistemas públicos de aprovisionamiento de agua deberían vigilar las concentraciones de nitratos periódicamente, por lo común esto no ocurre en los pozos rurales, por lo que las poblaciones rurales son las que están en mayor riesgo.

En 1990, la EPA encontró que cerca del 1.2 % de los pozos comunitarios y de 2.4 % de los pozos rurales para uso doméstico contenían nitratos en concentraciones que excedían el límite máximo permitido en Estados Unidos (45 mg/L), aunque en el estado de Iowa, el 18.3 % de los pozos rurales para uso doméstico excedieron dicho límite. En Cuba, los estudios de 387 fuentes de abastecimiento de agua en localidades de más de 5 mil habitantes demostraron que solamente entre el 0.5 y el 3.2 % de dichas fuentes los valores de nitratos estaban en exceso del límite de 45 mg/L. En contraste, en el 73.3 % de 105 pozos de pequeñas localidades de ese país, se sobrepasó este límite; en ese estudio se calculó que el aporte de nitratos por esta vía era de 89.6 mg/persona/día.

Es importante resaltar que, por lo común, la población rural de los países en desarrollo obtiene su agua de consumo directamente de fuentes superficiales o de pozos artesianos y que, en ambos casos, la cercanía de estas fuentes a los campos de cultivo facilita que se contaminen con nitratos. La escasa vigilancia sobre la presencia de contaminantes antropogénicos en el agua, que es usual en las zonas rurales de estos países contribuye, a esta situación.

En la mayoría de los países de América Latina no hay datos suficientes que permitan calcular la magnitud de la población expuesta a concentraciones excesivas de nitratos en el agua de bebida ni, mucho menos, el nivel de exposición y sólo es posible hacer cálculos aproximados con base en la población rural y la proporción del agua de consumo que se obtiene de pozos.

7. LÍMITES PERMISIBLES

La OMS ha recomendado una concentración máxima de 45 mg NO_3^-/L , este mismo límite ha sido aceptado por la EPA. En Estados Unidos se ha propuesto un límite máximo de NO_2^- de 3.29 mg/L. La mayoría de los países han adoptado estos valores en sus normas.

Para productos cárnicos curados, en Estados Unidos se ha establecido un límite máximo de residuos de 120 mg NaNO_2/kg , estos niveles permiten garantizar el control del *C. botulinum*, aunque se ha postulado que una

concentración de 100 mg/kg es suficiente para garantizar la seguridad de estos productos. En este país no debe adicionarse nitratos o nitritos a los alimentos infantiles, aunque se acepta la presencia natural de nitritos en ellos en concentraciones de 300 mg/kg (ppm).

En la mayoría de los países no existe un límite máximo de residuos de nitratos en los productos vegetales a pesar de que, tomando en cuenta el uso creciente de fertilizantes nitrogenados, se debería establecer este límite y vigilar su cumplimiento.

LITERATURA RECOMENDADA

ATSDR. (1991) *Case Studies in Environmental Medicine No. 16: Nitrate/Nitrite Toxicity*. US Dept. of Health & Human Services, Atlanta Georgia, USA.

García Roché MO, García Melián M. y Cañas Pérez R. (1994) *Nitratos, Nitritos y Compuestos de N-Nitroso, Serie Vigilancia 13*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Metepec, Edo. de México, México.