

## Efectos de los trihalometanos sobre la salud

Alicia SÁNCHEZ ZAFRA

Médico Residente de Medicina Familiar y Comunitaria. Centro de Salud de Almanjáyar. C/  
Pintor Joaquín Capulino Jauregui s/n. Granada (España). Correo-e: asanchezafra@yahoo.es

### INTRODUCCIÓN

El agua que discurre por los cauces naturales no suele cumplir con los mínimos higiénicos que garanticen el consumo sin riesgo sanitario. El agua, por definición, ha de ser incolora, inodora e insípida, pero se le añaden multitud de contaminantes orgánicos. Generalmente, en los nacimientos de los ríos el agua es segura, pero conforme va descendiendo encuentra restos de materia fecal animal, excrementos que se entienden como restos naturales que proceden de animales que pueden estar enfermos o ser portadores de enfermedades peligrosas (tuberculosis, brucelosis, carbunco, infecciones de piel con abscesos o bolsas de pus, entre otros).

Conforme este cauce discurre, puede contactar con cadáveres de animales que poseen una elevada contaminación, materias fecales procedentes de núcleos urbanos no bien depurados o de explotaciones agrarias o ganaderas, incluso por parques naturales controlados. Por ejemplo, la agricultura biológica propugna el uso de abonos naturales, entre los que se pueden considerar materiales fecales con elevada contaminación microbiológica. Los microorganismos pueden pasar al agua y de aquí ser distribuidos a núcleos de población importantes.

Según estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), hasta 1990, tanto las enfermedades relacionadas con el agua de bebida, como la disposición inadecuada de las aguas servidas y excretas, se encuentran entre las tres causas principales de muerte en el mundo.

Cada año, casi 1500 millones de personas padecen de enfermedades evitables propagadas por el agua, tales como cólera, fiebre tifoidea, disentería, giardiasis, esquistosomiasis y hepatitis A. La OMS calcula que más de nueve millones de personas mueren cada año a través del mundo a causa de agua

contaminada. Eso equivale a 25,000 personas por día, muchas de las cuales son niños menores de cinco años de edad. La ONU proyecta que para el año 2025, más de dos tercios de la población global vivirá en países con serios problemas de carencia de suministros de agua limpia.

**Tabla 1. Tasa mundial de morbilidad y mortalidad de las principales enfermedades relacionadas con el agua (OMS, 1993).**

Enfermedades	Número/año	
	Morbilidad	Mortalidad
Cólera	297.000	4.971
Fiebre tifoidea	500.000	25.000
Giardiasis	500.000	Bajo
Amibiasis	48.000.000	110.000
Enfermedad diarreica (<5 años)	1.600.000.000	3.200.000
Dracontiasis (gusano de Guinea)	2.600.000	-
Esquistosomiasis	200.000.000	200.000

Los aumentos de población, y sus impactos relacionados, continúan ejerciendo una gran presión sobre los recursos de agua alrededor del mundo. Al mismo tiempo, el aumento de residuos municipales y agrícolas, aguas de desagüe y productos derivados de la industria, además de los efectos climáticos globales y desequilibrios ecológicos comprometen aún más la calidad del agua.

El empleo de cloro para la desinfección de agua de consumo humano es una práctica aceptada en todo el mundo y ampliamente usada para el control de enfermedades diarreicas, como el cólera.

**Tabla 2. Mortalidad debida a infecciones intestinales (OMS, 1993).**

Tasa por 100000 hab.		Grupo de edad
72.1	Cuarta causa	Nacidos vivos
8.8	Tercera causa	1 – 4 años
0.8	Octava causa	5 – 14 años

El desafío que se enfrenta con la cloración es el de lograr los máximos beneficios del uso del cloro como excelente desinfectante, con un mínimo de impacto ambiental y toxicidad de sus subproductos. No hay razón para discutir la necesidad de la desinfección del agua para bebida; el problema esta en evaluar y comparar el riesgo de su toxicidad y potencia cancerígena de los subproductos de la cloración, frente al beneficio que se obtiene en el control de las enfermedades transmitidas por el agua contaminada.

### CAPACIDAD BACTERICIDA DEL CLORO

El cloro se descubre en el 1774 por el químico sueco Karl Wilhelm Scheele como producto de la reacción entre ácido hidroclohídrico y dióxido de manganeso.

El cloro y los compuestos que contienen cloro son oxidantes muy potentes y se pueden reaccionar con una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos en el agua antes de que se obtenga suficiente desinfección.

Las aguas que llegan a una planta de tratamiento de agua contienen agentes reductores (compuestos orgánicos e inorgánicos como nitritos, iones de hierro, plomo y sulfuros), así como microorganismos y bacterias.

El cloro se aplica en exceso de manera que pueda satisfacer la demanda para oxidar estos compuestos y eliminar estas bacterias, y reste una cantidad de cloro residual en los conductos de agua. Este cloro residual es el cloro libre que queda en el agua después que ha sido desinfectada en la planta. Su utilidad es de continuar desinfectando el agua desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llegue al consumidor.

Este cloro residual es importante que se encuentre en niveles seguros para el consumo humano. Si este se encuentra en exceso, el cloro puede resultar tóxico para el consumo.

Los desinfectantes más comúnmente usados son: cloro gas ( $\text{Cl}_2$ ), hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ , 12.5% de cloro disponible), hipoclorito de calcio [ $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , 70% de cloro disponible], cloraminas, dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ). Otros desinfectantes como permanganato potásico, rayos ultravioleta, bromo, yodo y plata no se han empleado en forma generalizada. Cada uno de los desinfectantes que se emplean tiene sus ventajas e inconvenientes en función de su costo, eficacia, estabilidad, facilidad

con que se aplique, y formación de subproductos de la desinfección.

Desde 1904, en EEUU el cloro ha sido utilizado continuamente para la desinfección del agua potable. Está ampliamente comprobado que la aplicación del cloro en los procesos de desinfección, ha tenido un efecto positivo en la salud humana. Enfermedades de origen hídrico como fiebre tifoidea, cólera, disentería, amebiasis, salmonelosis, shigelosis y hepatitis A, han decrecido en EEUU durante los últimos 80 años por efectos de la cloración.

Pese a haberse efectuado diversas investigaciones sobre la cloración del agua, aun no se han resuelto todas las dudas respecto a sus riesgos. Existen enigmas en las áreas más clásicas de la investigación sobre cloración, como por ejemplo su eficacia en la disminución de ciertos microorganismos. En los últimos años se han obtenido algunos datos sobre la acción del cloro en la eliminación de microorganismos resistentes causantes de enfermedades de origen hídrico, como el virus de la hepatitis A y los quistes de *Giardia lamblia*.

Además de proveer protección contra los patógenos virales y bacterianos, los desinfectantes con base de cloro también mejoran la estética del agua, que puede ser deteriorada por las algas y los restos de materia orgánica de origen vegetal (color, sabor y olor). La OMS ha informado que el sabor promedio y la concentración de umbrales de olor del cloro residual aumenta de 0.075 ppm a 0.450 ppm cuando el pH aumenta de 5.0 a 9.0. A pH 7.0 el umbral promedio fue de 0.156 ppm con un intervalo de variación de 0.02-0.29 ppm; sin embargo, cuando el cloro se combina con sustancias fenólicas y con otros compuestos orgánicos, el sabor desagradable y los olores pueden exacerbarse considerablemente. El cloro ayuda a controlar que la bacteria vuelva a crecer, proporcionando un nivel residual de desinfectante en el sistema de distribución. En muchas áreas, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, estos sistemas de largas tuberías no han sido reemplazados o vueltos a revestir, lo cual hace que frecuentemente tengan óxido, escamas, presenten formación de biopelículas, fugas y grietas, lo cual puede llevar a eventos de recontaminación que comprometen la calidad del agua. Esta es la razón por la que es importante contar con cierto nivel de desinfectante residual.

La cloración es una alternativa para la desinfección del agua ampliamente difundida en los países en desarrollo, dado que constituye la tecnología mas conocida por su eficacia, costo de aplicación y por estar histórica y epidemiológicamente comprobada.

Por estas razones, en sus guías de calidad de agua, la OMS recomienda que, para tener la garantía sanitaria de la calidad del agua para consumo y para asegurar su efecto ante cualquier contaminación posterior, debe existir un promedio de 0.3 mg/L de cloro residual activo y una turbidez menor de 1 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbiedad).

## CLORO RESIDUAL: EFECTOS TÓXICOS

Se presume que la toxicidad de las soluciones que contienen cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito es similar, ya que estos compuestos están en equilibrio dinámico y debido a que las comparaciones de toxicidad pueden efectuarse en base a la medición de la concentración de cloro disponible.

El grupo de individuos de alto riesgo está constituido por los asmáticos o por aquellos que presentan reacciones alérgicas después de su exposición al cloro.

Los estudios de Watson y Kibler en 1933, Sheldon y Lovell en 1949, y Cohen en 1933 describen cuadros de precipitación de asma como resultado del consumo de agua clorada.

Muegge, en 1956, sintetiza los resultados de informes sobre los efectos negativos en la salud, de aguas altamente cloradas que han sido consumidas por periodos que comprenden desde algunos días a varias semanas, y que causaron algunos casos clínicos de toxicidad relacionados con el cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito en el agua de bebida. Sin embargo, el autor presenta los datos en forma anecdótica y sin precisar lo concerniente a las pruebas efectuadas.

Por otro lado, Muegge informa sobre el caso de 150 personas de una base militar que consumieron agua con 50 ppm de cloro (cerca de 1.4 mg Cl/kg/día) durante un período de varios meses de desinfección, sin que se hubieran reportado efectos adversos.

Se notificó que el personal militar que tomó agua durante varios meses, con niveles de cloro entre 5 y 32 ppm (cerca de 0.14 a 0.91 mg Cl/kg/día), no tuvo problemas. Sin embargo, los que consumieron agua con concentraciones mayores a 90 ppm de cloro, experimentaron una sensación de estrangulamiento e irritación en la boca y garganta.

Generalmente, la mayoría de la población rechaza el consumo de agua con niveles de cloro de 25 ppm (cerca de 0.7 mg/kg/día), por causa del sabor y olor provenientes de blanqueadores a base de cloro.

La ingestión de cloro más común ocurre por niños que beben blanqueadores (lejía) por accidente. Estas soluciones generalmente tienen concentraciones de hipoclorito de sodio de 3 a 6% en agua con pH alrededor de 11. Las cantidades que accidentalmente ingieren los niños son de 4 a 5 mL, y causan irritaciones en la laringe y esófago y, en raras ocasiones, daños al esófago con perforación o formación de obstrucciones. No se precisa si la lesión es causada por el hipoclorito de sodio o debido a la naturaleza extremadamente cáustica del blanqueador. Lubbers investigó los efectos de la administración continua de agua clorada en un grupo de voluntarios de sexo masculino, entre 21 y 35 años de edad. En la fase I del estudio se les aumentó progresivamente la dosis de cloro en el agua. Cada tres días, durante un periodo de 18 días, las concentraciones aumentaron

de 0, 0.1, 1.0, 5.0, 10.0, 18.0 a 24.0 mg/L (0, 0.001, 0.014, 0.071, 0.14, 0.26 y 0.34 mg/kg, respectivamente). Durante la fase II, 10 personas ingirieron cloro a una concentración diaria de 5 mg/L en un volumen de 500 mL, durante 12 semanas consecutivas.

Los exámenes médicos para la fase I se realizaron durante el segundo y tercer días, tras la finalización del tratamiento. Para la fase II, los exámenes se realizaron semanalmente y después de 8 semanas de iniciado el tratamiento. Los resultados indicaron ausencia de efectos tóxicos adversos en todos los grupos de estudio. Sin embargo, se pudo apreciar desviaciones estadísticamente significativas de los niveles de creatinina, calcio, gamma glutamiltransferasa y recuento de linfocitos, al compararse los niveles antes y después del tratamiento. Finalmente, la investigación concluyó que ninguna de las análisis estadísticos mostraba consecuencias fisiológicas.

## SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA CLORACIÓN DE LAS AGUAS

Al ser una sustancia tan activa, un exceso de cloro puede reaccionar con distintos compuestos orgánicos, por lo que aumenta el riesgo de que se produzcan *trihalometanos* (THMs), que son compuestos carcinógenos para el ser humano.

Los THMs se encuentran en el agua potable como resultado de la interacción del cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua. Estos estarán presentes mientras el agua contenga cloro o hipoclorito, además de los precursores orgánicos. Es por esto que hay que mantener la cantidad de cloro residual dentro de unos límites.

Aparentemente, la existencia de riesgo en el consumo de agua clorada radica en la toxicidad indirecta de sus subproductos. Durante la cloración, se produce una serie de subproductos debido a la reacción del cloro con la materia orgánica presente (demanda de cloro). Los ácidos húmicos y fúlvicos, que se encuentran en el agua de algunos lugares, son producto de la degradación de materia vegetal, la cual en la mayoría de los casos, le confiere color al agua. Otros compuestos proceden de la degradación de material animal. Los derivados de la degradación vegetal y animal son compuestos activos que, al reaccionar con el cloro, dan como resultado compuestos orgánicos clorados, entre ellos los THMs. Asimismo, al ser cloradas algunas aguas con cargas orgánicas elevadas -por ejemplo, las aguas contaminadas con efluentes municipales- forman subproductos como: cloro fenoles, ácido cloro acético, ácido dicloro acético, ácido tricloro acético, tricloro acetaldehído monohidratado, 1-1-dicloropropanona, dicloroacetanitrilo, dibromoacetanitrilo, tricloroacetanitrilo, cloruro de cianógeno, cloropicrin y bromato.

Los THMs más predominantes son el clorofomo y el bromodichloroetano; con frecuencia también se

encuentran el dibromoclorometano y el bromoformo. La concentración de THMs depende de la presencia de precursores (compuestos activos que pueden reaccionar con el cloro), así como de la dosis de cloro, tiempo de contacto, temperatura del agua y pH. En estudios efectuados en animales, se ha descubierto que el cloroformo en altas dosis es cancerígeno y que los otros THMs son mutagénicos.

Con respecto a los clorofenoles, no se conoce si su consumo en el agua de bebida tiene efectos adversos en la salud humana. Sin embargo, en pruebas de laboratorio con ratas y conejos, se ha concluido que producen un daño significativo en los riñones, y cambios histológicos.

**Tabla 3. Compuestos formados durante la cloración.**

Benzaldehido	Cloropicrin
Benzilcianida	Dibromoacetanitrilo
Bromoetano	Dibromoiodometano
Bromobutano	Dibromometano
Bromocloroacetanitrilo	Acido dicloro acético
Bromocloroiodometano	Dicloroacetanitrilo
Bromoclorometano	Diclorodibromometano
Bromocloropropano	1,2 - dicloroetano
Bromodiclorometano	Dicloroiodometano
Bromoformo	Diclorofenol
Bromopentacloroetano	Dicloropropano
Bromo propano	Hexacloroetano
Bromotricloroetileno	Hexacloropentadieno
Tetracloruro de carbono	p-hidroxibenzilcianida
Cloral	Iodoetano
Clorobutano	Metilbromodicloroacetato
Clorodibromometano	1,1,1 - tricloro acetanitrilo
Clorodimetano	Tricloro fenol

En relación a los halocompuestos mencionados anteriormente, los efectos en la salud son diferentes para cada producto. Para los ácidos acéticos clorados, no se han realizado estudios a corto o largo plazo; tampoco se conocen casos de intoxicación por consumo de agua. En lo que respecta al bromato, se ha reportado daño renal y disturbios gastrointestinales, así como efectos en la audición. El cloropicrin causa problemas pulmonares, en caso de exposiciones ocupacionales o accidentales por más de 1 minuto, a una concentración de 2 mg/m<sup>3</sup>. En cuanto a los haloacetanitrilos y al cloruro de cianógeno, no se han determinado efectos sobre los humanos.

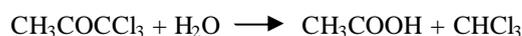
En la tabla 3 se muestran algunos compuestos que pueden formarse durante la cloración. Los trihalometanos (CHX<sub>3</sub>) han sido de los primeros

compuestos descubiertos que se forman a consecuencia de la cloración de las aguas. Estas sustancias se forman durante la desinfección con cloro y desinfectantes clorados. Los THMs son triclorometano (cloroformo, CHCl<sub>3</sub>), bromodiclorometano (CHBrCl<sub>2</sub>), clorodibromometano (CHBr<sub>2</sub>Cl), y tribromometano (CHBr<sub>3</sub>).

A pesar de que estas sustancias consisten tanto en metanos clorados como bromados, las reacciones que se exponen a continuación tienen lugar entre el cloro y el metano. Estas sustancias se forman durante las reacciones entre el cloro y materia orgánica en el agua.

La concentración de THMs en las aguas superficiales durante el verano supera la concentración en invierno debido al aumento en la temperatura y la cantidad de materia orgánica presente. Las concentraciones de THMs en el agua superficial normalmente es mayor que la que se encuentra en las aguas subterráneas debido a la variación de materia orgánica presente en el agua. En presencia de bromo, hay una mayor tendencia a la generación de tribromometanos.

En ensayos de laboratorio se determina que los THMs se forman por reacciones entre acetona y cloro. La acetona se oxida a tricloroacetona. Cuando los valores de pH son altos se puede generar cloroformo por la hidrólisis de la acetona.



Cuando hay bromo presente se genera acetona brominada y genera THMs brominados. Los THMs se generan durante las reacciones de hidrólisis de varios subproductos de la desinfección trihalogénicos y productos de transición, como trihalonitrilos, trihaloacetilaldehídos y ácidos acéticos trihalobrominados.

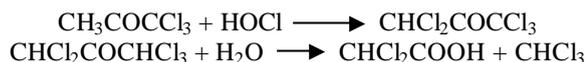
Los THMs causan daños al hígado, riñones y sistema nervioso central. Son considerados cancerígenos. En los EEUU los estándares se han reducido a 80 µg/L, y la OMS considera los siguientes valores guía para los distintos tipos de THMs: Bromodiclorometano (BDCM), 60 µg/L; bromoformo, 100 µg/L; cloroformo, 200 µg/L.

Los *ácidos haloacéticos* (HAA) son subproductos de la cloración importantes. Consisten en tres átomos de hidrogeno fijados a un grupo COOH. Átomos de hidrógeno de los ácidos haloacéticos son reemplazados parcialmente por átomos de halógenos. Los HAA son compuestos no-volátiles que pueden encontrarse ocasionalmente en el agua en mayores concentraciones que los THMs en función del pH del agua. Cuando el pH es bajo, existe mayor formación de HAA que a mayores pH a los que se forma más THMs.

La composición de materia orgánica presente de manera natural también determina la concentración de HAA y THM. Al igual que los THM, las

concentraciones de HAA en aguas superficiales en verano son mayores que en invierno, y la concentración de HAA en las aguas superficiales supera a aquella que está presente en las aguas subterráneas.

Los HAA se pueden formar durante las reacciones entre acetona y cloro. Cuando los valores de pH son bajos, la tricloroacetona es oxidada en tetra-, penta-, y hexacloroacetona. Cuando estos compuestos se hidrolizan se forman mono-, di-, y tricloroácidos acéticos.

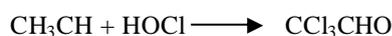


Los HAA aumentan el riesgo de cáncer por lo que la EPA en EEUU ha establecido como estándar 80 µg/L, mientras que la OMS no ha establecido nivel guía para los ácidos haloacéticos.

*Haloacetoneitrilos* (HAN), *haloaldehídos* y *haloacetonas* son subproductos de la desinfección que están presentes en menores cantidades que los THMs y HAA. Estos compuestos normalmente se forman inmediatamente durante la desinfección del agua, pero se descomponen rápidamente mediante reacciones de hidrólisis o reacciones con desinfectantes residuales. Los compuestos pueden ser también productos de las reacciones de otros subproductos desinfectantes como los THMs y HAA y no hay diferencia entre las concentraciones de verano e invierno.

Los haloacetoneitrilos se forman durante la reacción entre el cloro y acetoneitrilo. Cuando el tiempo de reacción del desinfectante en el agua es bajo, estos subproductos de la desinfección se descomponen.

Tricloroacetaldehído y compuestos aldehídos brominados son el segundo grupo de subproductos de la desinfección imaginables. Mono y dicloro acetaldehídos se pueden formar durante la desinfección, pero se oxidan inmediatamente a forma tricloroacetaldehído. El acetaldehído es un subproducto de la desinfección por ozono.



En 1986 un nuevo subproducto de la desinfección fue descubierto: 3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxi-2(5H) furano, de otra manera llamado *MX*. Sobre 30 % del total de actividad mutagénica en el agua puede ser acreditado a estos subproductos de la desinfección. *MX* es un compuesto presente en agua, y debido a su actividad y riesgo para la salud, la OMS lo ha incluido en la lista de sustancias potencialmente peligrosas para la salud humana. No existen guías para *MX* disuelto, debido a la falta de información toxicológica de esta sustancia. En la tercera edición de la Guía para la calidad del agua potable de la OMS (2004) se establece una concentración máxima de *MX* de 1,8 µg/L como recomendable.

Otros subproductos de la desinfección formados normalmente durante la cloración del agua son los *halonitrometanos*, *halofenoles* y *halofuranos*.

La presencia de compuestos halogenados (especialmente cloroformo y otros THMs) en el agua de consumo público suscita un interés creciente desde la perspectiva de la salud pública. La desinfección del agua mediante cloración es una práctica habitual. Ahora bien, en presencia de materia orgánica se producen THMs clorados, y en los últimos años se ha producido una acumulación de datos que evidencian que la exposición a THMs se asocia con un mayor riesgo de cáncer, sobre todo de vejiga, y a trastornos de la reproducción. De los cuatro THMs (cloroformo, bromodiclorometano, bromoformo y dibromoclorometano), la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha clasificado a los dos primeros como cancerígenos potenciales, considerando la información sobre el bromoformo y el dibromoclorometano insuficiente para evaluar su carcinogenicidad. Una Directiva europea (Directiva 98/93/CE del 3 de noviembre de 1998) regula los valores máximos aceptables de THMs totales.

## EFFECTOS TÓXICOS DE LOS TRIHALOMETANOS

A pesar de que el cloro presenta muchos beneficios para la salud pública y el tratamiento del agua, estudios recientes indican que también puede existir una relación causal entre la desinfección del agua con cloro y efectos negativos a largo plazo, como el cáncer.

Desde 1974 se han conducido en Estados Unidos una serie de estudios descriptivo-geográficos y epidemiológico-analíticos (casos-controles), con el fin de evaluar la relación entre cáncer y la calidad del agua potable. Ambos tipos de estudios difieren en su diseño, metodología y, por lo tanto, no son comparables los resultados y posibles asociaciones de casos de cáncer con consumo de agua clorada.

Los primeros estudios realizados fueron los de carácter geográfico-descriptivo; eventualmente se estableció la necesidad de desarrollar estudios epidemiológico-analíticos que proveyeran de estimaciones sobre la magnitud del riesgo, considerando las exposiciones individuales y posibles factores de confusión. Los resultados de ambos tipos de estudios han demostrado un incremento de poca significación en el riesgo de contraer cáncer de vejiga y colon. A pesar de que en cada generación de investigaciones se alcanza mayor calidad en sus diseños y análisis, aun no se puede inferir con plena certeza la existencia de una relación causal cáncer-agua clorada, debido a que todavía existen diversas deficiencias en el diseño y en la metodología de la investigación, cuyos resultados podrían disminuir o elevar la magnitud real del riesgo de contraer cáncer.

Respecto a los resultados de los estudios descriptivo-geográficos, Wigle y cols. reportaron una

posible correlación entre contaminantes específicos en el agua potable y riesgos de contraer cáncer. El estudio se realizó en diferentes ciudades de Canadá con 10,000 habitantes como mínimo. Los datos de la calidad del agua fueron extraídos de tres encuestas nacionales sobre abastecimiento urbano de agua, así como de un informe de fluoración y mortalidad de cáncer en ese país. Los datos de mortalidad por cáncer (1973 a 1979) se obtuvieron de la Base de Datos de Mortalidad Nacional. Las variables consideradas en el análisis incluían: fuente de agua, concentración de asbestos, carbón orgánico total, THMs con y sin cloroformo, concentración de cloro, dureza del agua, tiempo de residencia de la población (10 años como mínimo) y nivel educativo de la misma. Se desarrollaron análisis de regresión lineal múltiple, encontrándose frecuentemente una relación entre los niveles educativos bajos y la mortalidad. No se detectó una asociación significativa entre las dosis de cloro y muerte por diferentes tipos de cáncer.

En estudios de caso-control, Cragle y cols. investigaron la relación entre cloración del agua y cáncer de colon, empleando 200 casos de siete hospitales en Carolina del Norte, así como 407 casos de control sin evidencia de cáncer o historia familiar de pólipos, colitis ulcerosa, pólipos adenomatosos o cualquier otro desorden crónico intestinal mayor. Para ambos casos y controles se requería que los sujetos en estudio residieran en el Estado, por lo menos durante los últimos diez años. Los datos de los sujetos de comparación fueron cruzados por edad, raza y género. Además, a través de encuestas por correo y entrevistas telefónicas, se obtuvo información adicional sobre consumo de alcohol, riesgos genéticos (otros casos de cáncer en la familia), dieta, región, población de residencia, educación y embarazo. Estas características fueron evaluadas y controladas durante todo el periodo de análisis. El tipo de servicio de suministro de agua fue verificado y categorizado para el análisis como clorado o no clorado. El análisis de regresión logística mostró que el riesgo de cáncer al colon estaba asociado con los antecedentes genéticos, consumo de alcohol y dieta de alta grasa. Además, se encontró cierta asociación entre agua clorada y cáncer dependiente de la edad y tiempo de exposición. En estos estudios no se han considerado las características físico-químicas del agua antes de ser clorada.

Cantor y cols. informaron en 1987 sobre la incidencia de cáncer de vejiga en una población, durante un estudio de casos-controles aplicado a 4,657 personas, entre hombres y mujeres de raza blanca, de 21 a 84 años de edad, que consumían agua clorada y no-clorada. En el primer año de estudio se analizaron los datos de 1,630 personas con diagnóstico de cáncer de vejiga y de las 3,027 personas restantes sin problemas de cáncer. Los investigadores informaron de una asociación entre el riesgo de cáncer de vejiga y el consumo de agua clorada. No se reportó presencia alguna de cáncer de

vejiga en personas que consumían agua subterránea no-clorada. Finalmente, la incidencia del cáncer a la vejiga fue asociada con el agua superficial clorada, pero no con los niveles de cloro residual o con los subproductos de oxidación.

En resumen, los estudios de casos-controles indican la existencia del riesgo de cáncer de vejiga y, en menor grado, de colon, asociado al consumo de agua clorada. Este riesgo es mayor en personas con antecedentes genéticos y mayores de 60 años de edad.

Respecto a los ensayos de laboratorio con animales, el Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos reporta datos de pruebas realizadas utilizando una dosis única de cloroformo concluyendo que con 1 dg/L, el riesgo de contraer cáncer es de aproximadamente 1 en 10 millones, con un nivel de confianza de 95%, dato obtenido por extrapolación de pruebas realizadas en animales de experimentación. Según el límite regulado por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos para 100 dg/L de THMs, el riesgo se incrementa a 1 cada 100,000.

Desde el punto de vista toxicológico, es muy difícil extrapolar resultados obtenidos de estudios de cáncer en animales de experimentación y extenderlos a los seres humanos. Asimismo, estos estudios se han hecho con un limitado número de animales y de compuestos, además de haberse realizado para un corto plazo.

El agua clorada expone al público consumidor a un riesgo potencial que no está claramente definido; los estudios de casos-controles han demostrado un ligero incremento en la probabilidad de contraer cáncer de vejiga, en poblaciones que consumen agua clorada durante varios años.

## DATOS DE TRIHALOMETANOS EN ESPAÑA

En España se ha documentado la presencia de concentraciones relativamente elevadas de THMs en el agua del grifo de diversas ciudades de la vertiente mediterránea. Un estudio reciente destaca Sabadell, Alicante, Barcelona y Manresa por las concentraciones alcanzadas, que estimó un nivel medio de 61 µg/ml en el área metropolitana de Barcelona. El origen de estas concentraciones se puede relacionar con una elevada carga de contaminantes orgánicos en el agua captada.

El suministro de agua en la ciudad de Barcelona es complejo, al proceder tanto del río Ter como del Llobregat, con características fisicoquímicas muy diferentes. Los diversos barrios de la ciudad no reciben la misma agua, sino que el suministro depende de la zona. Por ello se planteó la necesidad de realizar un estudio para cuantificar las concentraciones de los diversos THMs en el agua de suministro, distinguiendo según su origen, cuyos resultados principales se presentan en este trabajo.

La Directiva Europea de 1998 plantea que a los cinco años de su entrada en vigor el valor máximo

admisible de THMs sea de 150 µg/L, y de 100 µg/L a los 10 años. Los resultados del presente análisis confirman la presencia de THMs en concentraciones relativamente elevadas en el agua de consumo público domiciliario de la ciudad de Barcelona que procede del río Llobregat. Por contra, sus valores son relativamente bajos en la procedente del Ter. Los valores detectados son compatibles inicialmente con la directiva europea, pero en las aguas procedentes del Llobregat son superiores a los que esta directiva considera aceptables una vez transcurridos 10 años de su entrada en vigor. Hay que tener en cuenta que durante el período en que se recogieron las muestras los valores de THMs podrían ser algo superiores a la concentración media anual, ya que en verano pueden ser mayores. En los EEUU, en 1998, tan sólo ocho sistemas de aguas (que servían a una población total inferior a 100,000 habitantes) sobrepasaban los valores de referencia de THMs fijados por la Environmental Protection Agency.

El predominio de THMs bromados en las aguas procedentes del Llobregat sugiere que en buena parte los compuestos halogenados están ya presentes en las aguas superficiales antes de su captación para el consumo. En la cuenca del río Llobregat se encuentra una zona rica en minas de potasa, que aflora a la superficie en esta zona. Esto comporta la presencia de abundantes sales de potasio en las aguas procedentes del Llobregat, lo que condiciona su alta conductividad.

Históricamente una parte fija de la población de Barcelona era servida por aguas del Llobregat y otra por aguas del Ter, y la frontera entre ambos sistemas era la calle de Balmes. Hace unos años se enlazaron los sistemas procedentes de ambos orígenes, lo que permitió la mezcla de aguas; por tanto, ahora varía según los días el agua predominante en una amplia superficie de la ciudad. Al realizarse este estudio, las muestras de los distritos de Ciutat Vella y Sants-Montjuïc correspondían mayoritariamente a aguas del Llobregat, el grueso de las de los distritos del Eixample, Les Corts, Sarrià y Sant Martí a mezcla, y las del resto de la ciudad a aguas del Ter. En términos de población unos 400.000 habitantes recibirían básicamente aguas del Llobregat, con contenidos relativamente elevados de THMs.

La relevancia sanitaria de estos resultados estriba en que se documenta la presencia de THMs en el agua de consumo público en concentraciones significativas. Ésta se utiliza para cocinar y beber por buena parte de la población, y para usos como la ducha y el baño. Las características organolépticas de esta agua la hacen poco aceptable para muchos residentes, y estudios recientes difundidos por los medios de comunicación (que no han diferenciado según el origen del agua) evidencian que la mitad de los ciudadanos no la utiliza para beber. Desde una perspectiva de salud pública, se hace preciso profundizar en las alternativas que garanticen un agua

de suministro público cuyo consumo esté libre de riesgos.

La cloración ha permitido controlar graves riesgos a corto plazo para la salud de la población, especialmente en la zona mediterránea donde el agua es un bien escaso y las aguas superficiales sufrían una fuerte contaminación por residuos orgánicos. Ahora se plantea la necesidad de abordar los problemas a largo plazo derivados de esta situación. Diversas acciones estratégicas ya han permitido progresar, reduciendo la presencia de contaminación orgánica y de compuestos halogenados. Estos datos demuestran la necesidad de seguir en esta dirección.

### Cáncer de vejiga

La cloración del agua potable genera THMs y otros subproductos con propiedades mutagénicas y cancerígenas en experimentos con animales. Los THMs se han asociado en estudios epidemiológicos con un incremento del riesgo de cáncer de vejiga urinaria. Se han evaluado los niveles de THMs en 4 áreas de España y se ha calculado el riesgo de cáncer de vejiga atribuible a dicha exposición. Para ello, se analizaron los niveles de THMs en 111 muestras de agua potable en 4 áreas de España utilizando cromatografía de gases. Se contactó con las potabilizadoras de agua y se analizó información sobre hábitos de consumo de agua en España. Se hizo una revisión de los estudios epidemiológicos que evalúan el riesgo de cáncer de vejiga asociado a la exposición a subproductos de la cloración. Se calculó el riesgo atribuible de cáncer de vejiga a partir de estos niveles, los datos de mortalidad por área y las estimaciones del riesgo extraídas de la bibliografía. Los resultados fueron que los niveles de THMs más altos se encuentran en la franja mediterránea, con niveles medios de 81, 80, 61 y 52 µg/l en Sabadell, Alicante, Barcelona y Manresa, respectivamente. Los valores más bajos se encuentran en Tenerife y Asturias, con 7 y 20 µg/l, respectivamente. En las áreas con niveles altos de THMs el riesgo de cáncer de vejiga atribuible a los subproductos de cloración puede ser, en promedio, de un 20%. Los niveles de THMs identificados son altos en comparación con otros países de la Unión Europea. En las áreas de exposición alta la cloración del agua puede dar lugar a un número considerable de casos de cáncer de vejiga. Estas estimaciones se tienen que interpretar con cautela y verificarse con estudios más extensos.

La calidad de las aguas en origen es el principal determinante de la cantidad de subproductos de la cloración generados y explica las diferencias observadas entre las áreas de España estudiadas. Las aguas subterráneas (pozos y minas), con menor cantidad de precursores orgánicos y menor cloro requerido respecto a las superficiales, darán niveles bajos de subproductos de la cloración. Esto se refleja en los niveles de THMs en las diferentes áreas de España. En Tenerife, donde el agua potable es de origen

subterráneo, se encuentran los niveles más bajos. El resto de áreas utilizan agua básicamente superficial, pero se observa una diferencia significativa entre los niveles de Asturias y los de la franja mediterránea (Sabadell, Alicante, Barcelona y Manresa), donde la formación de THMs es mayor debido a la peor calidad de las aguas superficiales.

El cálculo del riesgo atribuible para el cáncer de vejiga está basado en determinadas asunciones y por eso se tiene que considerar con cautela. En primer lugar, la OR aplicada está basada en estudios realizados en América del Norte. Aunque lo ideal sería aplicar una OR correspondiente a la población española, en muchas ocasiones se ha observado que la OR de un nivel de exposición a un factor de riesgo es una medida del riesgo sólida y repetible en distintas poblaciones genéticamente similares. Se tomaron los estudios de Cantor y cols. y King y cols. por ser los únicos que disponían de OR asociadas a la exposición durante toda la vida a distintos niveles medios de THMs. La OR del estudio de Cantor et al corresponde a la población masculina, mientras en la población femenina no se encuentra un aumento del riesgo. Hay que tener en cuenta que en su conjunto los 10 estudios que evalúan cáncer de vejiga asociado a la exposición a subproductos de la cloración encuentran estimaciones de riesgo consistentemente positivas. Sin embargo, los riesgos para estratos específicos de las poblaciones evaluadas (fumadores/no fumadores, varones/mujeres) no son siempre consistentes. En parte esto se puede atribuir al azar, particularmente dado que el cáncer de vejiga es infrecuente en mujeres y el número de casos femeninos es a menudo muy bajo.

En segundo lugar, el cáncer es una enfermedad con un largo período de latencia, por lo que la exposición realmente asociada al efecto no es la actual sino la exposición durante varias décadas antes de la manifestación clínica. En el análisis asumimos que la exposición histórica a los subproductos de la cloración es la misma que la actual, con relación a los niveles de THMs y la prevalencia de consumo de agua del grifo (61,6%). Los registros históricos disponibles de niveles de THMs en agua potable en el área de Barcelona, donde se dispone de esta información desde hace más tiempo, muestran una ligera tendencia al incremento de los niveles a lo largo de las últimas décadas. Esto sugiere que la población habría estado menos expuesta en el pasado que en la actualidad. Por otro lado, el consumo de agua embotellada ha aumentado en los últimos años de 23 litros per cápita anuales en 1987 a 50 litros per cápita al año en 1997 (Encuesta de Consumo, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). Por tanto, la prevalencia de la exposición actual (proporción de personas que beben agua del grifo) es menor que en el pasado. El efecto de estas dos tendencias se complementa en parte.

Asumiendo una exposición intermedia en el ámbito español, el riesgo atribuible sería superior al

20% y el de muertes anuales en España por cáncer de vejiga atribuible a esta exposición ambiental se situaría alrededor de 600 fallecimientos aproximadamente. Este riesgo atribuible estaría entre los más elevados de los descritos en la literatura científica. Un grupo neozelandés estima en un 25% los cánceres de vejiga que se pueden atribuir a esta exposición ambiental. Estimaciones correspondientes a la población de Ontario (Canadá) atribuyen a esta exposición un 14-16% de los casos de cáncer de vejiga, mientras que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) calcula que un 2-17% de los cánceres de vejiga en Estados Unidos se podrían atribuir a la exposición a subproductos de la cloración.

Existen grandes diferencias en la prevalencia del cáncer de vejiga en España. El patrón geográfico no necesariamente corresponde con los niveles de exposición a THMs ya que, por ejemplo, el tabaco es un factor de riesgo claramente más importante que puede enmascarar en comparaciones ecológicas los efectos de la exposición a subproductos de la cloración.

La cloración del agua y el tratamiento del agua potable más habitual en España pueden representar un riesgo sobre la salud de las personas, incluso estando por debajo de las exigencias de la nueva directiva europea. España es el segundo país de la Unión Europea después de Portugal con los niveles más elevados de THMs. Frecuentemente se considera que los procesos utilizados actualmente para la desinfección del agua potable son necesarios para evitar el riesgo de infecciones hídricas. Como consecuencia se considera que el menor de los riesgos se tiene que aceptar frente a un riesgo mayor, el de las infecciones.

En este sentido hay que indicar que la prevención química y bacteriológica de las aguas no son antagonicas, especialmente para un país del nivel socioeconómico como España. El riesgo sobre la salud humana de la cloración del agua es evitable, ya que hay métodos de desinfección y líneas de potabilización alternativas al cloro y a los procedimientos actuales, con igual capacidad desinfectante y menor formación de compuestos clorados y bromados.

#### **Asociación de los THMs con cáncer colorrectal y efectos reproductivos**

La estimación del riesgo atribuible se ha centrado en el efecto por el cual hay datos cuantitativos válidos, a pesar de que el cáncer colorrectal y defectos en neonatos de madres expuestas han sido también asociados a esta exposición. Un análisis reciente de Nueva Zelanda sobre el riesgo de cáncer colorrectal y efectos reproductivos concluyó que alrededor del 25% de estos efectos podían ser atribuibles a la exposición a los subproductos de la cloración. Resulta imperativo llevar a cabo estudios extensos sobre estos efectos aplicando métodos de evaluación de la exposición detallados.

## CONTROL DE NIVELES DE THMs

Los THMs constituyen un problema recurrente en los procesos de potabilización convencionales. Según datos del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el amonio presente en las aguas residuales evita que el cloro reaccione con la materia orgánica, impidiendo la formación de estas sustancias. Este amonio se encuentra en las aguas residuales en concentraciones variables, pero es muy escaso en las aguas de bebida.

En realidad, los niveles de THMs detectados en las aguas residuales desinfectadas son inferiores a 20 microgramos por litro, por debajo de los límites establecidos por la legislación europea actual (150 microgramos por litro); e incluso son inferiores a los niveles marcados por la futura legislación, que a partir de 2009 establecerá un límite máximo de 100 µg/L de THMs para el agua potable de consumo público.

Estos datos son muy significativos, puesto que mientras se van a poder formar estas sustancias en el agua de bebida, donde son más peligrosas, será menos frecuente en el tratamiento de las aguas residuales que se van a verter al medio ambiente.

Los tratamientos propuestos para la desinfección del agua han sido varios, como la cloración y la ozonización, que son los más utilizados. La cloración es la que se usa en la mayoría de los países debido sobre todo al bajo coste del hipoclorito y a su enorme eficacia, ya que asegura una adecuada desinfección del agua de consumo. En particular, el país que emplea el hipoclorito de forma más generalizada y a elevada concentración es EEUU. En Europa, todos los países mediterráneos y el Reino Unido emplean el hipoclorito de forma generalizada, mientras que los países nórdicos y Alemania rechazan el aroma y sabor a potabilizante que le confiere el cloro. Por tanto, en estos países no se recomienda el consumo de agua del grifo.

Hoy por hoy, el hipoclorito, junto con otras sustancias cloradas, siguen siendo los desinfectantes más utilizados y, aunque existan otras alternativas, su sustitución por otro agente puede que no sea aplicable en todos los casos por motivos técnicos. Desde hace tiempo, se ha señalado el riesgo de acumulación de THMs en el agua por la combinación entre materia orgánica del agua y derivados halogenados (cloro o flúor, entre otros). Se trata de un proceso habitual asociado a la desinfección previa al consumo, necesaria para prevenir la aparición de infecciones de origen hídrico. Una de las soluciones es la de sustituir el potabilizante.

Uno de estos sustitutos es el ozono, aunque su uso requiere modificar las instalaciones actuales. Una opción que permite continuar trabajando con las plantas actuales es el empleo de filtros de carbón activo, con propiedades fijadoras y capacidad de retener los THMs y otras sustancias, eliminándolas

del entorno. El producto final cumple con los estándares de calidad y seguridad de forma sencilla.

La reutilización de aguas residuales es uno de los métodos que permite garantizar un abastecimiento sostenible de agua para usos no potables, como el riego agrícola y de campos de golf o la recarga de acuíferos. Para eliminar los microorganismos patógenos y minimizar el riesgo inherente a las aguas residuales es imprescindible someter el agua a un proceso de desinfección adecuado. La cloración y la exposición a la luz ultravioleta son dos de los métodos de desinfección más utilizados. Los datos actuales aconsejan utilizar el hipoclorito para minimizar el riesgo que puede comportar la reutilización planificada de un agua residual, pero necesita que en el agua exista también amonio para limitar la formación de THMs. En caso contrario, también sería necesario incorporar filtros de carbón activo.

Se ha realizado un estudio en dos plantas de tratamiento de agua en Missouri para evaluar desinfectantes alternativos -ozono, peróxido de hidrógeno, cloraminas y permanganato de potasio- para el control de THMs y determinar el impacto de su uso en pequeños sistemas de agua. También fueron evaluados los procesos de limpieza con aire y carbón activado. Combinaciones de desinfectantes alternativos redujeron la concentración de THMs aproximadamente a 160 µg/L usando cloro a 80 mg/L (cloro-monocloramina) ó <5 mg/L (ozono-monocloramina). Estima los costos de incorporar las modificaciones a los procesos en pequeños sistemas de agua. Se concluye que el empleo de cloraminas a cambio de cloro como un desinfectante final es relativamente poco costoso para la reducción de THMs, pero advierte que deben realizarse pruebas a escala completa antes de efectuar algún cambio en el tratamiento.

Con el fin de asegurar que las agencias miembros puedan cumplir con la reglamentación de 0.1 mg/L de THMs, la autoridad de abastecimiento de agua del sur de California cambió su principal desinfectante a cloraminas. Posteriormente, se determinaron problemas de olor y sabor como consecuencia indirecta del empleo de cloraminas, resultado de su menor capacidad para oxidar los microorganismos que producen compuestos olorosos. También se analiza la presencia y posible fuente de varios compuestos olorosos, así como diversos esquemas de tratamiento para removerlos del agua potable, y se examinan los efectos de estas técnicas de tratamiento de los niveles de THMs en los sistemas de distribución de agua.

La utilización de filtros de carbón orgánico en vez de filtros de carbón activado tiene por finalidad remover los precursores de THMs, tales como los ácidos fúlvicos, como alternativa de medio filtrante adsorbente de remoción de precursores de THMs, y conocer la eficiencia de remoción de precursores de THMs por medio de filtros de carbón orgánico con

respecto a los filtros de carbón activado, en la búsqueda de una alternativa de tratamiento para remover a estos compuestos.

También se ha demostrado que la concentración de THMs en el agua potable es significativamente menor si el tratamiento se efectúa a 2 °C en lugar de 22 °C. Aparentemente la temperatura del agua no afecta la eliminación de carbón orgánico total durante la coagulación con sales de iones metálicos, pero a bajas temperaturas, la eliminación del color se redujo levemente. La eficiencia de la coagulación para eliminar el carbón orgánico total, el color y la formación potencial de THMs mejoró con pH del agua a 5 en vez de 7, independientemente de la temperatura. Se encontró que la eliminación de sustancias orgánicas de bajo peso molecular resulta más difícil a 2 grados centígrados que a 22 grados centígrados. Los resultados obtenidos sugieren que las concentraciones menores de THMs que se encuentran en invierno están en función estricta de la tasa reducida de formación de THMs.

El ozono está siendo empleado frecuentemente para el control de los THMs y otros subproductos de la desinfección. El tratamiento que emplea ozonización seguida por cloración es el más efectivo para reducir THMs y otros subproductos halogenados, aunque se encuentran incrementos en algunos compuestos como el cloropicrin y aldehídos.

El tratamiento más empleado para la eliminación de compuestos organoclorados es la adsorción en fase líquida sobre carbón activado. La regeneración del carbón activado es muy importante para hacer que este proceso sea económicamente atractivo. La adsorción no es un método de destrucción de contaminantes, sino un proceso de concentración.

De forma general se puede definir la adsorción como un fenómeno superficial que implica a un adsorbato y un adsorbente debido a la aparición de fuerzas de interacción entre ambos. En el proceso de descontaminación de aguas con carbón activo el mecanismo de adsorción implicado es de tipo físico fundamentalmente, lo cual permite la desorción del contaminante una vez que se ha agotado la capacidad del adsorbente gracias al carácter reversible de este tipo de adsorción.

Un parámetro de especial importancia en el diseño de sistemas de eliminación de contaminantes mediante adsorción es la capacidad del adsorbente, la cual depende de muchos factores. En primer lugar se encuentran las propiedades del adsorbato tales como su geometría, tamaño molecular, polaridad, hidrofobicidad, grupos funcionales que contiene y su solubilidad en agua. En segundo lugar se pueden citar las condiciones de la disolución tales como su pH, temperatura, concentración del contaminante, fuerza iónica y solutos competitivos. Por último, se pueden citar las características del carbón, que incluyen el área superficial, la distribución de tamaños de poro, la distribución de grupos funcionales en la superficie y el contenido en cenizas.

El fundamento teórico de la regeneración del carbón activado es el mismo que se ha visto anteriormente para la adsorción teniendo en cuenta que es el proceso inverso. Siendo la adsorción un proceso favorecido por la disminución de la temperatura y de la presión, se va a tratar de lograr la desorción de las sustancias adsorbidas con un aumento de la temperatura o bien una disminución de la presión. Algunos procesos logran también la reducción de los contaminantes mediante descomposición térmica, degradación por microorganismos, oxidación, etc.

Los métodos más utilizados para la regeneración del carbón activado saturado son tratamiento biológico, extracción con disolvente y regeneración térmica.

El tratamiento biológico no es posible cuando los contaminantes se encuentran en niveles tóxicos para el lodo activo o son no biodegradables. La extracción con disolvente no es económicamente viable a menos que el compuesto adsorbido tenga un alto valor añadido.

La regeneración térmica y la oxidación húmeda dan lugar a la regeneración del carbón y la destrucción de los contaminantes adsorbidos simultáneamente. En el primer método se produce la descomposición térmica de los contaminantes y el segundo comprende una regeneración térmica y una oxidación con aire que transcurre por un mecanismo de radicales libres.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En vista de que es ampliamente reconocido el efecto de la desinfección del agua con cloro en condiciones normales, su aplicación es aún más necesaria en situaciones de emergencia, a fin de evitar la propagación de enfermedades gastrointestinales.

El nivel de riesgos para la salud humana resultante de la cloración del agua es difícil de determinar. Los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados no son suficientes para poder distinguir entre el peligro de contraer cáncer por la cloración frente al alto riesgo por consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos.

Aún se continúa investigando la asociación entre cloración del agua y casos de cáncer en humanos. Los experimentos efectuados en animales de laboratorio presentan resultados de difícil extrapolación para evaluar el riesgo en humanos.

Es necesario perfeccionar las técnicas de medición de los precursores y subproductos del cloro de una manera práctica y confiable que permita la caracterización de las fuentes de agua que se utilizaran para el abastecimiento.

Hasta la fecha, el cloro es el desinfectante de agua más económico, práctico y efectivo. Otros desinfectantes como el ozono, el dióxido de cloro y la monocloramina, son utilizados en algunas comunidades; si bien estos pueden evitar la formación de algunos subproductos de la cloración, no son capaces

de mantener el efecto desinfectante posterior del cloro residual.

Los niveles de cloro que se están aplicando para la desinfección de agua durante la emergencia del cólera (0.5 a 0.8 mg/L de cloro residual activo) no representan riesgo para la salud. Se debe anotar que, en dosis mayores a 1.0 mg/L, el agua es rechazada por la mayoría de la población, por su asociación con productos blanqueadores a base de cloro.

Debe considerarse que no todas las aguas superficiales son aptas para su cloración directa sin tratamiento y para su uso posterior para consumo humano. Su selección depende de la demanda de cloro, pues las características del agua influyen en la formación de compuestos organoclorados que, en altas concentraciones, podrían tener efectos adversos en la salud.

El mayor problema que se presenta en la formación de subproductos son los precursores orgánicos. La solución consiste en mejorar los procesos de tratamiento del agua para eliminar compuestos orgánicos antes de que los subproductos se formen. Es recomendable eliminar los precursores orgánicos con procesos de tratamiento como la preoxidación, tratamiento biológico y filtración lenta en arena; luego, el carbón activado biológicamente, adsorción con carbón activado y coagulación, y filtración previa a la adición de cloro. De esta forma, se incrementa la eficacia del cloro libre y paralelamente se minimiza la toxicidad al limitar la formación de subproductos.

Se recomienda que las Autoridades Sanitarias y otras entidades responsables estudien las relaciones de calidad de agua/demanda de cloro frente a la formación de THMs y otros compuestos organoclorados. Mientras tanto, se considera que aguas con demandas de 2 a 2.5 mg/L no causaran efectos perjudiciales para la salud. También debe considerarse que las aguas a ser cloradas, no tengan más de 15 unidades de color y no más de 5 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

El uso de agua tratada, distribuida a poblaciones sin servicios de suministro, en carros o camiones-cisterna, con 0.5-0.8 mg/L de cloro residual, constituye una garantía para la salud de la población.

Finalmente, dentro de un análisis del manejo de riesgos para la salud, en países con enfermedades diarreicas y parasitarias endémicas, el riesgo potencial derivado de los subproductos del cloro (posible de reducir con tratamientos del agua) es

significativamente menor al que se expondría la población al suspenderse la práctica del uso de este desinfectante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Calderón J, Capell C, Centrich F, Artazcoz L, González-Cabré M, Villalbí JR. Subproductos halogenados de la cloración en el agua de consumo público. *Gac Sanit* 2001; 16: 241-243.
- Cantor KP, Hoover R, Hartge P, Mason TJ, Silverman DT. Bladder Cancer, Drinking Water Source, and Tap Water Consumption: A Case-Control Study. *J Natl Cancer Inst* 1987; 79: 1269-1279.
- Cragle DL, Shy CM, Struba RJ, Siff EJ. A case-control study of colon cancer and water chlorination in North Carolina. In: Jolley RL, ed. *Water chlorination chemistry, environmental impact and health effects*. Chelsea (MI): Lewis Publishers, 1985:153-9.
- King WD, Dodds L, Armson BA, Allen AC, Fell DB, Nimrod C. Exposure assessment in epidemiologic studies of adverse pregnancy outcomes and disinfection byproducts. *J Expo Sci Env Epid.* 2004; 14: 466-472.
- Lubbers JR, Bianchine JR. Effects of the acute rising dose administration of chlorine dioxide, chlorate and chlorite to normal healthy adult male volunteers. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 1984; 5:215-228.
- OMS. Guías para la calidad del agua potable. 3ª ed. 2004; OMS, Ginebra.
- Sarmiento A, Rojas M, Medina E, Olivet C, Casanova J. Investigación de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela. *Gac Sanit* 2001; 17: 137-143.
- Smith MK, Zenick H, George EL. Reproductive toxicology of disinfection by-products. *Environ Health Perspect* 1986; 69: 177-182.
- Villanueva CM, Kogevinas M, Grimalt JO. Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gac Sanit* 2001; 15: 48-53.
- Wigle DT, Mao Y, Semenciw r, Smith MH, Toft P. Contaminants in drinking water and cancer risks in Canadian cities. *Can J Public Health* 1986; 77: 335-342.