

Desinfectantes y subproductos de desinfección

Objetivos de la sesión

- Describir la importancia de la desinfección en el suministro de agua potable.
- **Describir los desinfectantes clave evaluados en *Pautas* y describa sus principales características y efectividad.**
- Describir los subproductos clave formados por los principales desinfectantes y describir el riesgo probable para la salud de su presencia en el agua.
- Describir el equilibrio entre los riesgos de salud microbiológicos y químicos y enfatizar la necesidad de priorizar la calidad microbiológica.

Desinfectantes y subproductos de desinfección

Introducción

La desinfección del agua potable es esencial para proteger al público de los brotes de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por el agua. Los principales desinfectantes evaluados en el *Pautas* son cloro libre, cloraminas, dióxido de cloro y ozono.

Por mucho que no exista el organismo indicador perfecto, cada uno de los desinfectantes comúnmente utilizados tiene sus ventajas y desventajas en términos de costo, eficacia, estabilidad, facilidad de aplicación y formación de subproductos.

La Tabla 1 resume los valores de Ct para los cuatro desinfectantes principales,

donde C = concentración de desinfectante en mg / litro, y

t = El tiempo de contacto en minutos requerido para inactivar un porcentaje específico de microorganismos.

Tabla 1. Resumen de los valores de Ct (mg / L. Min) para una inactivación del 99% a 5 C (Clark y col. 1993)

| Organismo | Desinfectante | | | |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|
| | Cloro libre, pH 6 a 7 | Cloramina preformada, pH 8 a 9 | Dióxido de cloro, pH 6 a 7 | Ozono pH 6 a 7 |
| <i>Ml. coli</i> | 0.034-0.05 | 95-180 | 0.4-0.75 | 0,02 |
| Virus de la polio 1 | 1.1-2.5 | 768-3740 | 0.2-6.7 | 0.1-0.2 |
| Rotavirus | 0.01-0.05 | 3806-6476 | 0.2-2.1 | 0.006-0.06 |
| Bacteriófago f 2 | 0.08-0.18 | - | - | - |
| SOL. <i>lamblia</i> quistes | 47-> 150 | - | - | 0.5-0.6 |
| SOL. <i>muris</i> quistes | 30-630 | - | 7.2-18.5 | 1.8-2.0 una |
| <i>C. parvum</i> | 7200 si | 7200 c | 78 si | 5-10 c |

una Valores para una inactivación del 99.9% a pH 6-9. si

99% de inactivación a pH 7 y 25 ° C.

c 90% de inactivación a pH 7 y 25 ° C.

De los valores de Ct, el ozono es el más eficiente y la cloramina el menos eficiente, particularmente para los agentes virales. El cloro libre es más efectivo que el dióxido de cloro con respecto a *E. coli* y rotavirus. El dióxido de cloro es más efectivo que el cloro libre con respecto a los protozoos *Giardia lamblia* y *muris* El ozono es el desinfectante más eficiente para el criptosporidio.

parvum. A medida que aumenta la temperatura, los valores de Ct disminuyen para todos los desinfectantes. El efecto del pH varía con la naturaleza del desinfectante y es más pronunciado para el cloro.

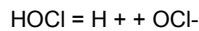
El cloro y sus subproductos.

El cloro es el desinfectante de agua potable más utilizado. Cuando se agrega al agua, la siguiente reacción ocurre en un segundo o menos:



La magnitud de la constante de hidrólisis de equilibrio es tal que la hidrólisis a ácido hipocloroso, HOCl, es prácticamente completa en agua dulce a pH > 4 y a dosis de cloro de hasta 100 mg / litro (Morris, 1982).

El ácido hipocloroso es un ácido débil que se disocia parcialmente en agua de la siguiente manera:



El valor de la constante de ionización ácida es de aproximadamente 3×10^{-8} . Como se muestra en la Figura 1, a los 20 ° C y pH 7,5, hay una distribución igual de HOCl y OCl⁻. A pH 8, aproximadamente el 30% del cloro libre está presente como HOCl, y a pH 6.5, el 90% está presente como HOCl (Morris, 1982). El término cloro libre se refiere a la suma de ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Dado que el HOCl es un desinfectante considerablemente más eficiente que el OCl⁻, y el cloro libre, incluso como hipoclorito, es más efectivo que el cloro combinado (por ejemplo, cloraminas), el *Pautas* recomienda que la desinfección se realice a un pH inferior a 8 y a cloro libre concentración $\geq 0,5$ mg / litro.

De todos los desinfectantes, la química y la toxicidad de los subproductos de reacción del cloro han sido los más estudiados.

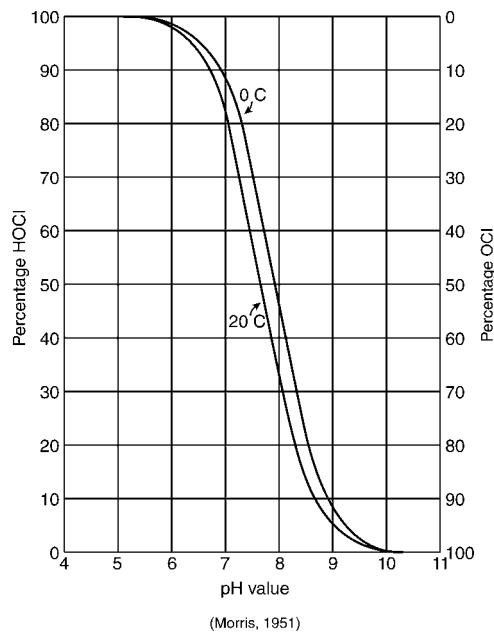


Figura 1: Distribución de ácido hipocloroso e ion hipoclorito en agua a diferentes valores de pH y temperaturas (Morris, 1951)

Desde el descubrimiento de Rook de la formación de haloformas durante la cloración del suministro de agua de Rotterdam (Rook, 1974), se han identificado numerosos compuestos halogenados en el agua potable clorada y se ha evaluado su toxicidad. Los precursores de estos compuestos halogenados incluyen compuestos húmicos y fúlvicos naturales y material de algas. Los subproductos de desinfección de cloro más comúnmente encontrados son los trihalometanos (THM), los ácidos acéticos halogenados, los acetonitrilos halogenados, el hidrato de cloral y los fenoles clorados. Otros incluyen furanona clorada

MX, halopirinas, haluros de cianógeno, halocetonas y haloaldehídos. El halogenado los subproductos de desinfección identificados representan solo aproximadamente la mitad del total formado.

Según estudios toxicológicos en animales, se han recomendado valores de referencia (VG) para varios de estos compuestos. Sin lugar a dudas, la tercera edición de la *Pautas*, planeado para el año 2002, incluirá subproductos de cloración adicionales.

Los siguientes productos químicos resultantes de la cloración de los suministros de agua han sido evaluados en el *Pautas*:

- cloro libre (HOCl + OCl⁻)
- trihalometanos
- ácidos acéticos clorados
- acetonitrilos halogenados
- hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)
- clorofenoles
- MX (3-cloro-4-diclorometil-5-hidroxi-2 (5H) -furanona)

Para los países que desean controlar el DBP, puede no ser necesario establecer estándares para todos los DBP para los que se han propuesto valores de referencia. Los trihalometanos, de los cuales el cloroformo es el componente principal, es probable que sean el principal DBP, junto con los ácidos acéticos clorados en algunos casos.

En muchos casos, el control de los niveles de cloroformo y, donde El ácido tricloroacético apropiado también proporcionará una medida adecuada de control sobre otros subproductos de cloración.

(a) Cloro

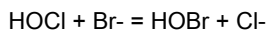
El cloro libre en el agua potable no es particularmente tóxico para los humanos. La principal fuente de exposición al cloro es el agua potable. Por lo tanto, el 100% del TDI se asignó al agua potable dando un VG basado en la salud de 5 mg / litro para la suma de ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Según el umbral de sabor y olor del cloro libre, sin embargo, es dudoso que los consumidores toleren un nivel tan alto de cloro. La mayoría de las personas pueden saborear el cloro en concentraciones inferiores a 5 mg / litro, y algunas a niveles tan bajos como 0.3 mg / litro. El VG para el cloro basado en la salud no debe interpretarse como un nivel deseable de cloración.

(b) Trihalometanos

Los subproductos de desinfección de cloro predominantes son los THM. Sin embargo, representan solo alrededor del 10% del total de compuestos halógenos orgánicos formados por la cloración del agua.

Los THM se forman por la cloración acuosa de sustancias húmicas, de compuestos solubles secretados por las algas y de compuestos nitrogenados naturales (Morris, 1982). Los THM consisten principalmente en cloroformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo.

Cuando el bromuro está presente en el agua potable, el cloro lo oxida a ácido hipobromoso:



HOBr reacciona con compuestos orgánicos naturales para formar halometanos bromados. Del mismo modo, la presencia de yoduro puede conducir a la formación de clorobromoyodo-metanos mixtos.

Se pueden hacer algunas declaraciones generalizadas con respecto a los THM en el agua de bebida clorada (IARC, 1991; Morris, 1982; Canadá, 1993):

- La concentración de THM en el agua potable varía ampliamente y varía de no detectable a 1 mg / litro o más;
- Los niveles de THM son más altos en aguas superficiales cloradas que en aguas subterráneas cloradas;
- Las concentraciones de THM tienden a aumentar con el aumento de la temperatura, el pH y la dosis de cloro;
- Las concentraciones de THM aumentan con el almacenamiento, incluso después del agotamiento del cloro residual o después de la decloración. Esto indica la formación de productos intermedios que conducen a la producción lenta de THM;
- El cloroformo suele ser el THM más abundante, que a menudo representa más del 90% de la concentración total de THM;
- Si hay una cantidad significativa de bromuro en el agua cruda, los THM bromados, incluido el bromoformo, pueden ser dominantes;
- La formación de THM puede minimizarse evitando la precloración y la coagulación, sedimentación y filtración efectivas para eliminar los precursores orgánicos antes de la desinfección final;
- La eliminación de los THM después de su formación es difícil e implica procesos que requieren muchos recursos, como la adsorción de carbón activado o la extracción de aire.

Debido a que los trihalometanos generalmente ocurren juntos, ha sido una práctica considerar los trihalometanos totales como un grupo, y varios países han establecido pautas o estándares sobre esta base, que van desde 0.025 a 0.25 mg / litro.

En la OMS de 1993 *Pautas*, Se han recomendado VG individuales para los cuatro trihalometanos. Con el supuesto subyacente de que los THM pueden ejercer efectos tóxicos potenciales a través de mecanismos biológicos similares, las autoridades pueden establecer estándares para total Los THM que tendrían en cuenta los posibles efectos aditivos y no simplemente sumarían los valores de referencia para los compuestos individuales para llegar a un estándar. En cambio, se recomienda el siguiente enfoque:

$$\frac{C_{\text{bromoformo}}}{GV_{\text{bromoformo}}} + C \frac{GV_{\text{DBCM}}}{GV_{\text{DBCM}}} + C \frac{GV_{\text{BDCM}}}{GV_{\text{BDCM}}} + C \frac{GV_{\text{cloroformo}}}{GV_{\text{cloroformo}}} \leq 1$$

donde C = concentración, y

GV = valor de referencia

Estudios epidemiológicos de carcinogenicidad de cloro y DBP.

En 1991, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la OMS publicó una evaluación de los riesgos cancerígenos para los humanos del agua potable clorada basada en una serie de estudios toxicológicos y epidemiológicos en animales.

IARC concluyó que debido a uno o más

Debilidades metodológicas, los estudios epidemiológicos revisados no pueden constituir la base de una evaluación de riesgos válida.

La investigación epidemiológica de la relación entre la exposición al agua potable clorada y la aparición de cáncer se consideró problemática porque cualquier aumento en el riesgo relativo sobre el de las personas que beben agua no clorada probablemente sea pequeño y, por lo tanto, difícil de detectar en estudios epidemiológicos. En todos los estudios evaluados, las estimaciones de exposición fueron imprecisas y los sustitutos (por ejemplo, aguas superficiales versus subterráneas) no reflejan la exposición durante los períodos de tiempo relevantes para la etiología de los cánceres en cuestión. Se sabe que muchas variables, como los hábitos de fumar, las prácticas dietéticas, el consumo de alcohol, el estado socioeconómico y el origen étnico, afectan la incidencia del cáncer y no se tuvieron en cuenta en la mayoría de los estudios (IARC,

1991).

En su evaluación general, IARC concluyó que hay evidencia inadecuada para la carcinogenicidad del agua potable clorada en humanos y en animales de experimentación (IARC, 1991).

Cloramina y sus subproductos

La cloramina generalmente produce subproductos similares a los observados con el cloro pero a concentraciones mucho más bajas. Una excepción a esto es la formación de cloruro de cianógeno, CNCl (Bull y Kopfler, 1991). El uso de cloramina como desinfectante ha aumentado en los últimos años debido a la formación limitada de THM, sin embargo, se sabe poco sobre la naturaleza de otros subproductos.

La monocloramina es aproximadamente 2000 y 100 000 veces menos efectiva que el cloro libre para la inactivación de *E. coli* y rotavirus, respectivamente. Por lo tanto, no se puede confiar en la monocloramina como desinfectante primario. Es útil para mantener un desinfectante residual en los sistemas de distribución. El cambio a la monocloramina para controlar la formación de THM puede comprometer la desinfección y *Pautas* precaución contra tal procedimiento. Las cloraminas orgánicas son desinfectantes aún menos efectivos que la monocloramina.

Dióxido de cloro y sus subproductos.

Debido a su peligro de explosión, el dióxido de cloro se fabrica en el punto de uso. ClO_2 Se genera a través de la reacción de clorito de sodio y cloro. Las reacciones de dióxido de cloro con sustancias húmicas no forman niveles significativos de THM. Además, no reacciona con el amoníaco para formar cloraminas. Los principales subproductos de desinfección del dióxido de cloro son cloruro, clorato y clorito.

El dióxido de cloro es más efectivo contra la inactivación de quistes de *Giardia* que el cloro libre, pero es menos efectivo contra rotavirus y *E. coli*. A diferencia del cloro, la eficiencia de desinfección del dióxido de cloro es independiente del pH y la presencia de amoníaco.

Se recomendó un VG provisional para el clorito, mientras que no hubo datos adecuados disponibles para recomendar un VG para el clorato. No se ha recomendado GV para el dióxido de cloro *per se*

Debido a su rápida descomposición en soluciones acuosas y al clorito GV, protege adecuadamente la toxicidad potencial del dióxido de cloro. Además, el umbral de sabor y olor para el dióxido de cloro en el agua es de 0,4 mg / litro, lo que constituye un factor limitante y una señal de su presencia a concentraciones más altas en el agua potable.

Otros subproductos de reacción del dióxido de cloro con compuestos orgánicos en el agua potable no se han caracterizado bien, pero incluyen aldehídos, ácidos carboxílicos, haloácidos, clorofenoles, quinonas y benzoquinona (Bull y Kopfler, 1991).

En un artículo reciente, más de 40 orgánicos.

Se identificaron subproductos de desinfección en una planta piloto en Indiana que utiliza dióxido de cloro como desinfectante primario. La toxicidad de estos subproductos es en gran medida desconocida (Richardson et al. 1994).

Ozono y sus subproductos

El ozono se descompone rápidamente después de la aplicación, y por esta razón no se ha propuesto ningún GV para el ozono.

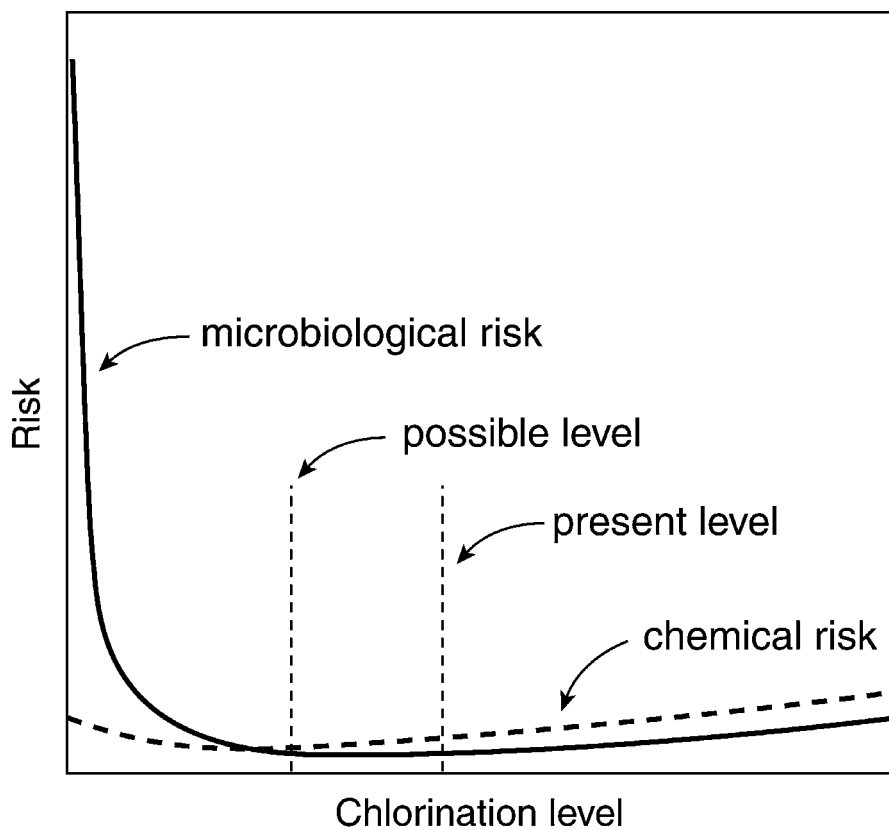
Los productos de ozonización que se han identificado incluyen formaldehído y otros aldehídos, ácidos carboxílicos, peróxido de hidrógeno, bromato, bromometanos, ácidos acéticos bromados, acetonitrilos bromados y cetonas. Se han recomendado valores de referencia para bromato y formaldehído.

El ozono es el desinfectante más eficiente para todo tipo de microorganismos. Las desventajas incluyen la falta de desinfectante residual, problemas de regeneración biológica en los sistemas de distribución, alto costo e información limitada sobre la naturaleza y toxicidad de sus subproductos.

Equilibrio de riesgos químicos y microbianos

Las evaluaciones cuantitativas de los riesgos asociados con la contaminación microbiana del agua potable son escasas. Aunque existen lagunas en nuestro conocimiento, no podemos darnos el lujo de posponer la acción hasta que esté disponible una evaluación cuantitativa rigurosa de los riesgos químicos versus microbianos y se conozca cada respuesta.

Morris (1978) intentó primero una presentación semicuantitativa de los riesgos asociados con la desinfección, que se presenta en la Figura 2. La siguiente es más o menos una cita de su trabajo: El riesgo de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua es muy alto cuando no hay cloración. usado, y cae bruscamente a un valor bajo cuando incluso se mantienen niveles mínimos de cloración. Morris lo sabemos sobre la base de la experiencia de un siglo. A medida que aumenta el nivel de cloración, el riesgo continúa disminuyendo ligeramente, pero nunca llega a cero, ya que ningún sistema es perfecto. A niveles muy altos de cloro, el riesgo microbiano aumenta ya que el sabor y el olor pueden causar el uso de suministros inseguros.



(Morris, 1978)

Figura 2: Riesgos y beneficios de la cloración del agua (Morris, 1978)

El riesgo químico no comienza en cero porque existe algún peligro relacionado con la materia orgánica antes de la cloración. El riesgo químico disminuye inicialmente porque la destrucción de los químicos por oxidación compensa con creces la formación de nuevos químicos a bajos niveles de cloración. Debido a la formación de subproductos, el riesgo químico aumenta al aumentar el nivel de cloración. Intuitivamente, describió el riesgo químico de la cloración como considerablemente menor que el riesgo microbiano de un suministro no desinfectado.

En los países desarrollados, dado que la filtración y la cloración se volvieron comunes para los suministros de agua de la comunidad, la morbilidad y mortalidad debidas a enfermedades intestinales transmitidas por el agua, particularmente la fiebre tifoidea y el cólera, han disminuido a niveles insignificantes. Casi todos los brotes transmitidos por el agua que todavía ocurren están asociados con el uso de agua no tratada o agua de sistemas en los que la cloración fue inadecuada.

Otros estudios de impacto en la salud se refieren a los efectos beneficiosos para la salud de los suministros de agua seguros y suficientes y el saneamiento adecuado, tres factores que están tan entrelazados que a menudo no es posible trazar líneas definidas de demarcación entre ellos. Juntos, constituyen los pilares de la protección de la salud pública. Se estima que la reducción prevista de la morbilidad que se puede lograr mediante la provisión de suministros de agua seguros y suficientes y un saneamiento adecuado (OMS, 1992):

| Reducción proyectada de la morbilidad (%) | |
|--|-------|
| Cólera, fiebre tifoidea | 80 |
| Enfermedades diarreicas | 40 |
| Dracunculosis | 100 |
| Esquistosomiasis | 60 60 |

Al aplicar estas reducciones porcentuales a las tasas globales de morbilidad y mortalidad para estas enfermedades, los beneficios de salvar millones de vidas a través de estas intervenciones son inmediatamente evidentes.

Como se muestra en la Figura 3 al dorso, la provisión de agua potable puede resultar en una reducción del 20% en la mortalidad infantil (Regli et al., 1993).

En su trabajo pionero en la comparación del riesgo estimado de patógenos conocidos en aguas superficiales no tratadas y la cloración por productos en el agua potable, Regli et al. (1993) concluyeron que:

- el riesgo de muerte por patógenos es al menos 100 a 1000 veces mayor que el riesgo de cáncer por subproductos de desinfección (DBP);
- el riesgo de enfermedad por patógenos es al menos 10 000 a 1 millón de veces mayor que el riesgo de cáncer por DBP;
- las tasas de morbilidad y mortalidad de los patógenos en comparación con las de los PAD pueden ser considerablemente más altas en los países en desarrollo donde el estado sanitario y de salud no es tan bueno;

- En las sociedades donde la mortalidad infantil y la esperanza de vida son bajas, no se esperaría que muchas personas vivan lo suficiente como para sufrir cáncer, lo que también causa diferencias mucho mayores en el riesgo resultante de la exposición a los patógenos versus los PAD citados anteriormente.

Si bien esta última declaración parece cínica, refleja la verdadera situación en muchos países en desarrollo.

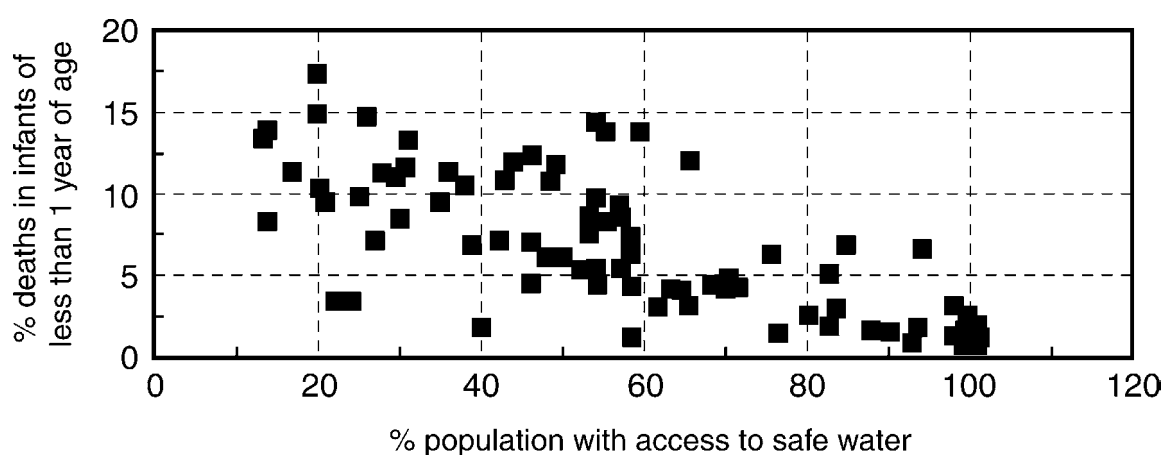


Figura 3. Mortalidad infantil versus acceso a agua segura (Regli et. Al., 1993)

Conclusión

La desinfección adecuada del agua potable es la prioridad más importante para garantizar un suministro de agua seguro. Los recientes brotes de cólera en América Latina y Ruanda proporcionan evidencia dramática de la importancia de la desinfección adecuada del agua. Existe evidencia limitada de los posibles efectos en la salud de los subproductos desinfectantes, en particular los posibles riesgos de cáncer por cloroformo y otros trihalometanos y subproductos. Esta evidencia se basa en estudios de dosis altas en animales.

Los estudios epidemiológicos realizados hasta la fecha no proporcionan ninguna evidencia de que los desinfectantes y sus subproductos afecten la salud humana en las concentraciones que se encuentran en el agua potable. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha concluido que existe evidencia inadecuada para la carcinogenicidad del agua potable clorada en humanos y animales de experimentación.

Aunque declarado de forma cualitativa, el mensaje de la *Pautas* es claro:

Los riesgos estimados para la salud de los desinfectantes y sus subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los riesgos reales asociados con la desinfección inadecuada, y es importante que la desinfección no se vea comprometida al intentar controlar dichos subproductos. La destrucción de los patógenos microbianos mediante el uso de desinfectantes es esencial para la protección de la salud pública.

Todos los desinfectantes por necesidad son sustancias reactivas y producen subproductos. Poco se sabe sobre la naturaleza y la toxicidad de los subproductos del ozono, el dióxido de cloro o las cloraminas. los

Los subproductos de la cloración son los que se han identificado más ampliamente y se ha evaluado su toxicidad. La desinfección con cloro no debe penalizarse por este motivo. En

Además, en muchos países, si la desinfección se puede practicar, será a través del uso de cloro.

Ahora hay cada vez más indicios de que los riesgos estimados para la salud de los desinfectantes y sus subproductos son varios orden de magnitud más bajos que los riesgos reales asociados con la desinfección inadecuada. Por lo tanto, si bien existe una gran certeza científica de que el agua desinfectada inadecuadamente da como resultado epidemias devastadoras de enfermedades microbianas, existe una incertidumbre relativamente grande con respecto a los posibles riesgos para la salud de los DDBP. Al establecer normas para desinfectantes por productos, se enfatiza que " **Cuando las circunstancias locales exijan que se haga una elección entre cumplir con las pautas microbiológicas o las pautas para desinfectantes o subproductos desinfectantes, la calidad microbiológica siempre debe tener prioridad, y cuando sea necesario, se puede adoptar un valor de referencia químico con un mayor nivel de riesgo . Desinfección eficiente debe Nunca estar comprometido "**. 1993 *Directrices*)

Referencias

Bull RJ, Kopfler FC (1991). Efectos sobre la salud de desinfectantes y subproductos de desinfección, Asociación Estadounidense de Trabajos del Agua, Denver.

Salud y Bienestar de Canadá (1993). Principios y aplicaciones del tratamiento del agua. Asociación canadiense de agua y aguas residuales, Ottawa.

Clark RM, Hurst CJ, Regli S (1993). Costos y beneficios del control de patógenos en el agua potable. En: Seguridad de la desinfección del agua: equilibrando los riesgos químicos y microbianos. Craun GF ed. Prensa ILSI, Washington, DC

Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (1991). Monografías de la IARC sobre la evaluación de los riesgos cancerígenos para los humanos, Volumen 52 Agua potable clorada; subproductos de cloración; algunos otros compuestos halogenados; Cobalto y compuestos de cobalto, Lyon.

Morris JC (1951), investigación no publicada, Universidad de Harvard, 1951

Morris JC (1978). Resumen de la conferencia. En: cloración del agua, impacto ambiental y efectos sobre la salud. Volumen 2. Jolley RL, Gorchev H., Hamilton DH eds., Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.

Morris JC (1982). Perspectiva de salud en el tratamiento oxidativo del agua para abastecimiento de agua potable. Parte 2 Evaluación de la salud de los desinfectantes oxidantes actuales. Instituto Nacional de Abastecimiento de Agua. Leidschendam, Países Bajos.

Regli S., Berger P., Macler B., Haas C. (1993). Árbol de decisión propuesto para la gestión de riesgos en el agua potable: consideración de los factores socioeconómicos y de salud. En: Seguridad de la desinfección del agua: equilibrando los riesgos químicos y microbianos. Craun GF ed. ILSI Press, Washington,
corriente continua

Richardson SD, Thruston AD, Collette TW (1994). Identificación multiespectral de subproductos de desinfección con dióxido de cloro en agua potable. *Reinar. Sci. Technol.*, 28 : 592-599.

Rook JJ (1974). Formación de haloformas durante la cloración de aguas naturales. *J. Soc. para tratamiento y examen de agua* 23 : 234-243.

Organización Mundial de la Salud (1992). Nuestro planeta, nuestra salud. Informe de la Comisión de Salud y Medio Ambiente de la OMS. Ginebra.

Anexo 1
CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA POTABLE

| Organismos | Valor de referencia |
|--|---|
| Toda el agua destinada para beber. | |
| <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes | No debe ser detectable en ninguna muestra de 100 ml. |
| Agua tratada que ingresa al sistema de distribución | |
| <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes | No debe ser detectable en ninguna muestra de 100 ml. |
| Bacterias coliformes totales | No debe ser detectable en ninguna muestra de 100 ml. |
| Agua tratada en el sistema de distribución. | |
| <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes | No debe ser detectable en ninguna muestra de 100 ml. |
| Bacterias coliformes totales | No debe ser detectable en ninguna muestra de 100 ml. En el caso de suministros grandes, donde se examina una muestra suficiente, no debe estar presente en el 95% de las muestras tomadas durante un período de 12 meses. |

Desinfectantes y subproductos desinfectantes

Tabla 1: Resumen de los valores de Ct (mg / L. Min) para una inactivación del 99% a 5 ° C (Clark y otros, 1993)

| Organismo | Desinfectante | | | |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------|
| | Cloro libre, pH 6 a 7 | Cloramina preformada, pH 8 a 9 | Dioxido de cloro, pH 6 a 7 | Ozono pH 6 a 7 |
| <i>M. coli</i> | 0.034-0.05 | 95-180 | 0.4-0.75 | 0.02 |
| Virus de la polio 1 | 1.1-2.5 | 768-3740 | 0.2-6.7 | 0.1-0.2 |
| Rotavirus | 0.01-0.05 | 3806-6476 | 0.2-2.1 | 0.006-0.06 |
| Bacteriófago f ₂ | 0.08-0.18 | - | - | - |
| SOL. <i>lamblia</i> quistes | 47-> 150 | - | - | 0.5-0.6 |
| SOL. <i>muris</i> quistes | 30-630 | - | 7.2-18.5 | 1.8-2.0 ^{una} |
| <i>C. parvum</i> | 7200 ^{si} | 7200 ^c | 78 ^{si} | 5-10 ^c |

una Valores para una inactivación del 99.9% a pH 6-9.

si 99% de inactivación a pH 7 y 25 C.

C 90% de inactivación a pH 7 y 25 C.

Desinfectantes y subproductos desinfectantes

Plan de presentación

| Sección | Puntos clave | <u>OHP</u> |
|--|---|----------------------------------|
| Introducción • Se recomienda la desinfección de todas las aguas suministradas para beber. | <p>por la OMS para proteger la salud pública</p> <ul style="list-style-type: none"> • principales desinfectantes evaluados en el <i>Pautas</i> son: cloro libre, cloraminas, dióxido de cloro y ozono • El ozono en general es el desinfectante más efectivo, aunque el cloro también es efectivo y eficiente • Todos los desinfectantes tienen ventajas y desventajas, y todos producen subproductos. • Se evaluaron varios subproductos de desinfección en el GDWQ | 1,2 Tabla 1 |
| El cloro y sus subproductos. | <ul style="list-style-type: none"> • el cloro es el desinfectante más común • cuando se agrega cloro al agua, forma ácido hipocloroso, ión hidrógeno y un ión cloro • debido a una mayor eficiencia, el <i>Pautas</i> Se recomienda desinfectar con cloro a un pH inferior a 8 y una concentración de cloro libre superior a 0,5 mg / l • El uso de cloro conduce a la formación de subproductos halogenados, incluidos los THM • los precursores de los THM son ácidos húmicos y fúlvicos naturales y material de algas • se pueden formar muchos otros subproductos (ver papel o <i>Pautas</i> por ejemplo) • Las impurezas en el cloro gaseoso y líquido de relevancia para la naturaleza de los subproductos son el tetracloruro de carbono y el bromuro. • GV establecidos para varios subproductos de cloración • Muy difícil de estimar la exposición a compuestos orgánicos halogenados en el agua potable. • Es posible que no sea necesario establecer estándares para todos los subproductos incluidos en <i>Pautas</i>, es mejor concentrarse en los grupos principales (p. ej., THM) • La calidad microbiológica del agua nunca debe verse comprometida por las preocupaciones sobre los subproductos de desinfección. | 3,4,5 |

| Sección | Puntos clave | OHP |
|--|--|-----|
| Cloro | <ul style="list-style-type: none"> • el cloro libre en el agua potable no es particularmente tóxico y el VG basado en la salud es de 5 mg / l • Es muy poco probable que los consumidores acepten dichos niveles de cloro, ya que el sabor es tan bajo como 0.3 mg / l • no use GV como nivel deseable de cloración | |
| Trihalometanos | <p>• Estos son los principales subproductos de la cloración, pero solo forman el 10</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los THM tienen más probabilidades de ocurrir en aguas superficiales cloradas que en aguas subterráneas • Las concentraciones de THM varían ampliamente; aumentando con el aumento de la temperatura, el pH, la dosis de cloro y durante el almacenamiento después del agotamiento del cloro libre o la decloración • El cloroformo es el THM más común (generalmente > 90% del total de THM) • cuando hay bromo presente, los THM bromados probablemente sean dominantes • La formación de THM puede minimizarse evitando la precloración y optimizando el tratamiento. • La eliminación de THM es costosa y difícil | 66 |
| Cloramina y subproductos | <ul style="list-style-type: none"> • cloraminas formadas por reacción de cloro y amoníaco o aminas orgánicas • puede obtener mono, di y tricloraminas dependiendo del pH y la temperatura • subproductos de cloramina similares al cloro libre, con excepción del cloruro de cianógeno • monocloramina aproximadamente 2000 a 100 000 veces menos efectiva que el cloro libre para la inactivación de <i>E. coli</i> y rotavirus | 77 |
| Dióxido de cloro y subproductos | <ul style="list-style-type: none"> • dióxido de cloro producido en el punto de uso debido a su peligro de explosión • el dióxido de cloro no forma THM ni cloraminas • Los principales subproductos son clorito, clorato y cloruro. • el dióxido de cloro es más efectivo que el cloro libre en la inactivación de <i>Giardia</i> quistes pero menos eficaz contra <i>E. coli</i> y rotavirus • sin GV para el dióxido de cloro en el agua, ya que se disocia rápidamente • GV establecidos para clorito pero no para clorato | 8 |
| Ozono y subproductos | <ul style="list-style-type: none"> • el ozono se descompone rápidamente después de la aplicación y, por lo tanto, no se ha propuesto ningún GV • los subproductos incluyen formaldehído, otros aldehídos, peróxido de hidrógeno y bromometanos (ver documento / Pautas para más ejemplos) | 99 |

| Sección | Puntos clave | <u>OHP</u> |
|--|--|------------|
| Ozono y subproductos <i>(continuado)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • El ozono es el desinfectante más eficiente con respecto a los microorganismos. • Las desventajas incluyen: falta de problemas de regeneración biológica residual en los sistemas de distribución, alto costo e información limitada sobre la naturaleza y toxicidad de los subproductos. • cuando la ozonización seguida de la cloración, las concentraciones de THM bromados pueden aumentar | |
| Equilibrando los riesgos químicos y microbianos | <ul style="list-style-type: none"> • Actualmente, la escasez de evaluaciones cuantitativas de los riesgos relativos de contaminación microbiana y química del agua potable. • Morris realizó una presentación semicuantitativa: esto demostró que el riesgo de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua es alto cuando no se practica la cloración y esto disminuye drásticamente incluso con niveles mínimos de cloración, aunque nunca puede llegar a cero riesgo • a concentraciones de cloro muy altas, el riesgo microbiano aumenta a medida que el sabor y el olor provocan el uso de suministros inseguros • los riesgos químicos no comienzan en cero, ya que siempre hay algún peligro de la materia orgánica antes de la cloración • Los riesgos químicos son bajos inicialmente, pero aumentan con el aumento de las dosis de cloro. • el riesgo de muerte por patógenos es al menos 100 a 1000 veces mayor que el riesgo de cáncer por subproductos desinfectados y el riesgo de enfermedad por patógenos al menos 10,000 a 1 millón de veces mayor • Las tasas de morbilidad y mortalidad por agentes patógenos en comparación con el riesgo de cáncer por subproductos pueden ser mucho más altas en los países en desarrollo donde el estado sanitario y de salud es deficiente | 10 |
| Conclusiones | <ul style="list-style-type: none"> • la desinfección es importante para garantizar un suministro seguro de agua potable • Se dispone de información limitada sobre el riesgo para la salud de los subproductos de desinfección. • la formación de subproductos de desinfección puede reducirse si se optimiza el proceso de tratamiento y se evita la precloración • existe evidencia inadecuada sobre la carcinogenicidad del agua potable clorada • Hay más información disponible sobre el cloro porque se ha estudiado con más detalle y esto no debería penalizar el uso del cloro. • Como la calidad microbiológica es de suma importancia, la desinfección no debe verse comprometida | |

Desinfectantes evaluados

Cloro

Cloramina

Dioxido de cloro

Ozono

Yodo



Desinfectantes y subproductos desinfectantes

El ozono general es el desinfectante más efectivo, aunque el cloro es efectivo y eficiente.

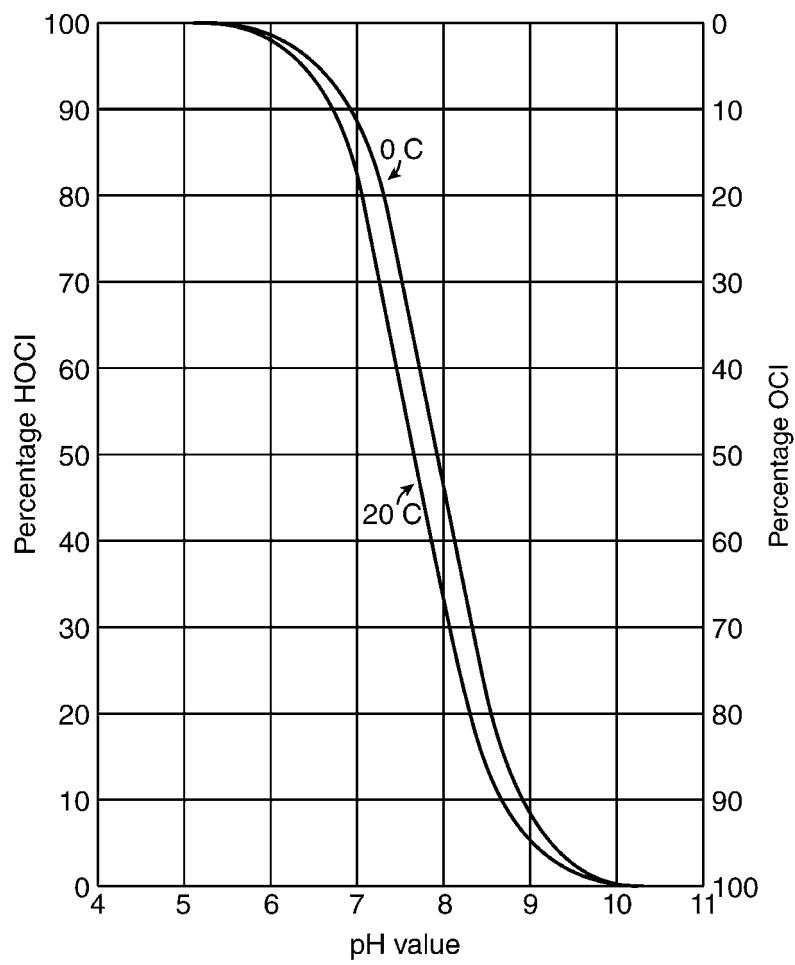
Todos los desinfectantes tienen ventajas y desventajas, y todos producen subproductos.

En las Directrices se evaluaron varios subproductos desinfectantes.

La calidad microbiológica del agua nunca debe verse comprometida por las preocupaciones sobre los subproductos de desinfección.



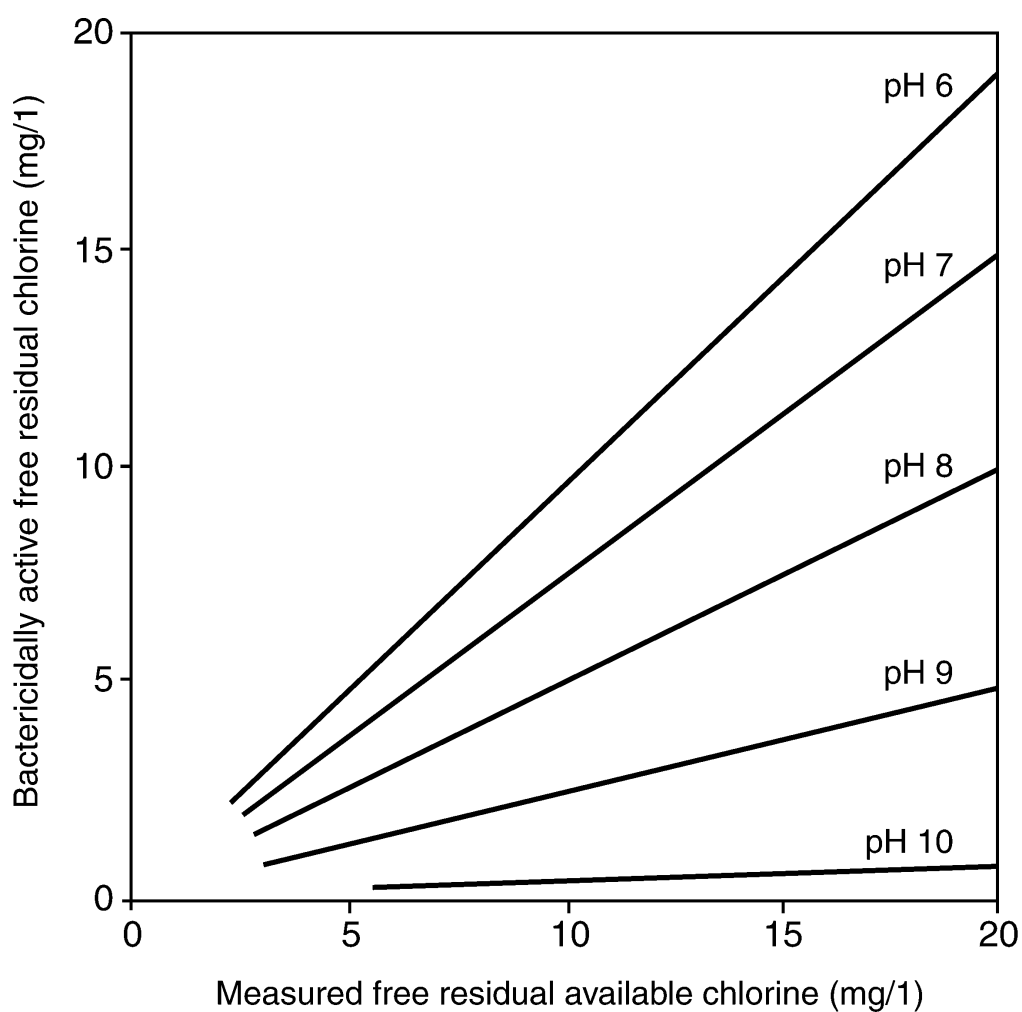
Distribución de ácido hipocloroso e ión hipoclorito en agua a diferentes valores de pH y temperaturas



(Morris, 1951)



Relación entre el residuo libre medido
Cloro disponible (HOCl +, OCl-) y
Bactericidally Active (HOCl)



Cloro

El cloro es el desinfectante más común Subproductos de cloro »Cloro libre

»Trihalometanos (THM)» Ácidos acéticos clorados »Acetonitrilos halogenados

»Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)» Clorofenoles

»MX

(3-cloro-diclorometil-5-hidroxi-2 (5H) -furanona)

Es posible que no sea necesario establecer estándares para todos los subproductos incluidos en las Directrices, es mejor concentrarse en los grupos principales (p. ej., THM)



Trihalometanos

El principal subproducto de la cloración.

Formado por la cloración acuosa de sustancias húmicas.

Es más probable que ocurra en aguas superficiales cloradas que en aguas subterráneas

Las concentraciones de THM tienden a aumentar al aumentar la temperatura, el pH y la dosis de cloro

Los THM consisten principalmente en:

- »Cloroformo
- »Bromodiclorometano»
- Dibromoclorometano
- »Bromoformo

La formación de THM puede minimizarse evitando la precloración y optimizando el tratamiento.



Cloramina y sus subproductos

Cloraminas formadas por reacción de cloro y amoníaco o aminas orgánicas.

Se pueden formar mono-, di- y tricloraminas dependiendo del pH y la temperatura.

Subproductos de cloramina similares al cloro libre con la excepción del cloruro de cianógeno.

La mono-cloramina es un desinfectante menos efectivo que el cloro libre y no se puede confiar como desinfectante primario; aunque útil para mantener un residual.



Dióxido de cloro y sus subproductos

Dióxido de cloro producido en el punto de uso debido a su peligro de explosión.

Las reacciones con sustancias húmicas no forman niveles significativos de THM o cloraminas.

Los subproductos principales
son: »clorito» clorato »cloruro

Más eficaz que el cloro libre en la inactivación de quistes de *Giardia* pero menos eficaz contra *E. coli* y rotavirus

No hay VG para el dióxido de cloro en el agua, ya que se disocia rápidamente. GV establecidos para clorito pero no clorato



El ozono y sus subproductos

El desinfectante más eficiente para todo tipo de microorganismos.

Se descompone rápidamente después de la aplicación, por lo que no se ha propuesto GV para el ozono

Los subproductos incluyen:

»formaldehído» aldehídos

»Peróxido de hidrógeno»

bromometanos

Los desprecios incluyen: »falta

de residuos

»Regeneración biológica en sistemas de distribución» alto

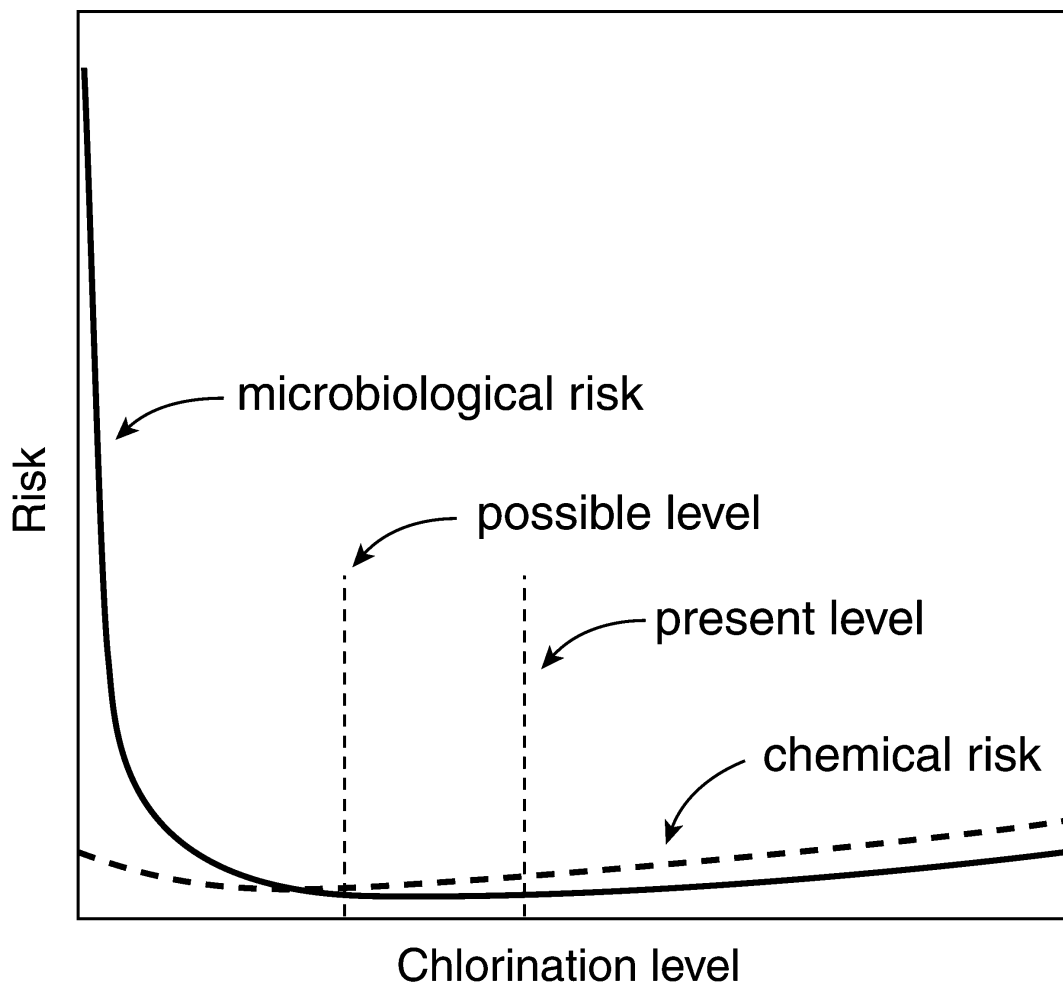
costo

»Información limitada sobre la toxicidad de sus subproductos



Equilibrio químico y microbiológico.

riesgos



(Morris, 1978)

