

7

Aspectos microbiológicos

El mayor riesgo microbiano del agua es el relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición significativas.

Este capítulo trata sobre los microorganismos que, según pruebas obtenidas en estudios epidemiológicos o en estudios prospectivos en situaciones no epidémicas, ocasionan enfermedades por ingestión, inhalación de gotículas o contacto con agua de consumo, así como sobre el control de dichos microorganismos.

7.1 Peligros microbianos relacionados con el agua de consumo

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos). La carga para la salud pública es función de la gravedad de la enfermedad o enfermedades relacionadas con los agentes patógenos, de su infectividad y de la población expuesta.

Un fallo general del sistema de protección de la seguridad del abastecimiento de agua puede ocasionar una contaminación a gran escala del agua y, potencialmente, epidemias detectables. Otras averías y la contaminación leve, posiblemente en ocasiones repetidas, pueden ocasionar brotes esporádicos significativos de enfermedades, pero no es probable que las autoridades de vigilancia de la salud pública los asocien con la fuente de abastecimiento de agua de consumo.

La evaluación y cuantificación de los riesgos puede ayudar a comprenderlos y gestionarlos, sobre todo los relacionados con casos de enfermedad esporádicos.

7.1.1 Infecciones transmitidas por el agua

Existen diversos tipos de agentes patógenos que pueden transmitirse por el agua de consumo contaminada. El cuadro 7.1 y la figura 7.1 proporcionan información general sobre agentes patógenos importantes en la gestión de sistemas de abastecimiento de agua de consumo. La gama de agentes patógenos cambia en función de factores variables como el aumento de las poblaciones de personas y animales, el incremento del uso de aguas residuales, los cambios de los hábitos de la población o de las intervenciones médicas, las migraciones y viajes de la población, y presiones selectivas que favorecen la aparición de agentes patógenos nuevos o mutantes, o de recombinaciones de los agentes patógenos existentes. También existe una considerable variabilidad en la inmunidad de las personas, ya sea adquirida por contacto con un agente patógeno o determinada por factores como la edad, el sexo, el estado de salud y las condiciones de vida.

Cuadro 7.1 Agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en los sistemas de abastecimiento de agua

Agente patógeno	Importancia para la salud	Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua ^a	Resistencia al cloro ^b	Infectividad relativa ^c	Fuente animal importante
Bacterias					
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	Baja	Puede proliferar	Baja	Baja	No
<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>C. coli</i>	Alta	Moderada	Baja	Moderada	Sí
<i>Escherichia coli</i> patógena ^d	Alta	Moderada	Baja	Baja	Sí
<i>E. coli</i> enterohemorrágica	Alta	Moderada	Baja	Alta	Sí
<i>Legionella</i> spp.	Alta	Moderada	Baja	Moderada	No
Micobacterias no tuberculosas	Baja	Prolifera	Alta	Baja	No
<i>Pseudomonas aeruginosae</i>	Moderada	Prolifera	Moderada	Baja	No
<i>Salmonella typhi</i>	Alta	Puede proliferar	Baja	Baja	No
Otras salmonelas	Alta	Moderada	Baja	Baja	Sí
<i>Shigella</i> spp.	Alta	Puede proliferar	Baja	Moderada	No
<i>Vibrio cholerae</i>	Alta	Puede proliferar	Baja	Baja	No
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Alta	Corta	Baja	Baja	Sí
		Corta			

Larga					
Virus					
Adenovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Enterovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis A	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis E	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Norovirus y sapovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Rotavirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Protozoos					
<i>Acanthamoeba</i> spp.	Alta	Larga	Alta	Alta	No
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Alta	Larga	Alta	Alta	No
<i>Entamoeba histolytica</i>	Alta	Moderada	Alta	Alta	No
<i>Giardia intestinalis</i>	Alta	Moderada	Alta	Alta	Sí
<i>Naegleria fowleri</i>	Alta	Puede proliferar ^f	Alta	Alta	No
<i>Toxoplasma gondii</i>	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
Helmintos					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Alta	Moderada	Moderada	Alta	No
<i>Schistosoma</i> spp.	Alta	Corta	Moderada	Alta	Sí

Nota: La transmisión por el agua de los agentes patógenos incluidos en el cuadro ha sido confirmada mediante estudios epidemiológicos e historias clínicas. La comprobación de la patogenicidad se basa, en parte, en la reproducción de la enfermedad en hospedadores adecuados. El valor de la información de estudios experimentales en los que se expone a voluntarios a concentraciones conocidas de agentes patógenos es relativo; como la mayoría de los estudios se realizan con voluntarios adultos sanos, la información obtenida sólo es aplicable a una parte de la población expuesta y la extrapolación a grupos más vulnerables debe estudiarse más a fondo.

^a Período de detección del estado infeccioso en agua a 20 °C: persistencia corta: hasta 1 semana; moderada: de 1 semana a 1 mes; larga: más de 1 mes.

^b Estando el estado infeccioso en suspensión libre en agua tratada con dosis y tiempos de contacto convencionales. La resistencia es «moderada» si es posible que el agente no sea destruido completamente.

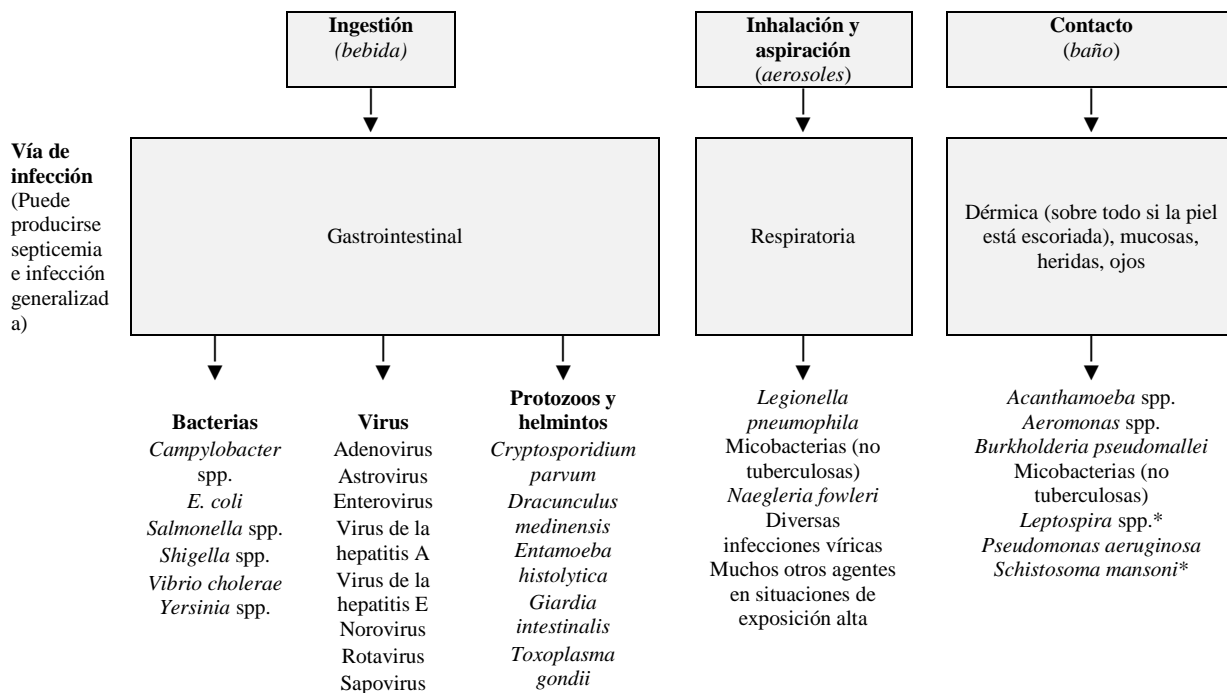
^c Determinada en experimentos con voluntarios o basándose en información epidemiológica.

^d Incluye los tipos enteropatógenos, enterotoxígenos y enteroinvasivos.

^e La vía de infección principal es por contacto con la piel, pero puede infectar a enfermos de cáncer o personas inmunodeficientes por vía oral.

^f En agua templada.

La transmisión por el agua de consumo es sólo uno de los vehículos de transmisión de los agentes patógenos transmitidos por la vía fecal-oral. Pueden ser también vehículo de transmisión los alimentos contaminados, las manos, los utensilios y la ropa, sobre todo cuando el saneamiento e higiene domésticos son deficientes. Para reducir la transmisión de enfermedades por la vía fecal-oral es importante mejorar la calidad del agua y su disponibilidad, así como los sistemas de eliminación de excrementos y la higiene general.



* Principalmente por contacto con aguas superficiales muy contaminadas.

Figura 7.1 Vías de transmisión y ejemplos de agentes patógenos relacionados con el agua

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos.

La inocuidad del agua de consumo no depende únicamente de la contaminación fecal. Algunos microorganismos proliferan en las redes de distribución de agua (por ejemplo, *Legionella*), mientras que otros se encuentran en las aguas de origen (el dracunculo, *Dracunculus medinensis*) y pueden ocasionar epidemias y casos aislados. Para otros microbios (por ejemplo, las cianobacterias tóxicas) deben adoptarse medidas de gestión específicas, que se abordan en otro capítulo de las presentes Guías (véase el apartado 11.5).

Ciertas enfermedades graves se producen por inhalación de gotículas de agua (aerosoles) en las que los microorganismos causantes de la enfermedad pueden multiplicarse si contienen nutrientes y la temperatura es cálida. Son ejemplos de tales enfermedades las legionelosis, como la legionelosis neumónica o «enfermedad del legionario», ocasionadas por *Legionella* spp., y las enfermedades causadas por la ameba *Naegleria fowleri* (meningoencefalitis amebiana primaria [MAP]) y por *Acanthamoeba* spp. (meningitis amebiana, infecciones pulmonares).

La esquistosomiasis (bilharziasis) es una importante enfermedad parasitaria de las regiones tropicales y subtropicales que se transmite por la penetración en la piel de la larva del parásito (cercaria), liberada por caracoles acuáticos infectados. Se transmite principalmente por contacto con el agua. La disponibilidad de agua inocua contribuye a prevenir la enfermedad, ya que reduce la necesidad de contacto con agua contaminada, por ejemplo, al recogerla para transportarla al hogar o al utilizarla para lavar la ropa o para la higiene personal.

El agua de consumo insalubre, contaminada con tierra o heces, puede actuar como vehículo de otras infecciones parasitarias como la balantidiasis (*Balantidium coli*) y determinados helmintos (especies de los géneros *Fasciola*, *Fasciolopsis*, *Echinococcus*, *Spirometra*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Necator*, *Ancylostoma* y *Strongyloides*, y la especie *Taenia solium*). No obstante, en la mayoría de estas especies, el modo de transmisión normal no es la ingestión de agua de consumo contaminada, sino la ingestión de los huevos presentes en alimentos contaminados con heces o con tierra contaminada con heces o, en el caso de *Taenia solium*, la ingestión del cisticerco por consumo de carne de cerdo no cocinada.

Otros agentes patógenos que pueden estar presentes de forma natural en el medio ambiente pueden hacer enfermar a personas con inmunodeficiencia local o sistémica, como los ancianos o las personas de muy corta edad, los pacientes con quemaduras o heridas extensas, las sometidas a

tratamientos inmunodepresores o las afectadas por el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA). Si el agua que beben o usan estas personas para bañarse contiene cantidades suficientes de estos organismos, pueden producir diversas infecciones cutáneas y de las mucosas de los ojos, oídos, nariz y garganta. Son ejemplos de agentes patógenos de este tipo la especie *Pseudomonas aeruginosa* y especies de los géneros *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Aeromonas*, así como determinadas micobacterias (no tuberculosas) de crecimiento lento (véase el documento complementario *Pathogenic Mycobacteria in Water*; apartado 1.3).

La mayoría de los agentes patógenos del ser humano indicados en el cuadro 7.1 (que se describen en mayor detalle en el capítulo 11) están distribuidos por todo el mundo; no obstante, algunos, como los que ocasionan epidemias de cólera o dracunculosis, son endémicos de determinadas regiones. La erradicación de *D. medinensis* es un objetivo reconocido de la Asamblea Mundial de la Salud (1991).

Probablemente existan otros agentes patógenos transmitidos por el agua no incluidos en el cuadro 7.1, ya que el número de patógenos transmitidos por el agua conocidos continúa aumentando conforme se descubren patógenos nuevos o no identificados anteriormente (véase OMS, 2003a).

7.1.2 Persistencia y proliferación en el agua

Aunque los agentes patógenos transmitidos por el agua típicos son capaces de sobrevivir en el agua de consumo, la mayoría no crecen ni proliferan en el agua. Microorganismos como *E. coli* y *Campylobacter* pueden acumularse en los sedimentos y movilizarse al aumentar el caudal de agua.

Tras abandonar el organismo de su hospedador, la viabilidad y capacidad infecciosa de la mayoría de los agentes patógenos disminuyen gradualmente. Su número disminuye normalmente de forma exponencial, y transcurrido cierto tiempo no podrá detectarse su presencia. Los agentes patógenos con persistencia baja deben encontrar rápidamente nuevos hospedadores y es más probable su transmisión por contacto de persona a persona o por una higiene personal deficiente que por el agua de consumo. Varios factores influyen en la persistencia, de los que la temperatura es el más importante. El número de microorganismos disminuye habitualmente con mayor rapidez a temperaturas más altas y la tasa de disminución puede verse potenciada por los efectos letales de la radiación UV de la luz solar que incide en la zona superficial del agua.

Los agentes patógenos y parásitos transmitidos por el agua más comunes son los que poseen una infectividad alta y o pueden proliferar en el agua o poseen una resistencia alta fuera del organismo.

Los virus y las formas latentes de los parásitos (quistes, ooquistes, huevos) no pueden multiplicarse en el agua. Por el contrario, la presencia de cantidades relativamente altas de carbono orgánico biodegradable, junto con temperaturas cálidas y concentraciones residuales bajas de cloro, pueden permitir la proliferación de *Legionella*, *V. cholerae*, *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* y organismos molestos en algunas aguas superficiales y en los sistemas de distribución de agua (véase también el documento complementario *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*; apartado 1.3).

La calidad microbiológica del agua puede variar muy rápidamente y en gran medida. Pueden producirse aumentos repentinos de la concentración de agentes patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Los análisis de la calidad microbiológica del agua normalmente tardan demasiado para que sus resultados puedan ser tenidos en cuenta por los responsables de la adopción de medidas para evitar el suministro de agua insalubre.

7.1.3 Aspectos relativos a la salud pública

Las epidemias de enfermedades transmitidas por el agua pueden afectar a numerosas personas, y la prioridad principal de la elaboración y aplicación de controles de la calidad del agua de consumo debe ser el control de estas epidemias. La información disponible sugiere también que el agua de consumo puede contribuir a la morbilidad general en ausencia de epidemias, de modo que una finalidad adicional del control de la calidad del agua de consumo debe ser reducir la morbilidad por enfermedades transmitidas por el agua en el conjunto de la población.

La experiencia ha demostrado que los sistemas de detección de epidemias de enfermedades transmitidas por el agua suelen ser ineficientes en países con cualquier grado de desarrollo socioeconómico, y el que no se detecten brotes no garantiza que no existan, ni indica necesariamente que el agua de consumo pueda considerarse inocua.

Algunos de los agentes patógenos cuya transmisión por agua de consumo contaminada es conocida producen enfermedades graves y que, en ocasiones, pueden ser mortales. Algunas de estas enfermedades son la fiebre tifoidea, el cólera, la hepatitis infecciosa (causada por el virus de la hepatitis A [VHA] o el de la hepatitis E [VHE]) y las enfermedades causadas por *Shigella* spp. y por *E. coli* O157.

Otras enfermedades conllevan típicamente desenlaces menos graves, como la diarrea de resolución espontánea (por ejemplo, los norovirus y *Cryptosporidium*).

La exposición a agentes patógenos no produce los mismos efectos en todas las personas ni, por consiguiente, en todas las poblaciones. Gracias a los efectos de la inmunidad adquirida, la exposición repetida a un agente patógeno puede conllevar una menor probabilidad de enfermar o una menor gravedad de la enfermedad ocasionada. La inmunidad frente a algunos agentes patógenos (por ejemplo, el VHA) dura toda la vida, mientras que en otros casos (por ejemplo, *Campylobacter*) los efectos protectores pueden durar únicamente unos pocos meses o años. Por otro lado, los subgrupos de población vulnerables (por ejemplo, los niños, los ancianos, las mujeres embarazadas y las personas con inmunodeficiencia) pueden estar expuestos a un mayor riesgo de enfermar o la enfermedad puede ser más grave, incluso mortal. No todos los agentes patógenos producen efectos más intensos en todos los subgrupos de población vulnerables.

Algunas personas infectadas no contraerán la enfermedad sintomática. La proporción de la población infectada que es asintomática (incluidos los portadores) es diferente para cada agente patógeno y también varía en función de características demográficas, como la prevalencia de inmunidad. Los portadores y las personas con infecciones asintomáticas, así como aquellas que aún no han desarrollado los síntomas, pueden contribuir a la propagación secundaria de agentes patógenos.

7.2 Formulación de metas de protección de la salud

7.2.1 Metas de protección de la salud aplicadas a los peligros microbianos

Los métodos generales de formulación de metas de protección de la salud se describen en el apartado 2.1.1 y en el capítulo 3.

Puede obtenerse información sobre riesgos para la salud de fuentes epidemiológicas o de evaluaciones de riesgos; por lo general, se utilizan ambas fuentes de forma complementaria.

En situaciones en las que la carga de morbilidad de enfermedades transmitidas por el agua se considere suficientemente alta para permitir la medición del efecto de las intervenciones, es decir, de las reducciones de la carga de morbilidad que puede atribuirse al agua de consumo, también pueden establecerse metas de protección de la salud mediante un enfoque basado en dichos resultados sanitarios.

La evaluación de riesgos es particularmente útil cuando la proporción de la morbilidad atribuible al agua de consumo es baja o difícil de medir directamente mediante la vigilancia de la salud pública o estudios epidemiológicos analíticos.

Para muchos agentes patógenos, se cuenta con escasos datos —tanto epidemiológicos como de evaluación de riesgos— en los que basar la formulación de metas de protección de la salud, pero se producen cada vez más datos. Para la formulación de metas nacionales, siempre será de gran utilidad la información generada en el país.

El tipo más frecuente de metas de protección de la salud aplicadas para el control de los peligros microbianos son las metas relativas a la eficacia (véase el apartado 3.2.2), relacionadas con una carga de morbilidad tolerable. Normalmente, no se fijan metas de calidad del agua (véase el apartado 3.2.3) para el control de agentes patógenos, porque el análisis de la presencia de dichos agentes en el agua tratada no se considera una opción factible ni costoeficaz.

7.2.2 Método de evaluación de riesgos

En muchas circunstancias, es posible calcular los efectos de la mejora de la calidad del agua de consumo sobre los riesgos para la salud de la población mediante la elaboración y aplicación de modelos de evaluación de riesgos.

La evaluación cuantitativa de los riesgos microbianos es una disciplina en rápido desarrollo que combina de forma sistemática la información disponible sobre exposición al riesgo y sobre la relación entre dosis y respuesta para calcular valores estimados de la carga de morbilidad relacionada con la exposición a agentes patógenos. Se utilizan modelos matemáticos para estimar los efectos que producen, en poblaciones y subgrupos de población, concentraciones bajas de agentes patógenos en el agua de consumo.

Para interpretar y aplicar información obtenida en estudios epidemiológicos analíticos para determinar metas de protección de la salud de ámbito de aplicación nacional o local, es preciso tener en cuenta diversos factores, incluidos los siguientes:

- ¿Deben proporcionarse valores estimados específicos de reducción de la morbilidad o bien intervalos indicativos de las reducciones esperadas?
- ¿En qué medida es representativa de la población objetivo la muestra de estudio? ¿Se puede confiar en la validez de los resultados para un grupo de población más amplio?

- ¿En qué medida afectarán a los efectos esperados pequeñas variaciones en las condiciones demográficas o socioeconómicas?

La evaluación de riesgos comienza con la formulación del problema, cuya finalidad es determinar todos los peligros posibles y sus vías de transmisión de la fuente o fuentes a la persona o personas afectadas. A continuación, se caracterizan los riesgos combinando la información sobre exposición de las personas a los agentes patógenos seleccionados (concentraciones medioambientales y volúmenes ingeridos) y la relativa a la relación entre dosis y respuesta. Esta información, junto con información adicional (factores sociales, culturales, políticos, económicos, medioambientales, etc.), permite establecer prioridades entre las diferentes opciones de gestión. Para fomentar el apoyo y la participación de las partes interesadas, es importante aplicar, en cada etapa del proceso, un procedimiento transparente y una comunicación activa de los riesgos. En el cuadro 7.2 se expone un ejemplo de método de evaluación de riesgos, que se describe a continuación.

Formulación del problema y determinación de los peligros

Deben determinarse y documentarse, para cada componente del sistema de abastecimiento de agua de consumo, todos los posibles peligros, las fuentes de peligro y los sucesos que pudieran dar lugar a dichos peligros (es decir, qué puede pasar y cómo), con independencia de si el proveedor de agua de consumo controla o no directamente dicho componente. Se incluyen las fuentes de contaminación puntuales (por ejemplo, los vertidos de residuos humanos e industriales) y las difusas (por ejemplo, las generadas por actividades agropecuarias). Deben tenerse en cuenta también las pautas temporales de la contaminación, que puede ser continua, intermitente o estacional, así como los sucesos extremos e infrecuentes, como sequías e inundaciones.

La determinación de los peligros, en su sentido más amplio, se centra en las situaciones de peligro, que son sucesos que pueden hacer que los consumidores se vean expuestos a microorganismos patógenos específicos. En estos casos, puede utilizarse el término «peligro» en referencia al suceso peligroso (por ejemplo, los picos de contaminación del agua de origen con aguas residuales domésticas).

Se seleccionan microorganismos representativos cuyo control garantizaría el control de todos los agentes patógenos peligrosos. Típicamente, esto conlleva la inclusión de al menos una bacteria, un virus y un protozoo patógenos.

Cuadro 7.2 Modelo de evaluación de riesgos para la salud derivados de agentes patógenos

Etapas	Finalidad
1. Formulación del problema y determinación de los peligros	Señalar todos los posibles peligros relacionados con el agua de consumo que tendrían consecuencias perjudiciales para la salud pública, así como sus vías de transmisión de la fuente o fuentes al consumidor o consumidores
2. Evaluación de la exposición	Determinar el tamaño y la naturaleza de la población expuesta, así como la vía, magnitud y duración de la exposición
3. Evaluación de la relación entre dosis y respuesta	Caracterizar la relación entre la exposición y la incidencia del efecto sobre la salud
4. Caracterización de los riesgos	Integrar la información sobre exposición, relación entre dosis y respuesta e intervenciones sanitarias para calcular la magnitud del problema de salud pública y evaluar su variabilidad e incertidumbre

Fuente: Adaptación de Haas *et al.* (1999).

Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición consiste en el cálculo del número de microbios patógenos a los que se expone una persona, principalmente por ingestión. La evaluación de la exposición es una actividad de predicción basada frecuentemente en juicios subjetivos. Conlleva, inevitablemente, incertidumbre y debe tener en cuenta la variabilidad de factores como las concentraciones de microorganismos (que varían en el tiempo), los volúmenes ingeridos, etcétera.

La exposición puede considerarse en términos de una dosis única de agentes patógenos ingerida por un consumidor en un momento determinado, o bien en términos de la cantidad total ingerida en varias exposiciones (por ejemplo, a lo largo de un año). Se determina en función de la concentración de microbios en el agua de consumo y del volumen de agua consumida.

Rara vez es posible o pertinente medir directamente y de forma sistemática la concentración de agentes patógenos presentes en el agua de consumo. Lo habitual es medir las concentraciones en las aguas de origen, o suponer su valor, y aplicar reducciones estimadas de las concentraciones —por ejemplo, debidas al tratamiento del agua— para calcular la concentración en el agua consumida. Si se mide la concentración de agentes patógenos, es mejor, por lo general, hacerlo donde es máxima (generalmente en las aguas de origen). La reducción de la concentración de agentes patógenos lograda mediante la

aplicación de sucesivas medidas de control se determina generalmente por medio de indicadores, como *E. Coli*, en el caso de las bacterias entéricas patógenas (véase también el documento complementario *Water Treatment and Pathogen Control*; apartado 1.3).

El otro componente de la evaluación de la exposición, que es independiente del agente patógeno objeto de evaluación, es el volumen de agua no hervida consumida por la población, teniendo en cuenta las variaciones de los hábitos de consumo entre personas diferentes y, sobre todo, entre grupos de riesgo diferentes. En la evaluación de los riesgos derivados de peligros microbianos, es importante basarse en el volumen de agua no hervida consumida, tanto directamente como en la elaboración de alimentos, ya que el calentamiento del agua inactivará rápidamente los agentes patógenos que contenga. Este volumen es menor que el utilizado para determinar los valores de referencia de sustancias químicas y las metas relativas a la calidad del agua.

La exposición diaria de un consumidor puede calcularse multiplicando la concentración de agentes patógenos en el agua de consumo por el volumen de agua consumida. Para los fines de las Guías, se supone un consumo diario de 1 litro de agua de consumo no hervida.

Evaluación de la relación entre dosis y respuesta

La probabilidad de que la exposición a uno o más organismos patógenos ocasione un efecto perjudicial para la salud se determina mediante un modelo de relación entre dosis y respuesta. Los datos disponibles sobre relaciones entre dosis y respuesta proceden principalmente de estudios con voluntarios adultos sanos. Varios subgrupos de población, como los niños, los ancianos y las personas con inmunodeficiencia, son más vulnerables a las enfermedades infecciosas; sin embargo, no se dispone actualmente de datos que lo tengan adecuadamente en cuenta.

Conceptualmente, el modelo de infección se basa en la observación de que la probabilidad de infección como consecuencia de la exposición a la dosis descrita es función de las probabilidades de una serie de acontecimientos. Para que se produzca un caso de infección, la persona infectada deberá haber ingerido uno o más agentes patógenos viables; además, uno o más de los agentes patógenos ingeridos deberá haber sobrevivido en el organismo del hospedador. Un concepto importante es el principio de infectividad por un único agente patógeno: que es posible, aunque la probabilidad pueda ser baja, que incluso un único microorganismo pueda producir una infección y hacer enfermar a la persona infectada. Este concepto sustituye al concepto de dosis infecciosa (mínima) utilizado con frecuencia en la bibliografía menos reciente (véase el documento complementario *Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua*; apartado 1.3).

En general, se considera que si los agentes patógenos están dispersos uniformemente en el agua, su distribución puede describirse mediante una distribución de Poisson. Si la probabilidad de supervivencia e infección de cualquier microorganismo individual es la misma, la relación entre dosis y respuesta se simplifica mediante una función de tipo exponencial. No obstante, si la probabilidad individual de infección es heterogénea, la relación entre dosis y respuesta será de tipo beta-Poisson, en la que la «beta» representa la distribución de las probabilidades individuales entre agentes patógenos (y hospedadores). Con niveles de exposición bajos, como los típicos del agua de consumo, el modelo de relación entre dosis y respuesta es aproximadamente lineal y puede representarse simplemente como la probabilidad de infección resultante de la exposición a un único microorganismo (véase el documento complementario *Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua*; apartado 1.3).

Caracterización de los riesgos

La caracterización de los riesgos reúne diversos tipos de datos: exposición a agentes patógenos, relación entre dosis y respuesta, gravedad de la enfermedad y carga de morbilidad.

La probabilidad de infección puede calcularse como el producto de la exposición por el agua de consumo y la probabilidad de infección por exposición a un único microorganismo. La probabilidad de infección diaria se multiplica por 365 para calcular la probabilidad de infección anual. En este cálculo, suponemos que las diferentes exposiciones son independientes; es decir, que no se genera inmunidad protectora. Esta simplificación únicamente está justificada para niveles de riesgo bajos.

No todas las personas infectadas contraerán la enfermedad clínica; la mayoría de los agentes patógenos generan habitualmente infecciones asintomáticas. El porcentaje de personas infectadas que sufrirán la enfermedad clínica es función del agente patógeno, pero también de otros factores, como el estado inmunitario del hospedador. El riesgo de enfermar anual se determina multiplicando la probabilidad de infección por la probabilidad de enfermar en caso de infección.

Las cifras bajas del cuadro 7.3 pueden interpretarse como indicativas de la probabilidad de que una persona contraiga la enfermedad en un año determinado. Por ejemplo, un riesgo de enfermar por infección de *Campylobacter* de $2,5 \times 10^{-4}$ al año indica que, por término medio, 1 de cada 4000 consumidores de agua de consumo contraerían campilobacteriosis por consumir dicha agua.

Cuadro 7.3 Relación entre carga de morbilidad tolerable asociada a agentes patógenos de referencia y calidad del agua de origen: ejemplo de cálculo

Agua de río (contaminada por residuos humanos y animales)		<i>Cryptosporidium</i>	<i>Campylobacter</i>	Rotavirus ^a
Calidad del agua bruta (C _R)	Microorganismos por litro	10	100	10
<i>Efecto del tratamiento necesario para alcanzar un nivel de riesgo tolerable (T%)</i>	<i>Reducción porcentual</i>	99,994%	99,99987%	99,99968%
Calidad del agua de consumo (C _D)	Microorganismos por litro	$6,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-5}$
Consumo de agua sin hervir (V)	Litros al día	1	1	1
Exposición por el agua de consumo (E)	Microorganismos al día	$6,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-5}$
Relación entre dosis y respuesta (r)	Probabilidad de infección, por microorganismo	$4,0 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-1}$
Riesgo de infección (P _{inf,d})	Diario	$2,5 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-6}$	$8,5 \times 10^{-6}$
Riesgo de infección (P _{inf,y})	Anual	$9,2 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-4}$	$3,1 \times 10^{-3}$
Riesgo de enfermar (diarrea) habiéndose producido infección (P _{ill,inf})		0,7	0,3	0,5
Riesgo de enfermar (diarrea) (P _{ill})	Anual	$6,4 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-3}$
Carga de morbilidad (db)	AVAD por caso	$1,5 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-2}$
Proporción de la población vulnerable (f _s)	Porcentaje de población	100%	100%	6%
Carga de morbilidad (DB)	AVAD anuales	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
Fórmulas:	$C_D = C_R \times (1 - T\%)$			
	$E = C_D \times V$			
	$P_{inf,d} = E \times r$			

^a Datos de regiones con ingresos altos. En las regiones con ingresos bajos la gravedad suele ser mayor, pero no es probable que el agua de consumo sea la vía de transmisión predominante.

La magnitud «años de vida ajustados en función de la discapacidad» (AVAD) permite traducir el riesgo de contraer una enfermedad específica a unidades de carga de morbilidad por caso. Esta magnitud debe reflejar, además de los efectos de los desenlaces agudos (por ejemplo, diarrea), la mortalidad y los efectos de desenlaces más graves (por ejemplo, el síndrome de Guillain-Barré asociado a *Campylobacter*). La carga de morbilidad por caso es muy variable. Por ejemplo, en regiones con ingresos bajos, con altas tasas de mortalidad en la niñez, la carga de morbilidad por 1000 casos de diarrea por rotavirus es de 480 AVAD. No obstante, en regiones con ingresos altos, donde la gran mayoría de la población tiene acceso a instalaciones hospitalarias, es de sólo 14 AVAD por 1000 casos (véase el documento complementario *Quantifying Public Health Risk in the WHO Guidelines for Drinking-water Quality*; apartado 1.3). Debido a esta diferencia considerable de carga de morbilidad, para reducir el riesgo a niveles iguales (expresados en AVAD anuales), los requisitos de tratamiento deben ser mucho más rigurosos, para la misma calidad del agua de origen, en las regiones con ingresos bajos. Idóneamente, las estimaciones generales de carga de morbilidad del cuadro 7.3 deberían adaptarse a las situaciones nacionales específicas. En el cuadro 7.3 no se tienen en cuenta los efectos en personas con inmunodeficiencia (por ejemplo, de la criptosporidiosis en enfermos de VIH/SIDA), que en algunos países constituyen una proporción significativa de la población. El apartado 3.3.3 proporciona información adicional sobre la magnitud AVAD y sobre cómo se aplica para determinar un nivel de riesgo de referencia.

En el caso de algunos agentes patógenos, es posible que sólo una parte de la población sea vulnerable, porque la inmunidad generada tras un episodio inicial de infección o enfermedad puede proporcionar una protección vitalicia. Son ejemplos de tales agentes patógenos el virus de la hepatitis A y los rotavirus. Se considera que en los países en desarrollo todos los niños mayores de cinco años son inmunes a los rotavirus debido a la exposición reiterada a los mismos en los primeros años de vida. Así, por término medio, el 17% de la población de los países en desarrollo es vulnerable a enfermedades

ocasionadas por rotavirus. En países desarrollados, la infección por rotavirus es también común en los primeros años de vida, y la enfermedad se diagnostica principalmente en niños de corta edad, pero la proporción de niños de corta edad en el conjunto de la población es menor; por ello, en los países desarrollados es vulnerable un promedio del 6% de la población.

La incertidumbre de la estimación del riesgo es consecuencia de la incertidumbre y la variabilidad de los datos obtenidos en las diversas etapas de la evaluación de riesgos. Idóneamente, los modelos de evaluación de riesgos deberían tener en cuenta esta variabilidad e incertidumbre, aunque aquí se ofrecen únicamente estimaciones puntuales (véase a continuación).

Es importante elegir la estimación puntual más adecuada para cada una de las variables. Según se deduce de consideraciones teóricas, los riesgos son directamente proporcionales a la media aritmética de las dosis ingeridas. Por ello, se recomienda el uso de medias aritméticas de variables como la concentración de agentes patógenos en el agua bruta, la tasa de eliminación mediante tratamiento y el consumo de agua de consumo. Esta recomendación difiere de la práctica habitual de los microbiólogos e ingenieros de convertir las concentraciones y efectos de los tratamientos en valores logarítmicos y basar los cálculos o las especificaciones en la escala logarítmica. Estos cálculos generan estimaciones de la media geométrica y no de la media aritmética, y dichas estimaciones pueden subestimar el riesgo significativamente. Por consiguiente, para analizar los datos de lugares específicos puede ser preciso basar los cálculos en los datos brutos en lugar de en los valores logarítmicos notificados.

7.2.3 Formulación de metas relativas a la eficacia basadas en la evaluación de riesgos

El procedimiento descrito en el apartado anterior sirve para calcular el riesgo para el conjunto de la población, teniendo en cuenta la calidad del agua de origen y el efecto de las medidas de control. Este valor puede compararse con el nivel de riesgo de referencia (véase el apartado 3.3.2) o con un nivel de riesgo tolerable determinado a nivel local. Los cálculos permiten cuantificar el grado de protección o tratamiento del agua de origen necesario para lograr un nivel de riesgo aceptable especificado y analizar el efecto estimado de modificaciones en las medidas de control.

Las metas relativas a la eficacia suelen aplicarse a la eficacia de los tratamientos, es decir, para determinar la reducción de la carga microbiana necesaria para garantizar la inocuidad del agua. Una meta relativa a la eficacia puede aplicarse a un sistema específico (es decir, pueden tenerse en cuenta las características específicas del agua de origen) o general (por ejemplo, suponer unas características de calidad del agua de origen comunes a todos los sistemas de un determinado tipo o que se alimentan de agua de un determinado tipo de fuente) (véase también el documento complementario *Water Treatment and Pathogen Control*; apartado 1.3).

La figura 7.2 ilustra las metas relativas a la eficacia de los tratamientos correspondientes a diversos agentes patógenos presentes en el agua bruta. Por ejemplo, para una concentración de 10 microorganismos por litro de agua de origen, la meta relativa a la eficacia será una reducción de 4,2 en escala logarítmica (del 99,994%) para *Cryptosporidium*, o de 5,5 en escala logarítmica (del 99,99968%) para rotavirus en regiones con ingresos altos (véase también el cuadro 7.4, a continuación). La diferencia entre las metas relativas a la eficacia correspondiente a rotavirus en países con ingresos altos y la correspondiente a países con ingresos bajos (5,5 y 7,6 unidades logarítmicas, respectivamente; figura 7.2) se debe a que la gravedad de la enfermedad provocada por este microorganismo es diferente en uno y otro tipo de países. En países con ingresos bajos, la tasa de letalidad en la niñez es relativamente alta y, por consiguiente, la carga de morbilidad es mayor. Además, en los países con ingresos bajos, es mayor la proporción de la población menor de cinco años, vulnerable a la infección por rotavirus.

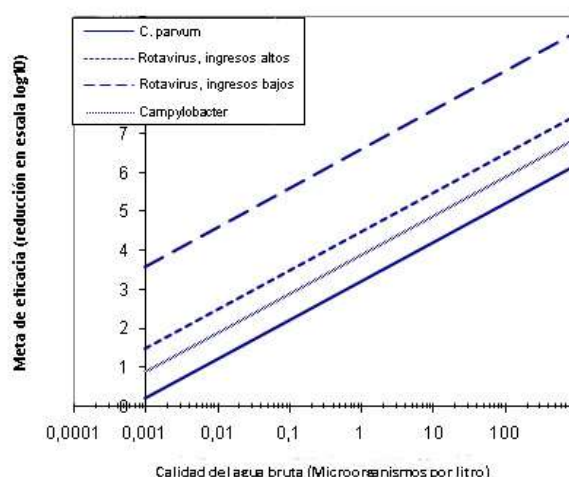


Figura 7.2 Metas de eficacia correspondientes a bacterias, virus y protozoos patógenos seleccionados, con respecto a la calidad del agua bruta (para alcanzar un valor de 10^{-6} AVAD por persona y año)

El cálculo de estas metas relativas a la eficacia se describe en el cuadro 7.4, que ofrece un ejemplo de los datos y cálculos que se utilizarían normalmente para construir un modelo de evaluación de los riesgos correspondientes a agentes patógenos transmitidos por el agua. El cuadro presenta datos correspondientes a agentes patógenos representantes de los tres grupos principales (bacterias, virus y protozoos) de diversas fuentes. La finalidad de estos ejemplos de cálculo es determinar el nivel de riesgo de referencia de 10^{-6} AVAD por persona y año, según se describe en el apartado 3.3.3. Los datos del cuadro ilustran los cálculos necesarios para determinar un valor estimado del riesgo y no son valores de referencia.

Cuadro 7.4 Metas de protección de la salud derivadas del ejemplo de cálculo del cuadro 7.3

	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Campylobacter</i>	Rotavirus ^a
Microorganismos por litro en el agua de origen	10	100	10
Meta sanitaria	10^{-6} AVAD por persona y año	10^{-6} AVAD por persona y año	10^{-6} AVAD por persona y año
Riesgo de enfermedad diarreica ^b	1 por 1600 anual	1 por 4000 anual	1 por 11 000 anual
Calidad del agua de consumo	1 por 1600 litros	1 por 8000 litros	1 por 32 000 litros
Meta de eficacia ^c	4,2 unidades en la escala logarítmica decimal	5,9 unidades en la escala logarítmica decimal	5,5 unidades en la escala logarítmica decimal

^a Datos de regiones con ingresos altos. En las regiones con ingresos bajos la gravedad suele ser mayor, pero no es probable que el agua de consumo sea la vía de transmisión predominante.

^b Para la población vulnerable.

^c La meta de eficacia es una medida de la reducción, en escala logarítmica, de la concentración de agentes patógenos con respecto a la concentración (calidad) en el agua de origen.

7.2.4 Presentación del resultado de la determinación de metas relativas a la eficacia

El cuadro 7.4 presenta algunos datos del cuadro 7.3 en un formato más significativo para los responsables de la gestión de riesgos. Se incluye la concentración media de agentes patógenos en el agua de consumo, a efectos de información. No es una meta relativa a la calidad del agua ni tiene por finalidad fomentar la medición de la concentración de agentes patógenos en el agua tratada. Por ejemplo, una concentración de $6,3 \times 10^{-4}$ criptosporidios por litro (véase el cuadro 7.3) corresponde a 1 ooquiste por 1600 litros (véase el cuadro 7.4). La meta relativa a la eficacia (en la fila «Efecto del tratamiento» del cuadro 7.3), expresada como reducción porcentual, es el dato más importante del cuadro de evaluación de riesgos desde el punto de vista de la gestión. Puede expresarse también como valor de reducción en escala logarítmica. Por ejemplo, una reducción de la concentración de rotavirus del 99,99968% corresponde a 5,5 unidades en la escala logarítmica decimal.

7.2.5 Problemas que plantea la adaptación a las circunstancias nacionales o locales de la formulación de metas de eficacia basadas en la evaluación de riesgos

La elección de agentes patógenos del cuadro 7.4 se basó principalmente en la disponibilidad de datos sobre resistencia al tratamiento del agua, infectividad y carga de morbilidad. Los agentes patógenos elegidos pueden no ser prioritarios en todas las regiones del mundo; sin embargo, normalmente, la selección de otros agentes patógenos no afectaría en gran medida a las conclusiones generales derivadas de la aplicación del modelo.

Siempre que sea posible, en las evaluaciones de este tipo, debería utilizarse información específica de los países o lugares pertinentes. Si no se dispone de datos específicos, los riesgos pueden calcularse de forma aproximada basándose en valores estimados generales (véase el cuadro 7.5, a continuación).

Cuadro 7.5 Ejemplos de concentraciones detectables máximas (por litro) notificadas en publicaciones científicas de agentes patógenos entéricos e indicadores de contaminación fecal en diferentes tipos de aguas de origen

Grupo de agente patógeno o indicador	Lagos y embalses	Ríos y arroyos afectados	Ríos y arroyos silvestres	Aguas subterráneas
<i>Campylobacter</i>	20–500	90–2500	0–1100	0–10
<i>Salmonella</i>	—	3–58000 (3–1000) ^a	1–4	—
<i>E. coli</i> (genérica)	10000–1000000	30000–1000000	6000–30000	0–1000
Virus	1–10	30–60	0–3	0–2
<i>Cryptosporidium</i>	4–290	2–480	2–240	0–1
<i>Giardia</i>	2–30	1–470	1–2	0–1

^a El intervalo menor corresponde a una medición más reciente.

El cuadro 7.4 únicamente tiene en cuenta los cambios en la calidad del agua derivados del tratamiento y no las medidas de protección de la fuente, que contribuyen con frecuencia en gran medida a la inocuidad general, ya que afectan a la concentración de agentes patógenos, a su variabilidad, o a ambas cosas. Además, las estimaciones de riesgos presentadas en el cuadro 7.3 presuponen que la calidad del agua no se degrada en la red de distribución. Estos supuestos pueden no ser realistas en todas las circunstancias, y es aconsejable tomar estos factores en consideración siempre que sea posible.

El cuadro 7.4 presenta únicamente estimaciones puntuales y no tiene en cuenta la variabilidad y la incertidumbre. Los modelos completos de evaluación de riesgos incorporarían dichos factores representando las variables independientes como distribuciones estadísticas en lugar de como estimaciones puntuales. No obstante, la elaboración de modelos de este tipo no está actualmente al alcance de muchos países y escasean los datos necesarios para definir las distribuciones mencionadas. Para obtener este tipo de datos puede ser necesario invertir tiempo y recursos considerables, pero ayudan mucho a conocer la calidad real del agua de origen y la eficacia de su tratamiento.

El grado de tratamiento necesario depende también de los valores adoptados como variables independientes del modelo de evaluación de riesgos (por ejemplo, consumo de agua de consumo o proporción de la población que es vulnerable). La figura 7.3 muestra el efecto de la variación en el consumo de agua de consumo no hervida en las metas de eficacia correspondientes a *Cryptosporidium parvum*. Por ejemplo, para una concentración de 1 ooquiste por litro de agua bruta, las metas de eficacia correspondientes a valores de consumo de 0,25 a 2 litros al día son de 2,6 a 3,5 unidades en la escala logarítmica decimal. Según algunos datos epidemiológicos, en los países desarrollados una proporción significativa de la población de edad superior a cinco años puede no ser inmune a enfermedades causadas por rotavirus. La figura 7.4 muestra el efecto de la variación de la proporción de la población que es vulnerable. Por ejemplo, para una concentración de 10 partículas víricas por litro de agua bruta, la meta de eficacia aumenta de 5,5 a 6,7 cuando la proporción de personas vulnerables aumenta del 6 al 100%.

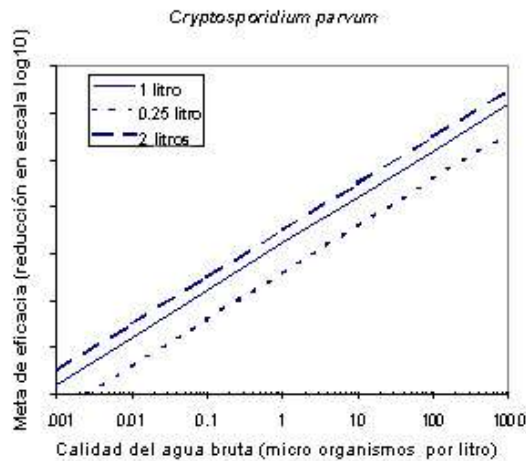


Figura 7.3 Metas de eficacia correspondientes a *Cryptosporidium parvum*, con respecto al consumo diario de agua sin hervir (para alcanzar un valor de 10^{-6} AVAD por persona y año)

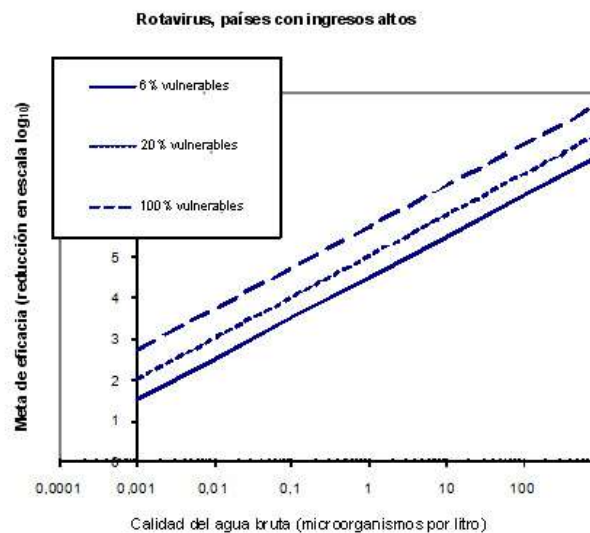


Figura 7.4 Metas de eficacia correspondientes a rotavirus, con respecto a la proporción de la población que es vulnerable a la enfermedad (para alcanzar un valor de 10^{-6} AVAD por persona y año)

7.2.6 Metas sanitarias

En los planes de seguridad del agua (PSA) elaborados para intervenciones especificadas de mejora de la calidad del agua en comunidades y hogares, pueden aplicarse metas sanitarias relativas a la reducción de la morbilidad en una comunidad. Estas metas señalarían las reducciones de la morbilidad que se prevé lograr en las comunidades en las que se aplican las intervenciones.

Para determinar las medidas de mejora de la calidad del agua prioritarias, es preciso centrarse en aquellos aspectos que se calcula que contribuyen en una proporción superior a, por ejemplo, el 5% a la carga de morbilidad de una enfermedad dada (por ejemplo, el 5% de los casos de diarrea). En muchos lugares del mundo, la ejecución de una medida de fomento de la calidad del agua que mejore previsiblemente la salud en más del 5% se consideraría extremadamente deseable. En situaciones con carga de morbilidad alta, la aplicación de medidas eficaces puede suponer una demostración directa de las ventajas para la salud derivadas de la mejora de la calidad del agua —evaluadas, por ejemplo, mediante la

disminución de los recuentos de *E. coli* en el lugar de consumo—, lo que sería un instrumento muy eficaz para poner de manifiesto un primer avance en un proceso de mejora progresiva de la seguridad del agua.

Cuando se determina como meta sanitaria una reducción especificada y cuantificada de la morbilidad, puede ser aconsejable realizar una vigilancia activa y continua de la salud pública en comunidades representativas, en lugar de basarse en una vigilancia pasiva.

7.3 Presencia de agentes patógenos en el agua y su tratamiento

Según se explicó en el apartado 4.1, en la evaluación del sistema se determina si la cadena de suministro de agua de consumo, en su conjunto, puede suministrar agua cuya calidad sea acorde con las metas establecidas. Para ello, es preciso conocer la calidad del agua de origen y la eficacia de las medidas de control.

Es fundamental conocer la presencia de agentes patógenos en las aguas de origen, ya que facilita la selección de la fuente de mayor calidad para alimentar el sistema de abastecimiento de agua de consumo y permite determinar los números y concentraciones de agentes patógenos en las aguas de origen y las necesidades de tratamiento del agua para cumplir las metas de protección de la salud establecidas en un PSA.

La validación (véanse los apartados 2.1.2 y 4.1.7) de las medidas de control contribuye a conocer su eficacia. Además de para garantizar que el tratamiento logrará alcanzar los objetivos deseados (metas de eficacia), la validación es importante para determinar aspectos de la eficacia que pueden mejorarse (por ejemplo, comparando la eficacia alcanzada con la que, según se ha comprobado, puede alcanzarse mediante la ejecución correcta de los procesos).

7.3.1 Presencia de agentes patógenos

La presencia de agentes patógenos y de microorganismos indicadores en fuentes de aguas subterráneas y superficiales depende de varios factores, como las características físicas y químicas intrínsecas de la zona de captación, y la magnitud y diversidad de las actividades humanas y fuentes animales que liberan patógenos al medio ambiente.

En las aguas superficiales, las fuentes de agentes patógenos pueden ser puntuales, como los desbordamientos de los sistemas municipales de alcantarillado y conducción de aguas pluviales urbanas; y no puntuales, como el agua de escorrentía contaminada procedente de zonas agrícolas y de zonas con sistemas de saneamiento que transcurren por fosas sépticas y letrinas. Otras fuentes son la fauna silvestre y el acceso directo del ganado a masas de agua superficiales. La concentración de muchos de los agentes patógenos presentes en masas de agua superficiales se reducirá por efecto de la dilución, la sedimentación y la destrucción de los patógenos debida a efectos medioambientales (calor, luz solar, depredación, etc.).

Las aguas subterráneas son frecuentemente menos vulnerables a la influencia directa de las fuentes de contaminación, debido a los efectos de barrera que ejercen el terreno que las recubre y su zona vadosa. La contaminación de las aguas subterráneas es más frecuente en los lugares en los que han sido alteradas estas barreras protectoras, permitiendo la contaminación directa, por ejemplo a través de pozos contaminados o abandonados, o por fuentes de contaminación subterráneas, como letrinas y conducciones de alcantarillado. No obstante, varios estudios han mostrado la presencia de agentes patógenos y microorganismos indicadores en aguas subterráneas, incluso en profundidad y en ausencia de circunstancias de peligro como las mencionadas, sobre todo cuando la contaminación superficial es intensa, por ejemplo por el abonado de tierras con estiércol o la presencia de otras fuentes de materia fecal derivadas de la ganadería intensiva (por ejemplo, parcelas de engorde). Los efectos de estas fuentes de contaminación pueden reducirse en gran medida mediante, por ejemplo, medidas de protección de los acuíferos, y la construcción y diseño correctos de pozos.

Si desea obtener información adicional sobre las fuentes de agentes patógenos y los factores fundamentales que los afectan, consulte los documentos complementario *Protecting Surface Waters for Health* y *Protecting Groundwaters for Health* (apartado 1.3).

El cuadro 7.5 presenta valores estimados de concentraciones máximas de patógenos entéricos y de indicadores microbianos en diferentes tipos de aguas superficiales y subterráneas, obtenidos principalmente del examen de datos publicados. Se han presentado los valores máximos porque representan situaciones de mayor riesgo y, por consiguiente, mayores grados de vulnerabilidad. El cuadro incluye dos categorías de datos correspondientes a ríos y arroyos: uno para fuentes de abastecimiento afectadas y otro para fuentes menos afectadas. Diversas publicaciones, incluidos varios artículos citados en Dangendorf *et al.* (2003), ofrecen información más detallada sobre estos datos.

Los datos del cuadro 7.5 constituyen una orientación útil acerca de las concentraciones de agentes patógenos entéricos y microorganismos indicadores presentes en diversas fuentes. No obstante, los datos presentan varias limitaciones y fuentes de incertidumbre, como las siguientes:

- no se conoce la relación entre los lugares de toma de muestras y las fuentes de contaminación;
- problemas relativos a la sensibilidad de las técnicas analíticas, particularmente las utilizadas para virus y protozoos; y
- no se conoce la viabilidad ni la capacidad de infectar al ser humano de los ooquistes de *Cryptosporidium*, de los quistes de *Giardia* ni de los virus detectados en los diferentes estudios, porque los diversos métodos utilizados (por ejemplo, microscopía o análisis molecular o de ácidos nucleicos) no se basan en el cultivo de los microorganismos.

Si bien el cuadro proporciona una indicación de las concentraciones posibles en fuentes de agua, la forma más exacta, con mucho, de determinar los números y concentraciones de agentes patógenos en cuencas de captación y otras fuentes de agua específicas es analizar la calidad del agua durante cierto periodo, asegurándose de incluir las variaciones estacionales y las debidas a acontecimientos puntuales, como tormentas. Se recomienda, siempre que sea posible, la medición directa de los agentes patógenos e indicadores en las aguas de origen específicas para las que se está elaborando un PSA y determinándose la presencia de patógenos, ya que se obtendrán así las estimaciones más exactas de números y concentraciones de microorganismos.

7.3.2 Tratamiento

En el caso de aguas de calidad muy alta —por ejemplo, las aguas subterráneas de acuíferos confinados— pueden utilizarse la protección del agua de origen y del sistema de distribución como medidas principales de control para el suministro de agua inocua. Sin embargo, lo más frecuente es que sea necesario someter el agua a tratamiento para retirar o destruir los microorganismos patógenos. En muchos casos (por ejemplo, con aguas superficiales de calidad deficiente) es preciso aplicar múltiples etapas de tratamiento, incluidas, por ejemplo, la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El cuadro 7.6 ofrece información resumida sobre los procesos de tratamiento comúnmente aplicados, ya sea de forma independiente o combinados, para reducir la carga microbiana.

Cuadro 7.6 Reducciones de la carga de bacterias, virus y protozoos logradas mediante tratamientos del agua típicos y mejorados

Tratamiento	Grupo de microbios entéricos patógenos	Tasa de eliminación de referencia	Tasa de eliminación máxima posible
Pretratamiento			
Prefiltros	Bacterias	50%	Hasta el 95% si se protegen contra los picos de turbidez mediante un filtro dinámico o si se utilizan únicamente cuando están maduros
	Virus	No hay datos	
	Protozoos	No hay datos; es probable cierto grado de eliminación	La eficacia de eliminación de protozoos probablemente sea equivalente a la de reducción de la turbidez
Microtamizado (<i>microstraining</i>)	Bacterias, virus y protozoos	Cero	Generalmente ineficaz
Almacenamiento aislado de la corriente o en la orilla	Todos	Puede producirse un grado significativo de recontaminación que se sumaría al nivel de contaminación del agua de origen; la calidad puede deteriorarse por el crecimiento de algas	Eliminación equivalente al 90% si se evita la entrada de agua cuando su turbidez es máxima; mediante el almacenamiento en compartimentos se logran tasas de eliminación de 15 a 230 veces mayores
	Bacterias	Cero (supone la existencia de cortocircuitos)	Eliminación del 90% en 10 a 40 días de tiempo de retención efectivo
	Virus	Cero (supone la existencia de cortocircuitos)	Eliminación del 93% en 100 días de tiempo de retención efectivo
	Protozoos	Cero (supone la existencia de	Eliminación del 99% en 3

		cortocircuitos)	semanas de tiempo de retención efectivo
Filtración de orilla	Bacterias	99,9% tras 2 min. 99,99% tras 4 min. (mínimo basado en la eliminación de virus)	
	Virus	99,9% tras 2 min. 99,99% tras 4 min.	
	Protozoos	99,99%	
Coagulación, floculación, sedimentación			
Clarificación convencional	Bacterias	30%	90% (en función del coagulante, el pH, la temperatura, la alcalinidad y la turbidez)
	Virus	30%	70% (mismos factores)
	Protozoos	30%	90% (mismos factores)
Clarificación de caudal alto	Bacterias	Al menos 30%	
	Virus	Al menos 30%	
	Protozoos	95%	99,99% (si se utiliza el polímero de capa adecuado)
Flotación por aire disuelto	Bacterias	No hay datos	
	Virus	No hay datos	
	Protozoos	95%	99,9% (en función del pH, la dosis de coagulante, el tiempo de floculación y la tasa de recirculación)
Ablandamiento con cal	Bacterias	20% a pH 9,5 durante 6 h a 2–8 °C	99% a pH 11,5 durante 6 h a 2–8 °C
	Virus	90% a pH < 11 durante 6 h	99,99% a pH > 11, en función del virus y del tiempo de sedimentación
	Protozoos	Inactivación baja	99% mediante sedimentación por precipitación e inactivación a pH 11,5
Intercambio de iones			
	Bacterias	Cero	
	Virus	Cero	
	Protozoos	Cero	
Filtración			
Filtración granular de caudal alto	Bacterias	No hay datos	99% en condiciones de coagulación óptimas
	Virus	No hay datos	99,9% en condiciones de coagulación óptimas
	Protozoos	70%	99,9% en condiciones de coagulación óptimas
Filtración lenta en arena	Bacterias	50%	99,5% en condiciones óptimas de maduración, limpieza y relleno y con ausencia de cortocircuitos
	Virus	20%	99,99% en condiciones óptimas de maduración, limpieza y relleno y con ausencia de cortocircuitos
	Protozoos	50%	99% en condiciones óptimas de maduración, limpieza y relleno y con ausencia de cortocircuitos
Filtración de precapa, con tierra de diatomeas y con perlita	Bacterias	30–50%	96–99,9% con pretratamiento químico con coagulantes o polímeros
	Virus	90%	98% con pretratamiento químico con coagulantes o polímeros
	Protozoos	99,9%	99,99%, en función de la calidad del medio y del caudal de filtración
Filtración de membrana:	Bacterias	99,9–99,99%, con un	

microfiltración		pretratamiento adecuado y si se conserva íntegra la membrana
	Virus	<90%
	Protozoos	99,9–99,99%, con un pretratamiento adecuado y si se conserva íntegra la membrana
Filtración de membrana: ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa	Bacterias	Eliminación completa, con un pretratamiento adecuado y si se conserva íntegra la membrana
	Virus	Eliminación completa con nanofiltros, con ósmosis inversa y con ultrafiltros de menor tamaño de poros, con un pretratamiento adecuado y si se conserva íntegra la membrana
	Protozoos	Eliminación completa, con un pretratamiento adecuado y si se conserva íntegra la membrana
Desinfección		
Cloro	Bacterias	Ct ₉₉ : 0,08 mg·min/l a 1–2 °C, pH 7; 3,3 mg·min/l a 1–2 °C, pH 8,5
	Virus	Ct ₉₉ : 12 mg·min/l a 0–5 °C; 8 mg·min/l a 10 °C; ambos a pH 7–7,5
	Protozoos	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 230 mg·min/l a 0,5 °C; 100 mg·min/l a 10 °C; 41 mg·min/l a 25 °C; todos a pH 7–7,5
Monocloramina	Bacterias	No destruye <i>Cryptosporidium</i> Ct ₉₉ : 94 mg·min/l a 1–2 °C, pH 7; 278 mg·min/l a 1–2 °C, pH 8,5
	Virus	Ct ₉₉ : 1240 mg·min/l a 1 °C; 430 mg·min/l a 15 °C; ambos a pH 6–9
	Protozoos	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 2550 mg·min/l a 1 °C; 1000 mg·min/l a 15 °C; ambos a pH 6–9
Dióxido de cloro	Bacterias	No inactiva <i>Cryptosporidium</i> Ct ₉₉ : 0,13 mg·min/l a 1–2 °C, pH 7; 0,19 mg·min/l a 1–2 °C, pH 8,5
	Virus	Ct ₉₉ : 8,4 mg·min/l a 1 °C; 2,8 mg·min/l a 15 °C, ambos a pH 6–9
	Protozoos	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 42 mg·min/l a 1 °C; 15 mg·min/l a 10 °C; 7,3 mg·min/l a 25 °C; todos a pH 6–9
Ozono	Bacterias	<i>Cryptosporidium</i> Ct ₉₉ : 40 mg·min/l a 22 °C, pH 8
	Bacterias	Ct ₉₉ : 0,02 mg·min/l a 5 °C, pH 6–7
	Virus	Ct ₉₉ : 0,9 mg·min/l a 1 °C; 0,3 mg·min/l a 15 °C
	Protozoos	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 1,9 mg·min/l a 1 °C;

		0,63 mg·min/l a 15 °C, pH 6-9	
		<i>Cryptosporidium</i>	
		Ct ₉₉ : 40 mg·min/l a 1 °C;	
		4,4 mg·min/l a 22 °C	
Radiación UV	Bacterias	99% de inactivación: 7 mJ/cm ²	
	Virus	99% de inactivación: 59 mJ/cm ²	
	Protozoos	<i>Giardia</i>	99% de inactivación: 5 mJ/cm ²
		<i>Cryptosporidium</i>	99.9% de inactivación: 10 mJ/cm ²

Nota: Ct y UV son para microorganismos en suspensión, no en el seno de partículas ni en biopelículas.

Las reducciones de la carga microbiana indicadas en el cuadro 7.6 corresponden a grupos o categorías generales de microbios: bacterias, virus y protozoos. Esto se debe a que, por lo general, la eficacia de reducción de la carga microbiana de los tratamientos es diferente para cada grupo de microbios, debido a las diferentes propiedades inherentes de los mismos (por ejemplo, su tamaño, la naturaleza de sus capas protectoras exteriores, las propiedades fisicoquímicas de sus superficies, etc.). Dentro de cada grupo de microbios, las diferencias de eficacia de los procesos de tratamiento entre especies, tipos o cepas de microbios específicos son menores. No obstante, estas diferencias existen y el cuadro proporciona estimaciones conservadoras de las reducciones de la carga microbiana basadas en los tipos de microorganismos patógenos más resistentes o persistentes de cada grupo. Los resultados correspondientes a tipos específicos de microbios de un grupo general cuyas tasas de eliminación mediante el tratamiento son considerablemente diferentes se presentan en el cuadro por separado.

El agua de sistemas de abastecimiento sin tuberías, como la obtenida mediante sistemas de captación de agua de lluvia en tejados y la extraída de pozos o manantiales, puede estar frecuentemente contaminada con agentes patógenos. Para que el agua de estas fuentes sea inocua, normalmente deberá ser tratada y almacenarse protegida de la contaminación. Muchos de los procesos de tratamiento del agua utilizados en los hogares son los mismos que los empleados en sistemas de abastecimiento gestionados por comunidades y otros sistemas de abastecimiento de agua entubada (cuadro 7.6). La eficacia de eliminación de microbios de estos procesos de tratamiento en el ámbito doméstico es probablemente similar a la tasa de referencia indicada en el cuadro 7.6. No obstante, existen otras técnicas de tratamiento de agua recomendadas para uso en sistemas de abastecimiento de agua sin tuberías en el ámbito doméstico que no se utilizan normalmente para sistemas de abastecimiento de agua entubada.

Se proporciona información adicional más detallada sobre estos procesos de tratamiento del agua, su operación y su eficacia de reducción de la concentración de agentes patógenos en los documentos complementarios siguientes: para sistemas de abastecimiento de agua entubada: *Water Treatment and Pathogen Control*; para sistemas de abastecimiento de agua sin tuberías (principalmente domésticos): *Managing Water in the Home*; véase el apartado 1.3.

7.4 Verificación de la inocuidad y calidad microbiológicas

Los agentes patógenos tienen varias propiedades que los distinguen de otros contaminantes del agua de consumo:

- Son componentes discretos y no están en solución.
- Con frecuencia forman agregados, o se adhieren a sólidos suspendidos en el agua.
- La probabilidad de infección por la exposición a un agente patógeno depende de su invasividad y virulencia, así como de la inmunidad de la persona expuesta.
- Si la infección arraiga, los agentes patógenos se multiplican en su hospedador. Ciertas bacterias patógenas son también capaces de multiplicarse en alimentos o bebidas, de modo que perpetúan o incluso aumentan las posibilidades de infección.
- A diferencia de muchos agentes químicos, la relación entre dosis y respuesta de los agentes patógenos no es acumulativa.

Las bacterias indicadoras de contaminación fecal, incluida *E. coli*, son parámetros importantes en la verificación de la calidad microbiológica del agua (véase también el apartado 2.2.1). Esta verificación

de la calidad del agua complementa el monitoreo operativo y las evaluaciones de los riesgos de contaminación, por ejemplo, mediante auditoría de las plantas de tratamiento, evaluación del control de los procesos e inspección sanitaria.

Para proporcionar resultados significativos, las bacterias indicadoras de contaminación fecal deben cumplir determinados criterios. Deben estar presentes universalmente, en concentraciones elevadas, en las heces humanas y de otros animales de sangre caliente, ser fácilmente detectables mediante métodos sencillos y no proliferar en aguas naturales.

El microorganismo elegido como indicador de contaminación fecal es *E. coli*. En muchas circunstancias, en lugar de *E. coli* puede analizarse la presencia de bacterias coliformes termotolerantes.

El agua destinada al consumo humano no debería contener microorganismos indicadores. En la mayoría de los casos, el análisis de la presencia de bacterias indicadoras proporciona un alto grado de seguridad, ya se encuentran en cantidades abundantes en aguas contaminadas.

El agua de consumo tratada puede no contener *E. coli* y sin embargo contener agentes patógenos más resistentes a las condiciones medioambientales o técnicas de tratamiento convencionales. Estudios retrospectivos de epidemias de enfermedades transmitidas por el agua y avances en el conocimiento del comportamiento de los agentes patógenos en el agua han mostrado que la confianza sistemática en hipótesis relacionadas con la ausencia o presencia de *E. coli* no garantiza la adopción de decisiones óptimas relativas a la seguridad del agua.

Los protozoos y algunos enterovirus son más resistentes a muchos desinfectantes, incluido el cloro, y pueden seguir siendo viables (y mantener su capacidad patógena) en el agua de consumo tras su desinfección. Otros microorganismos pueden ser indicadores más adecuados de peligros microbianos persistentes, y debería evaluarse su selección como indicadores adicionales a tenor de las circunstancias locales y los conocimientos científicos. Por consiguiente, para verificar la calidad microbiológica del agua puede ser preciso analizar diversos microorganismos, como enterococos intestinales, (esporas de) *Clostridium perfringens* y bacteriófagos.

El cuadro 7.7 indica valores de referencia para la verificación de la calidad microbiológica del agua de consumo. No se deben aplicar valores de referencia individuales tomados directamente de los cuadros, sino que deben utilizarse e interpretarse junto con la información de las presentes Guías y otros documentos complementarios.

Una consecuencia de la diversa vulnerabilidad de las personas a los agentes patógenos es que la exposición a agua de consumo de una calidad particular puede producir efectos sobre la salud diferentes en poblaciones diferentes. Para la determinación de valores de referencia es necesario definir las poblaciones de referencia o, en algunos casos, centrarse en grupos de población vulnerables específicos. Al determinar las normas nacionales, puede ser oportuno que las autoridades nacionales o locales tengan en cuenta las características específicas de las poblaciones afectadas.

Cuadro 7.7 Valores de referencia para la verificación de la calidad microbiológica^a (véase también el cuadro 5.2)

Microorganismos	Valor de referencia
Toda agua destinada a ser bebida	
<i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes ^{b,c}	No detectables en ninguna muestra de 100 ml
Agua tratada que alimenta al sistema de distribución	
<i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes ^b	No detectables en ninguna muestra de 100 ml
Agua tratada presente en el sistema de distribución	
<i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes ^b	No detectables en ninguna muestra de 100 ml

^a Si se detecta *E. coli* debe investigarse inmediatamente su origen.

^b Aunque *E. coli* es el indicador de contaminación fecal más preciso, el recuento de bacterias coliformes termotolerantes es una opción aceptable. En caso necesario, deben realizarse los análisis de confirmación pertinentes. Las bacterias coliformes totales no son indicadores aceptables de la calidad sanitaria de los sistemas de abastecimiento de agua, sobre todo en zonas tropicales donde casi todos los sistemas de abastecimiento de agua no tratada contienen numerosas bacterias que no constituyen un problema sanitario.

^c Se reconoce que en la gran mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua rurales, sobre todo en los países en desarrollo, la contaminación fecal es frecuente. Es preciso, sobre todo en estas circunstancias, establecer metas a medio plazo de mejora progresiva de los sistemas de abastecimiento de agua.

7.5 Métodos de detección de bacterias indicadoras de contaminación fecal

El análisis de las bacterias indicadoras de contaminación fecal proporciona una indicación sensible, aunque no la más rápida, de la contaminación del agua de consumo. Dado que el medio de cultivo y las condiciones de incubación, así como la naturaleza y antigüedad de la muestra de agua, pueden influir en la especie aislada y en el recuento, la exactitud de los análisis microbiológicos puede ser variable. Es, por consiguiente, muy importante normalizar los métodos y los procedimientos de laboratorio para poder aplicar criterios de calidad microbiológica del agua uniformes, entre laboratorios diferentes y a nivel internacional.

Los métodos normalizados internacionales deben evaluarse, antes de adoptarlos, en las circunstancias locales. Existen métodos normalizados establecidos, como los de la ISO (cuadro 7.8), y también métodos de eficacia y fiabilidad equivalentes. Para los exámenes sistemáticos conviene utilizar métodos normalizados establecidos. Sea cual sea el método de detección de *E. coli* o de coliformes termotolerantes elegido, debe considerarse la importancia de «resucitar» o recuperar las cepas dañadas por las condiciones medioambientales o por la acción de desinfectantes.

Cuadro 7.8 Normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) para la detección y recuento de bacterias indicadoras de contaminación fecal en agua

Norma ISO	Título (calidad del agua)
6461-1:1986 (UNE-EN 26461-1:1995)	<i>Detection and enumeration of the spores of sulfite-reducing anaerobes (clostridia) — Part 1: Method by enrichment in a liquid medium</i> (Detección y recuento de los esporos de microorganismos anaerobios sulfito-reductores (clostridia). Parte 1: método por enriquecimiento en un medio líquido.)
6461-2:1986 (UNE-EN 26461-2:1995)	<i>Detection and enumeration of the spores of sulfite-reducing anaerobes (clostridia) — Part 2: Method by membrane filtration</i> (Detección y recuento de los esporos de microorganismos anaerobios sulfito-reductores (clostridia). Parte 2: método de filtración por membrana.)
7704:1985 (UNE 77075:1991)	<i>Evaluation of membrane filters used for microbiological analyses</i> (Evaluación de las membranas filtrantes utilizadas en los análisis microbiológicos.)
7899-1:1984	<i>Detection and enumeration of faecal streptococci – Part 1: Method by enrichment in a liquid medium</i> (sólo en inglés; Detección y recuento de estreptococos intestinales. Parte 1: Método de enriquecimiento en un medio líquido)
7899-2:1984 (UNE-EN ISO 7899-2:2001)	<i>Detection and enumeration of faecal streptococci – Part 2: Method by membrane filtration</i> (Detección y recuento de enterococos intestinales. Parte 2: Método de filtración de membrana.)
9308-1:1990 (UNE-EN ISO 9308-1:2001)	<i>Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive Escherichia coli – Part 1: Membrane filtration method</i> (Detección y recuento de <i>Escherichia coli</i> y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración en membrana.)
9308-2:1990	<i>Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive Escherichia coli – Part 2: Multiple tube (most probable number) method</i> (sólo en inglés; Detección y recuento de microorganismos coliformes, microorganismos coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> presunta. Parte 2: método del tubo múltiple (número más probable)

7.6 Determinación de medidas locales de respuesta a problemas y situaciones de emergencia relativos a la calidad microbiológica del agua

Durante una situación de emergencia en la que se tienen pruebas de contaminación fecal del agua de consumo, puede ser necesario utilizar temporalmente otras fuentes de agua o bien modificar el tratamiento de las fuentes existentes, intensificando la desinfección del agua en la fuente, tras su tratamiento o durante su distribución.

Si no puede mantenerse la calidad microbiológica, puede ser necesario recomendar a los consumidores que hiervan el agua mientras dure la situación de emergencia (véase el apartado 7.6.1). Cuando sea posible reaccionar con rapidez suficiente para impedir que cantidades significativas de agua contaminada lleguen a los consumidores, puede ser preferible efectuar una supercloración y aplicar medidas correctoras inmediatas.

Durante epidemias de enfermedades potencialmente transmitidas por el agua o cuando se detecte la contaminación fecal de un sistema de abastecimiento de agua de consumo, una respuesta inmediata mínima debe ser aumentar la concentración de cloro libre a más de 0,5 mg/l en todo el sistema. Es fundamental que las decisiones se adopten tras consultar a las autoridades de salud pública y, en caso pertinente, a las autoridades civiles (véase también el apartado 8.6).

7.6.1 Recomendaciones de hervir el agua o de evitar su consumo

Los proveedores de agua, conjuntamente con las autoridades de salud pública, deben elaborar protocolos para la promulgación de órdenes de hervir el agua y recomendaciones de evitar su consumo. Los protocolos deben elaborarse antes de que se produzcan incidentes y deben incorporarse a los planes de gestión. Las decisiones de promulgar recomendaciones se realizan frecuentemente en un plazo corto, y el desarrollo de medidas durante un incidente puede complicar la toma de decisiones, dificultar la comunicación y socavar la confianza de la población.

Además de la información descrita en el apartado 4.4.3, los protocolos deben proporcionar la información siguiente:

- criterios que determinarán la promulgación y revocación de las recomendaciones;
- información que debe proporcionarse a la población general y a grupos específicos; y
- actividades afectadas por la recomendación.

Los protocolos deben especificar mecanismos de comunicación de las recomendaciones de hervir el agua o de evitar su consumo. Pueden disponerse mecanismos diferentes en función de la naturaleza del sistema de abastecimiento y del tamaño de la comunidad afectada, por ejemplo:

- comunicados difundidos por televisión, radio, o prensa;
- comunicación, por teléfono, correo electrónico o fax, a centros, grupos comunitarios y autoridades locales específicos;
- colocación de anuncios en lugares bien visibles;
- comunicación en persona; y
- comunicación por correo.

Los métodos elegidos deben proporcionar una garantía razonable de que la recomendación se notifica, a la mayor brevedad posible, a todos los afectados, incluidos los residentes en el lugar, quienes trabajen en el mismo y quienes se encuentren allí de viaje.

Las recomendaciones de hervir agua deben indicar que el agua puede potabilizarse calentándola hasta que hierva vivamente. Tras hervirla, debe dejarse que el agua se enfríe sola, sin añadir hielo. Este procedimiento es eficaz a cualquier altitud y aunque el agua esté turbia.

Deberá considerarse la necesidad de promulgar recomendaciones de hervir el agua cuando se produzcan los siguientes tipos de incidentes:

- deterioro substancial de la calidad del agua de origen;
- averías graves que afectan a los procesos de tratamiento o a la integridad de los sistemas de distribución;
- desinfección insuficiente;
- detección de agentes patógenos o de indicadores de contaminación fecal en el agua de consumo; y
- datos epidemiológicos indicativos de una epidemia originada por el agua de consumo.

La recomendación de hervir el agua es una medida drástica que puede tener consecuencias adversas importantes. Puede tener repercusiones perjudiciales para la salud pública, como lesiones por escaldaduras, y puede generar ansiedad en la población, incluso después de haberse anulado la recomendación. Además, no todos los consumidores cumplirán la recomendación de hervir el agua, ni siquiera al principio; si la recomendación se anuncia con frecuencia o se mantiene durante periodos largos, disminuirá el grado de acatamiento. Por consiguiente, sólo deberán difundirse recomendaciones de hervir el agua después de que la autoridad de salud pública y el equipo responsable de la adopción de medidas en respuesta a incidentes hayan examinado cuidadosamente toda la información y hayan concluido que existe un riesgo permanente para la salud pública superior a los riesgos derivados de la recomendación de hervir el agua. Por ejemplo, si se detecta contaminación microbiana en muestras de agua de consumo, al evaluar la necesidad de promulgar una recomendación de hervir el agua deberán considerarse los factores siguientes:

- fiabilidad y exactitud de los resultados;
- vulnerabilidad a la contaminación del agua de origen;
- pruebas del deterioro de la calidad del agua de origen;
- resultados del monitoreo de la calidad del agua de origen;
- resultados del monitoreo de los procesos de tratamiento y desinfección;
- residuos de desinfectante; e
- integridad física del sistema de distribución.

Debe examinarse la información disponible para determinar la fuente probable de la contaminación y la probabilidad de que ésta vuelva a producirse o persista.

Una vez tomada la decisión de promulgar una recomendación de hervir el agua, ésta debe ser clara y fácil de entender por las personas a las que se dirige, ya que de lo contrario podrían hacer caso omiso. Las recomendaciones deberán incluir normalmente una descripción del problema, de los posibles riesgos para la salud y los correspondientes síntomas, de las actividades a las que afecta, y de las medidas de investigación y correctoras que se han iniciado; deberán, asimismo, indicar el tiempo que, según se prevé, se tardará en resolver el problema. Si la recomendación está relacionada con una epidemia, debería proporcionarse información específica sobre la naturaleza de la epidemia, sobre la enfermedad y sobre la respuesta adoptada en materia de salud pública.

Las recomendaciones de hervir el agua deben señalar los usos del agua de consumo afectados y los no afectados. Por lo general, la recomendación indicará que debe evitarse el uso de agua no hervida para beber, elaborar bebidas frías, hacer hielo, cocinar o lavar alimentos, o lavarse los dientes. Salvo que la contaminación sea intensa, el agua no hervida generalmente será apta para bañarse (siempre que se evite tragar agua) y para lavar la ropa. Una recomendación de hervir el agua podría incluir recomendaciones específicas dirigidas a grupos vulnerables, como mujeres embarazadas y personas que pudieran padecer inmunodeficiencia.

Deben proporcionarse también recomendaciones específicas para diversos tipos de centros, como clínicas dentales, centros de diálisis, consultas médicas, hospitales y otros centros de atención de salud, guarderías infantiles, escuelas, proveedores y fabricantes de alimentos, hoteles, restaurantes y operadores de balnearios y piscinas públicos.

Mientras estén en vigor recomendaciones temporales de hervir el agua o de evitar su uso, debe considerarse el suministro de agua de consumo de otras fuentes, como agua embotellada o a granel. Los protocolos deben señalar otras fuentes de agua y mecanismos para su distribución.

Los protocolos deben especificar los criterios que se aplicarán para revocar las recomendaciones de hervir agua o de evitar su consumo. En función del motivo que impulsó la recomendación, pueden incluirse uno o más de los criterios siguientes:

- pruebas de que los parámetros de calidad del agua de origen vuelven a ser normales;
- arreglo de las averías que afectan a los procesos de tratamiento o a los sistemas de distribución;
- corrección de los fallos de los procesos de desinfección y restauración de los valores normales de concentración residual de desinfectante;
- en los casos en que la recomendación se debió a la detección de contaminación microbiana del agua de consumo, pruebas de la eliminación o inactivación de la contaminación;
- pruebas de que se han realizado purgas o desplazamientos de agua de las cañerías suficientes para retirar el agua potencialmente contaminada y las biopelículas; o
- datos epidemiológicos indicativos de que la epidemia ha finalizado.

Cuando se anulan las recomendaciones de hervir el agua o evitar su consumo, debe notificarse la anulación, por canales similares, a los mismos grupos de población a quienes se informó de la recomendación. Además, debe informarse a los administradores, gestores u ocupantes de grandes edificios y de edificios que cuentan con depósitos de almacenamiento de agua de la necesidad de asegurarse de haber purgado concienzudamente los depósitos y el conjunto de los sistemas de distribución internos antes de recuperar los usos normales del agua.

Las recomendaciones de evitar el consumo de agua, que tienen muchas características comunes con las recomendaciones de hervir el agua pero son menos frecuentes, se aplican cuando el agua contiene contaminantes peligrosos, principalmente contaminantes químicos, que no puede eliminarse hirviéndola (véase el apartado 8.6).

7.6.2 *Medidas tras un incidente*

Es importante investigar adecuadamente cualquier incidente y promover medidas correctoras que eviten que vuelva a producirse. El PSA deberá actualizarse para incorporar la experiencia adquirida. Los resultados de la investigación pueden también ser útiles para diseñar medidas aplicables a en otros sistemas de abastecimiento de agua, para impedir que se produzca un incidente similar en otro lugar. En caso pertinente, las investigaciones epidemiológicas de la autoridad de salud también contribuirán al diseño de medidas futuras.