

Capítulo 1

LA DESINFECCIÓN



Introducción

La historia del desarrollo humano está asociada, en gran medida, al estado sanitario de los distintos grupos que han habitado este planeta. En ocasiones, pestes y plagas, muchas veces aleatorias, coyunturales y únicas, han diezmando a países o regiones enteras. Sin embargo, hay enfermedades que parecen ser tan antiguas como el ser humano y su vigencia y protagonismo son parte de la vida cotidiana. Se trata de las enfermedades diarreicas.

El “*Reporte de Salud Mundial*” de la Organización Mundial de la Salud de fin de siglo XX, ubica a las diarreas como la séptima causa de muerte en el mundo después de las enfermedades coronarias, los accidentes cerebro vasculares, las infecciones respiratorias agudas, el HIV/SIDA, las obstrucciones crónicas pulmonares y las condiciones adversas perinatales. Si bien esa colocación evidencia la importancia de las mismas, el dato de séptima causa de mortalidad queda empalidecido cuando la misma Organización Mundial de la Salud reporta que las diarreas son, de lejos, la primera causa de morbilidad en el ser humano, con cuatro mil millones de casos anuales. Se estima que en todo momento, casi la mitad de la población que habita el mundo en desarrollo está soportando un episodio de diarrea.

Infelizmente, esa prolongada presencia en la vida de los seres humanos ha hecho que se pierda de vista la magnitud y el peso que la misma representa sobre la salud y la calidad de vida de los individuos y sobre la economía de la humanidad en su conjunto. Las diarreas tienen como causas, una deficiente nutrición, la inapropiada disposición de excretas, inadecuadas prácticas higiénicas, y una mala calidad del agua de bebida. Las primeras de esas causas podrían englobarse dentro del contexto de pobreza y de pautas culturales inapropiadas que aquejan a tantos, mientras que el último punto, el de la mala calidad del agua de consumo aparece como una responsabilidad de la ingeniería sanitaria y de otras ciencias asociadas.

Tal como ocurre en los países desarrollados, el tratamiento adecuado y la entrega en condiciones favorables de agua segura, representan uno de los caminos más idóneos para reducir en gran medida las tasas expuestas por la OMS. Dentro de este marco, la desinfección del agua de bebida es clave para la solución del problema. No solo representa un mecanismo apropiado para ello, sino que es un elemento vital dentro de lo que en la visión moderna del tratamiento de agua se conoce como “buena práctica” y también dentro del análisis de riesgo y puntos críticos de control o ARPCC (HACCP en inglés). Ambas propuestas de acción significan que cada etapa del tratamiento del agua debe ser evaluada individualmente y que se deben determinar los puntos críticos o de riesgo para poder controlarlos y eliminar o disminuir su peligro inherente. En ese contexto, la desinfección representa la última etapa del tratamiento. Si se habla de “barreras múltiples”, la desinfección es el postrer resguardo que tiene la salud pública en la producción y distribución del agua de bebida. En los países desarrollados, esta etapa del tratamiento siempre se ha tenido como eje de la calidad microbiológica del agua que se entrega y los resultados han sido claros. Las tasas de esos países son inferiores en varios órdenes de magnitud a las de los países en vías de desarrollo. Como ejemplo pueden citarse los valores de mortalidad por enfermedades diarreicas en Europa (3 por mil) y de África (12,4 por ciento).

Esto reconoce dos factores y dos comentarios. El primero es que en los países desarrollados es obvio que la desinfección está incorporada como un proceso ineludible, fijo y establecido. Es una rutina normal que se ejerce con todo el conocimiento y convicción de lo que representa. Como tal, en esos países, la ingeniería sanitaria, la química, la bioquímica y la toxicología evalúan, desde el punto de vista técnico y en profundidad, las mejores capacidades, las mayores eficiencias y los menores costos. Y desde el punto de vista sanitario y toxicológico ahondan las

características y las relaciones que tienen los desinfectantes y los productos de la desinfección con la salud.

El segundo comentario es que en los países en desarrollo ocurre lo contrario. Los tratamientos de potabilización, sobretodo en áreas rurales, son imprecisos y la mala operación y el escaso mantenimiento están extendidos. Es así que los procesos de desinfección son pobres y no se respeta el papel que cumplen como protección de la salud pública. En 1995, la Organización Panamericana de la Salud realizó una encuesta en América Latina y comprobó que solo 41% de las aguas entregadas a la población por medio de sistemas de producción y distribución recibían una adecuada desinfección.

Dada esa situación, es claro que lo prioritario para unos difiere de lo que es importante para otros. En los países en desarrollo no son tan significativos la investigación ni el control de los productos de la desinfección, pero sí es importante el conocimiento de tecnologías simples, apropiadas y confiables que sean aceptables por los usuarios; con costos reducidos y operación y mantenimiento sencillos y económicos.

Si bien en el campo de la salud de la población, lo ideal es conseguir la perfección o estar lo más cerca de ella, en los países en desarrollo, el sentido común y los pies asentados en la tierra hacen ver que la búsqueda de tal perfección puede ser una utopía; algo casi imposible de lograr. Por ello, se ha incorporado un término que si bien puede generar críticas, es realista y apunta a la flexibilidad necesaria ante las condiciones técnicas, económicas y socioculturales imperantes. Este término es el de “mejoramiento de la calidad”, que tácitamente acepta que si no se puede lograr lo ideal, lo perfecto; entonces al menos un paso en la dirección correcta será mucho mejor que nada.

Lo perfecto en un país desarrollado está conformado por instalaciones impecables, por operadores capacitados y certificados, por un respaldo técnico asegurado y constante, por administraciones sustentables y por una tecnología elaborada, confiable y de última generación. Sin embargo, en las áreas rurales de los países en desarrollo, donde una pequeña población difícilmente tiene personal técnico idóneo, con posible aislamiento geográfico que deja fuera de contexto a respaldos técnicos imprescindibles, con conocimientos que solo permitirán una administración confusa y en general con escasos recursos; lo perfecto es, como se ha mencionado: utópico. Un paso tímido y no completo, pero de todos modos un “mejoramiento de la situación” será la utilización de prácticas de operación adecuadas al nivel cultural del lugar y el uso de tecnología verdaderamente apropiada.

Frente a un equipo controlado por circuitos impresos, con leds de colores y que trabaja con errores de dosificación a la derecha de la coma; una caja de madera con una válvula de inodoro; una botella con un vaso de plástico dentro, un par de electrodos que generan hipoclorito a partir de sal de mesa; una botella colocada al sol; o un simple filtro de arena, son técnicas que pueden parecer ingenuas o pueden ser percibidas como excesivamente simples. Pero en rigor, ellas y otras que se presentarán en las páginas siguientes, son conspicuos representantes del gran caldero de la tecnología apropiada, que como se ha expresado, es un paso en la dirección correcta. Más aun, no debe confundirse su humildad y poco brillo con inseguridad o inaptitud.

Todos los artilugios que se presentan en este manual tienen denominadores comunes: han sido probados, tienen una larga historia de funcionamiento en diversidad de lugares y situaciones y son lo suficientemente precisos como para llevar a la desinfección (y a la calidad del agua) a un nivel de excelencia aceptable.

La propuesta de este libro no se limita a lo que es apropiado o alternativo. Como es un documento que trata no solo de transferencia sino también de información, se presentan además, las tecnologías que se están usando en otros lugares y que conforman parte del conocimiento tecnológico sobre la desinfección que todo experto debe poseer, aunque todavía no tengan aplicación inmediata en el tercer mundo.

Consideraciones sobre la desinfección

Tal como se ha expresado, la desinfección es un proceso clave en cualquier sistema de tratamiento de agua. Por ello, en la producción de agua segura para consumo humano es importante destacar consideraciones especiales antes de su implementación. En las líneas que siguen se habrán de detallar algunas.

Al diseñar un sistema de tratamiento de agua, en especial en el área rural, debe tomarse a la desinfección no como un elemento más, sino como un componente vital del sistema. En muchos casos, quien diseña un sistema de provisión de agua en una pequeña comunidad no solo toma a la ligera la desinfección, sino que hasta prioriza la producción de agua (cantidad), ante la seguridad de la misma (calidad).

Ya se ha comentado que ninguna opción válida dentro de la tecnología apropiada es desechable ni se puede desestimar. Pero sí es importante que en la selección de esa tecnología se tomen en cuenta condicionantes tales como los recursos disponibles y la posibilidad de soporte técnico en los aspectos sociales, económicos y culturales de la comunidad.

Cuando se está diseñando un sistema de desinfección debe entenderse que el mismo no puede estar disociado ni ser incongruente con la planta o sistema donde estará incluido. Por un lado, una planta de tratamiento de microfiltración con sistemas automatizados, energía eléctrica y personal capacitado para la operación y cuidado de la misma, podrá tener una bomba de diafragma o pistón manejada por un microprocesador. No sería en este caso “congruente” tener un sistema hecho con un flotador y un tubo de plástico agujereado dentro de un tanque de asbesto cemento. Por otro lado, si se trata de un sistema muy simple y rural, en donde ni siquiera se cuenta con energía eléctrica, no tendría sentido pensar en incorporar un generador de dióxido de cloro como sistema de desinfección.

Muchas veces, la falla de estos sistemas se debe a la dependencia de la “importación” de productos químicos de otros países o de otras localidades. Esto puede acarrear demoras y discontinuidad, que frecuentemente pasan de ser temporales a permanentes.

En la etapa de selección de la técnica y el sistema de desinfección se deben tener en cuenta sus características y contrastarlas con las características de la planta, el lugar y la comunidad. Es una buena receta tratar de complementar las mejores condiciones de la técnica y del sistema de desinfección con las de la fuente, lugar, sistema, población y sus características culturales. Esto es importante, pues la realidad indica que no hay lugar, sistema ni comunidad que sean perfectos.

Pero también debe reconocerse que no existe el desinfectante o la técnica que sea igualmente ideal o perfecto. Todas las técnicas que se presentan en este manual y que son las que se han desarrollado y se utilizan en todo el mundo, son excelentes, pero no son perfectas. Todas y cada una de ellas pueden sufrir objeciones: que no aniquilan todos los microorganismos, que no sirven para eliminar quistes o parásitos, que no dejan residual en la red, que dependen de productos químicos que no se producen en la comunidad, que producen subproductos de la

desinfección, que son más o menos complicadas, más o menos caras o más o menos difíciles de operar.

Dentro de esas consideraciones, hay que destacar que en el medio rural el agua no siempre va del grifo a la boca del consumidor. En ocasiones se deja en depósitos (baldes y tanques) y en otras los pobladores deben buscarla y acarrearla desde puntos alejados (grifos públicos y fuentes). Esas prácticas hacen que la contaminación de esas aguas sea frecuente. Surge entonces la necesidad de contar con medidas de seguridad luego de la desinfección para hacer frente a esa contaminación posterior. El residual de desinfectante se convierte entonces en una barrera más (y definitivamente en la ulterior) contra la contaminación que casi seguramente ocurrirá dentro de la morada. El resultado de esta observación es que el desinfectante debe dejar un residual en la red y en caso de que no sea así, se deberán utilizar dos desinfectantes, uno primario para desinfectar y otro secundario para proveer el residual.

Otras consideraciones son importantes. Una buena desinfección no debe reemplazar a otras providencias y acciones que tiendan a mejorar la calidad del agua durante su recorrido desde la fuente al usuario. En ocasiones, una buena selección de la fuente permitirá agua más clara y menos contaminada, lo que facilitará el tratamiento.

Además de tener en cuenta la calidad del agua que llega a la planta de tratamiento, también hay que observar la calidad que presenta el fluido antes de entrar en contacto con el desinfectante. En una planta con tratamiento completo, la etapa anterior a la desinfección es la filtración rápida. El agua proveniente de los filtros debe estar en sus mejores condiciones, ya que una baja turbiedad coadyuvará a una más eficiente desinfección.

Por supuesto que hay que abordar el tratamiento de agua como un todo, pero también es necesario considerarlo como una sumatoria de etapas en las que cada una debe ser evaluada, operada y supervisada en forma individual. Esta forma operativa se postula en el método de ARPCC que se ha mencionado.

Operativamente también, muchas veces el proyectista pasa por alto algunos requerimientos que son fundamentales para asegurar una buena desinfección. Para que cualquier desinfectante actúe eficientemente, deberá cumplir los requerimientos de la ecuación $C \times T$, lo que significa que todo desinfectante presentará una determinada concentración (C) y estará en contacto con el agua a desinfectar por un período mínimo de tiempo (T). Un error común es proyectar cámaras que no permiten el tiempo de contacto suficiente, desestimando la simple ecuación que liga el volumen de agua con el caudal y el tiempo requerido por el desinfectante:

$$V = Q \times T$$

Dentro del marco operativo, es importante recalcar la necesidad de que cualquiera que sea el desinfectante o método empleado, debe haber una buena mezcla y dispersión por toda la masa de agua.

Una vez que el sistema se haya instalado y esté en operación, hay que tener en cuenta que en las áreas rurales de la mayoría de los países en desarrollo, casi nunca hay recursos en cantidad y calidad. Por ello, el error más frecuente de los ingenieros o instituciones encargadas de construir el sistema, es inaugurar el mismo y dejar un equipo de desinfección en operación, habiendo capacitado por espacio de una o dos horas al operador y partir para regresar seis meses más tarde y encontrar que la desinfección ya no funciona.

El equipo de desinfección está ligado, como ninguna otra parte del sistema, a la junta de agua, al operador y hasta a los mismos usuarios. Por ello es que se debe encarar una doble actividad, primero de concientización a todo el espectro social (operador, junta de agua o administradora y a los usuarios) acerca de la necesidad de desinfectar, de sus bondades y de los riesgos de una desinfección inadecuada.

En ese contexto, hay que tomar en serio y ser cuidadosos con las implicancias de la desinfección. Los desinfectantes que se agregan al agua, especialmente el popular cloro, producen sabores y olores que pueden generar el rechazo de la comunidad. Esto no puede dejarse de lado ni tomarse como algo de menor importancia. Son innumerables las experiencias en casi todo el mundo en desarrollo donde la comunidad rechaza la desinfección debido a las propiedades organolépticas desagradables y hasta exige que se suprima la medida. Es importante que los responsables de la instalación de un sistema de agua potable y de la implementación de la desinfección, comuniquen, informen y discutan estos aspectos con la comunidad una y otra vez hasta tener la seguridad de que se ha “concientizado a la población” y que no habrá rechazo a la desinfección a pesar de los inconvenientes. Los usuarios tienen que haber entendido que existe una clara relación entre el agua y la salud (o entre el agua y la enfermedad) y que la desinfección, aún con sus ligeros inconvenientes, es la barrera imprescindible para detener el riesgo de la enfermedad.

Ligado a estos inconvenientes, es el momento de hacer mención al problema de los subproductos de la desinfección (o productos de la desinfección o SPD, como se los conoce en la jerga técnica o por su sigla en inglés DBP: disinfection by-product). Casi todos los desinfectantes producen SPD. El cloro da lugar, entre otros, a una larga lista donde los más visibles son los trihalometanos (THM), los haloacetatos, acetonitrilos halogenados y clorofenoles; el dióxido de cloro produce más de cuarenta SPD, entre los que se cuentan los cloratos, cloritos y los clorofenoles. El ozono a su vez produce aldehídos, ácidos carboxílicos, bromatos, bromoetanos, acetonitrilos bromados y cetonas. El problema de estos SPD es que muchos de ellos son cancerígenos.

En ocasiones, este hecho real y concreto (del potencial carcinogénico) ha causado, por un lado, desinterés de los ingenieros o responsables por implementar la desinfección (“es mejor ser cautos y no desinfectar demasiado, ya que la desinfección produce cáncer”) y, por otro lado, una mala información a la población que ha generado un justificado rechazo (“¿Cómo voy a beber agua que me va a producir cáncer?”). Por ello, es fundamental que todo aquél que esté trabajando en esta línea del tratamiento de agua tenga absolutamente claro qué significa “el riesgo de la desinfección” y “el riesgo de la no desinfección”.

El riesgo de enfermar por cáncer está asociado a una ingesta durante muy largos períodos (a veces toda una vida) de un agua desinfectada y es un riesgo potencialmente bajo. El riesgo de enfermar o morir por otras enfermedades debido a microbios que están presentes en el agua que no está desinfectada es, en cambio, mucho más alto.

En el caso del cloro, se estima que el riesgo de morir (mortalidad) por cáncer debido a la ingesta de agua desinfectada frente al riesgo de morir por alguna enfermedad de transmisión hídrica (diarrea, hepatitis infecciosa, fiebre tifoidea, cólera, etc.) es de 1 en 1.000. Dicho de otro modo, tomar agua sin desinfectar implica que una persona corre un riesgo 1.000 veces mayor de morir por una enfermedad diarreica, que morir por un cáncer asociado a la ingesta de aguas: ella está clorada.

Pero si esos datos de mortalidad son impresionantes, mucho más son los relacionados con la posibilidad de enfermar (morbilidad), ya que el riesgo de enfermar de diarrea es 1.000.000 de veces mayor que el riesgo de enfermar de cáncer. Queda como corolario irrefutable, que los riesgos de enfermar o morir son mucho más altos si no se clora el agua. Esta realidad estadística ha llevado a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA) a expresar que “bajo ningún concepto debe comprometerse la desinfección del agua de consumo”.

La segunda actividad que se debe encarar es la de capacitar en detalle al operador, a los operadores sustitutos y a los miembros de la junta de agua en los requisitos, en las formas operativas de la desinfección en general y en aquellos relacionados con el equipo o sistema específico que se está utilizando en la comunidad. La capacitación debe tener como resultado gente que actúe casi en forma automática en cuestiones de desinfección. Ello conlleva también la preparación de instrucciones que sean claras, comprensibles, aceptables y aceptadas por la junta y los operadores. Es obvio decir que el respaldo técnico es vital. Las rondas de supervisión, refuerzo y apoyo por parte de personal capacitado que frecuentemente visite la comunidad son condición sine qua non para que la desinfección no se detenga o discontinúe.

Entre 1982 y 1995, la OPS/OMS realizó una serie de evaluaciones en la Región de América Latina y el Caribe para determinar las mayores causas de falla en los sistemas de desinfección. La encuesta reveló las siguientes causas:

1 Motivación insuficiente y falta de compromiso político en la comunidad para respaldar en forma continua una efectiva desinfección.

- | Falta de conocimiento e información sobre los riesgos de una desinfección ineficiente y sobre la importancia de la relación entre el agua y la salud.
- | Baja prioridad en financiar y apoyar económicamente la desinfección.
- | Poca disponibilidad de desinfectantes en el mercado local. En ocasiones, esto se debía a falta de financiamiento, pobre planificación y falta de infraestructura.
- | Falta de repuestos para los equipos.
- | Personal sin capacidad para hacer una correcta operación, mantenimiento y reparaciones.
- | Falta de programas de capacitación para operadores y miembros de las juntas administradoras o juntas de agua.
- | Sistemas de desinfección mal proyectados y mal construidos.
- | Equipos de mala calidad.
- | Selección inadecuada de la tecnología más apropiada para el lugar.
- | Falta de supervisión y monitoreo.
- | Quejas de los usuarios por el sabor y olor desagradables.
- | Excesivo y generalizado temor a los SPD.
- | Requerimientos demasiado complejos y exigentes para la operación y el mantenimiento.
- | Fallas en la provisión de electricidad.
- | Deficiente tratamiento del agua previo a la desinfección (el agua presentaba condiciones adversas a la etapa de desinfección).
- | Operación intermitente del sistema de distribución del agua.

La identificación de estas causas y su solución son importantes para implementar un sistema de desinfección exitoso.

Características del Manual

Este manual está estructurado en forma simple. Se han tomado las tecnologías más visibles y cada una de ellas representa un capítulo de la obra.

Así, se presentan en sucesión los métodos y tecnologías de

- | desinfección solar
- | cloración
- | radiación ultravioleta
- | filtración lenta
- | ozono
- | dióxido de cloro
- | minifiltración
- | métodos alternativos, y
- | desinfecciones especiales y de emergencia.

Al recorrer sus páginas, tal vez parezca un tanto desproporcionado el peso que se le ha dado a la cloración. Lo que ocurre es que por su importancia, los numerosos equipos y las formas que se han desarrollado, ha sido necesario incluir las técnicas de cloración más difundidas e interesantes, que no son pocas. Quiérase o no, y a pesar de las críticas e inconvenientes que presentan, el cloro y sus derivados han sido honorables responsables de una verdadera revolución sanitaria. Se estima que buena parte de la prolongación, en cincuenta años, del promedio de vida que en el siglo XX ha disfrutado Occidente, se debe a la introducción del cloro como desinfectante del agua. Una encuesta realizada en los Estados Unidos muestra la siguiente distribución de uso para las distintas tecnologías en los Estados Unidos.

Porcentaje de Sistemas de tratamiento de agua que utilizan diferentes técnicas de desinfección en servicios municipales de USA (1998)

Proceso de desinfección	% de sistemas mayores de 10.000 hab.	% de sistemas menores de 10.000 hab.
Cloro gas	87	70
Hipoclorito de sodio	7	17
Generación in-situ de hipoclorito de sodio	0	2
Hipoclorito de calcio (en polvo)	1	9
Dióxido de cloro	3	2
Ozono	1	0
Radiación ultravioleta	1	0

En los países en desarrollo, esta relación está más volcada aún al cloro y sus derivados y ello justifica el mencionado énfasis a la técnica en cuestión. Para cada uno de los métodos presentados se ha preparado una descripción que abarca:

- | propiedades del desinfectante y descripción del método
- | mecanismo de desinfección
- | subproductos de la desinfección
- | equipos
- | instalación y requerimientos de instalación
- | operación y mantenimiento

- | monitoreo
- | ventajas y desventajas del método
- | costos de equipos, de operación y mantenimiento (los costos estarán expresados en dólares de los Estados Unidos de América, año 2002)
- | fuentes de información.

Finalmente, se ha preparado una sección sobre comparación entre los distintos métodos, aspectos de costos, facilidad de operación, adecuación a diversas situaciones, etc., y una postrer sección de desinfección de tuberías, tanques y desinfección de emergencia.

Fuentes de información

Galal-Gorchev, H. *Guías de la OMS para la calidad del agua potable y evaluación de los riesgos para la salud vinculados con los desinfectantes y los SPD*. Trabajo presentado en la Publicación OPS/ILSI “La calidad del Agua potable en América Latina” (1996).

OPS. *Health conditions in the Americas*. Scientific Publication No. 549. Vol I: 162-167. Pan American Health Organization, Washington DC (1994).

Regli, S., Berger, P., Haas, C. *Proposed decision tree for management of risks in drinking water: consideration for health and socioeconomic factors*. Trabajo en la publicación ILSI: “Safety of water disinfection: balancing chemical and microbial risks”. Washington, DC (1993).

OMS. *The World health report 2000*. Publicación OMS (2000).