

DESINFECCION DEL AGUA POTABLE CON UNA MEZCLA DE GASES OXIDANTES PRODUCIDOS IN SITU (MOGGOD)¹

Fred M. Reiff²

INTRODUCCION

En 1982, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) comenzó a promover la creación de tecnología para la generación *in situ* de mezclas de oxidantes para desinfectar los abastecimientos de agua potable en comunidades pequeñas o aisladas de América Latina y el Caribe. El procedimiento se conoce como técnica MOGGOD (sigla de la denominación en inglés), que es el término que se usa ampliamente.

La causa fundamental del interés de la OPS en esta nueva técnica de desinfección, a pesar de que existen muchos métodos corrientes y "tecnologías apropiadas", fue el simple hecho estadístico de que más de 75% de todas las instalaciones encargadas de la desinfección en América Latina y el Caribe no han alcanzado sus fines de manera continua y adecuada, a pesar de más de 20 años de esfuerzo para formar recursos humanos, instituciones e infraestructura de

apoyo. El concepto básico en que se fundamenta dicha iniciativa es que la tecnología de alto nivel puede servir para crear métodos de desinfección sencillos, prácticos y eficaces para resolver los problemas peculiares de la subregión que han impedido la desinfección por los métodos ordinarios.

En diciembre de 1986, la OPS emprendió la primera fase de un proyecto de demostración para plantear a organismos e instituciones de los países miembros el concepto de la técnica MOGGOD y obtener su apoyo para crear la tecnología correspondiente; para este fin, recibió una contribución de \$US 60 000, 00 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que representa aproximadamente 20% de los costos iniciales. Dicha fase incluyó la adquisición de dispositivos prototipo que se enviaron a los países participantes, donde se sometieron a pruebas de laboratorio y sobre el terreno en las condiciones reales que habían causado el fracaso de los métodos comunes de

¹ Se publica en el *Bulletin of the Pan American Health Organization* Vol. 22, No. 4, 1988, con el título "Drinking-water improvement in the Americas with mixed oxidant gases generated on site for disinfection (MOGGOD)".

² Organización Panamericana de la Salud, Programa de Salud Ambiental. Dirección postal: 525 Twenty-third Street, NW, Washington, DC 20037, EUA.

desinfección. Actualmente se lleva a cabo la demostración de la técnica sobre el terreno, con el propósito de obtener experiencia operativa, familiarizar a las autoridades encargadas del abastecimiento de agua con dicha tecnología nueva y mejorar y aplicar los aparatos en poco tiempo.

Entre el 7 y el 11 de diciembre de 1987 se celebró el primer seminario internacional sobre tecnología MOGGOD en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), con sede en Lima, Perú. El objetivo fue intercambiar información y experiencia sobre el nuevo procedimiento, y hacer recomendaciones sobre investigaciones, aplicaciones, mejoras y orientaciones futuras sobre desarrollo tecnológico.

En general, la meta de desarrollar una tecnología innovadora y eficaz para la desinfección, en el contexto de América Latina y el Caribe, se consideró factible ante el aumento de los conocimientos científicos y los numerosos progresos técnicos logrados en áreas afines en los últimos 10 años. La rapidez con que los usuarios han dado a conocer sus impresiones a los creadores del proyecto permitió hacer una serie de mejoras notables en su diseño, metodología y conocimiento tecnológico. A la fecha, la desinfección por la técnica MOGGOD ha demostrado una eficacia cuando menos equivalente a la del cloro en los estudios sobre el terreno y en el laboratorio. Por consiguiente, en etapa muy temprana del proyecto los resultados han sido muy alentadores y justifican definitivamente la continuación del esfuerzo. Además, se tiene la esperanza de que ayude a

reavivar la conciencia sobre la importancia de la desinfección y que aliente el mejoramiento de las técnicas y prácticas corrientes de desinfección del agua potable.

ANTECEDENTES

Muchas de las poblaciones y comunidades pequeñas de los países latinoamericanos y caribeños reciben agua de sistemas comunitarios. Casi todos los planes nacionales intentan aumentar el abastecimiento en las comunidades pequeñas y en las rurales, pero la desinfección del agua no es adecuada ni fiable, y a menudo ni siquiera se hace. En mayo de 1984 se efectuó una encuesta entre los participantes del taller organizado por la OPS para presentar las nuevas guías para la calidad del agua potable de la OMS. Se pudo apreciar que en más de 75% de los sistemas de abastecimiento de agua de América Latina y el Caribe no se practicaba la desinfección o esta era insuficiente. Varios estudios e investigaciones posteriores señalaron un porcentaje un poco mayor de deficiencias.

La desinfección insuficiente de los abastecimientos de agua constituye uno de los problemas más graves que afectan a la salud de quienes viven en poblaciones pequeñas, zonas rurales y zonas urbanas marginadas. Su importancia se ha demostrado tanto en la teoría como en la práctica. Es una medida fundamental de salud pública que siempre que se ha hecho en forma precisa y adecuada ha rendido beneficios sanitarios para los consumidores del agua potable. Se conocen más de 20 enfermedades causadas por la ingestión de agua contaminada. Todas ellas son debilitantes y algunas, mortales; merman en forma terrible los recursos económicos y humanos, en particular los de las personas

pobres, que son las menos aptas para afrontar tal situación. Las más graves y frecuentes pueden evitarse en gran medida con la desinfección adecuada del agua.

En los últimos 50 años se han hecho innumerables estudios sobre los beneficios de la desinfección; dos de los más recientes tienen una importancia particular con respecto a este problema. En un estudio de ocho años se identificó una relación inversa entre las concentraciones de cloro residual y las tasas de diarrea en los niños menores de cinco años (1). Por otro lado, en un proyecto piloto iniciado en 1981 en la región occidental de Bengala, India, 300 familias que recibieron agua potable desinfectada se compararon con 300 familias que consumieron agua sin desinfectar (2). Todos los otros factores eran esencialmente iguales. En un lapso de nueve meses, se advirtió una disminución de 80% en la incidencia de enfermedades diarreicas en los niños que bebían agua desinfectada; el descenso fue de solo 5% entre quienes consumían el agua sin desinfectar.

En situaciones en que el agua es el vehículo principal para la transmisión de fiebre tifoidea, paratifoidea, cólera, infección por *Campylobacter*, enteritis, diarrea por rotavirus, hepatitis, dracontiasis o giardiasis, la presencia del desinfectante en concentraciones adecuadas y durante un tiempo suficiente de contacto disminuye la incidencia de estas enfermedades. Los beneficios que tienen para la salud las medidas de desinfección fiables, sencillas y de bajo costo son manifiestos.

CAUSAS DE LAS DEFICIENCIAS EN LA DESINFECCION

Para resolver el problema de las deficiencias en la desinfección que padecen los países de América Latina y el Caribe se necesita en primer término identificar y comprender la naturaleza de las causas de tales deficiencias. He aquí algunas de las causas más comunes (3): el abastecimiento inseguro o nulo de las sustancias químicas necesarias para la desinfección; carencia de piezas de repuesto; normas de operación y mantenimiento demasiado complejas para el personal local; infraestructura inadecuada para apoyar la adquisición, transporte y almacenamiento de sustancias químicas, repuestos y suministros; insatisfacción de los usuarios por los niveles de cloro demasiado variables; problemas locales en el almacenamiento, manejo, mezcla y dosificación de las sustancias químicas; duración limitada del equipo; preparación y experiencia insuficientes de los operadores y también enseñanza básica inadecuada; medidas de seguridad inadecuadas; restricciones en el intercambio con países extranjeros.

Para casi todas las situaciones específicas mencionadas existen innumerables causas básicas de la desinfección nula o insatisfactoria. Todas ellas, sean administrativas o técnicas, deben ser resueltas para lograr soluciones satisfactorias y perdurables. En el pasado, se adoptaron diversas medidas para resolver el problema, incluido el desarrollo de recursos humanos e institucionales. Los resultados no han sido satisfactorios puesto que en los últimos 20 años solo ha habido un mínimo incremento porcentual en los sistemas de agua desinfectada adecuadamente. Para resolver el problema se han introducido otras tecnologías tales como la ozonificación, luz ultravioleta,

resinas halogenadas, radiación, yodación, bióxido de cloro, cloraminas y procedimientos apropiados para la hipocloración; pero estas medidas no han sido concebidas para remediar los problemas específicos y tan diferentes de los países en desarrollo.

FORMULACION DEL CONCEPTO DE LA TECNICA MOGGOD

Ningún método común de desinfección basta por sí solo para resolver un número suficiente de las causas mencionadas, de modo que así fue como se probaron algunas combinaciones. La simple combinación de tecnología produjo problemas de operación más complejos que anularon las ventajas obtenidas.

Un factor importante que se debe considerar cuando se escoge un método desinfectante idóneo es el control microbiológico requerido. Diversas bacterias, hongos y protozoos pueden reaparecer en la red de distribución, incluso si el agua ha sido tratada apropiadamente. La probabilidad de que ocurra este fenómeno es mayor en los casos en que el agua contiene grandes cantidades de sustancias orgánicas (4) y en las zonas donde las temperaturas de la tierra y el agua son más cálidas. Dichos microorganismos, además de disminuir la calidad organoléptica del agua, entrañan un riesgo para la salud. Por lo tanto, en América Latina y el Caribe, donde prevalecen las temperaturas cálidas y las concentraciones elevadas de sustancias orgánicas, es muy importante que los métodos de desinfección sean eficaces y eficientes, cubran un sinnúmero de microorganismos y proporcionen suficiente capacidad desinfectante residual.

Por todas estas razones, la OPS comenzó a explorar la factibilidad de una tecnología innovadora capaz de eliminar un número suficiente de las causas de deficiencia de la desinfección para así mejorar las probabilidades de que en pequeños sistemas comunitarios esta sea constante y satisfactoria.

La OPS preparó una lista de las características deseables en un dispositivo de desinfección adecuado para poblaciones pequeñas y zonas rurales latinoamericanas, con vistas a utilizarla en sus conversaciones con posibles investigadores y fabricantes. Estas características son: sencillez de operación y mantenimiento y, a ser posible, evitación de la necesidad de efectuar cálculos químicos y matemáticos; equipo resistente y durable, fácil de reparar; empleo de sustancias químicas primarias al alcance o de fácil obtención; y uso de un desinfectante fiable, eficaz e inocuo, capaz de actuar en diversas condiciones fisicoquímicas típicas y con actividad residual suficiente.

Los criterios anteriores tomaron en consideración, en primer lugar, los dispositivos existentes para la producción *in situ* de hipoclorito de sodio, pero la experiencia ha demostrado que son demasiado complejos para usarse en las comunidades a las que se pretende llegar. Durante la investigación bibliográfica y el contacto con organizaciones, instituciones, científicos y fabricantes, se advirtió que por lo común era más sencillo y barato producir una mezcla de oxidantes desinfectantes que un solo oxidante puro. Además, la mezcla tenía otras ventajas potenciales: cada oxidante opera eficazmente como desinfectante en una situación determinada, de modo

que al combinar varios aumenta la posibilidad de ensanchar dicho espectro; al combinarse, los oxidantes actúan sinérgicamente como desinfectantes; los oxidantes dejan residuos de diferente duración; los oxidantes poseen distinta afinidad para reaccionar con algunos agentes reductores, y al combinarlos es posible limitar al mínimo los subproductos no deseados que se producen; y, por último, un grupo de oxidantes puede tener mayor eficacia frente a un amplio espectro de microorganismos que un solo oxidante.

Ante estas múltiples ventajas, la OPS decidió continuar la promoción y el apoyo del desarrollo de la técnica de mezcla de oxidantes producidos *in situ* para la desinfección.

EFICACIA

DE LAS MEZCLAS DE OXIDANTES

El cuadro 1 muestra el potencial de oxidación (en volts) y la capacidad de oxidación relativa (comparada con la del cloro) de algunos de los oxidantes más potentes. Entre los que son producidos por la técnica MOGGOD se encuentran el radical hidroxilo, el oxígeno atómico, el ozono, el peróxido de hidrógeno, el radical perhidroxilo, el ácido hipocloroso y el cloro. Aunque todavía no se han precisado con exactitud las proporciones de los diferentes tipos, cada uno de ellos es un oxidante potente. El peróxido de hidrógeno y el radical perhidroxilo no son desinfectantes eficaces en

CUADRO 1. Potencial de oxidación y capacidad de oxidación relativa de diversos oxidantes potentes

Especies oxidantes ^a	Potencial de oxidación (V)	Capacidad de oxidación relativa ^b
Flúor	2,87	2,25
Radical hidroxilo	2,80	2,05
Oxígeno atómico	2,42	1,78
Ozono	2,07	1,52
Peróxido de hidrógeno	1,77	1,30
Radical perhidroxilo	1,70	1,25
Permanganato	1,68	1,23
Acido hipocloroso	1,49	1,10
Cloro	1,36	1,00
Bromo	1,07	0,79
Yodo	0,54	0,40

^a Con excepción del flúor, el permanganato, el bromo y el yodo, los demás están presentes en la mezcla de gases oxidantes generados *in situ* (MOGGOD).

^b En comparación con la del cloro (1,00).

el agua, pero reaccionan con muchos agentes reductores y de este modo impiden que estos consuman los oxidantes desinfectantes más eficaces.

Hace poco se descubrió que al añadir peróxido de hidrógeno al agua durante la ozonificación aumentaba la rapidez de transferencia del ozono y la oxidación de compuestos orgánicos (5). También se observó que esta adición disminuía significativamente la concentración de precursores de trihalometanos.

Por otra parte, en agua con una turbiedad de 0,53 a 0,73 UNT (unidades nefelométricas de turbiedad) que contenía entre 10 000 y 40 000 quistes de *Giardia lamblia* por galón (3,785 l) la combinación de fotozono (0,3 a 0,6 mg/l) y cloro (0,2 a 0,58 mg/l) durante 30 minutos de exposición bastaba para destruir o inactivar todos los quistes, mientras que el fotozono o el cloro por separado no lograban tal inactivación (6). No se conocen en detalle los mecanismos bioquímicos que intervienen en la inactivación de

los quistes. Se observó que el contacto por largo tiempo culminó en su destrucción.

La mezcla de oxidantes en solución producida en una celda de electrólisis (Los Alamos Technical Associates, Los Alamos, NM, EUA) se probaron contra *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli*, quistes de *Giardia muris*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus subtilis* (7). En la figura 1 se señalan las proporciones relativas de los componentes oxidantes que fueron generados. La eficacia de tales mezclas contra estos microorganismos se presenta en los cuadros 2 a 4.

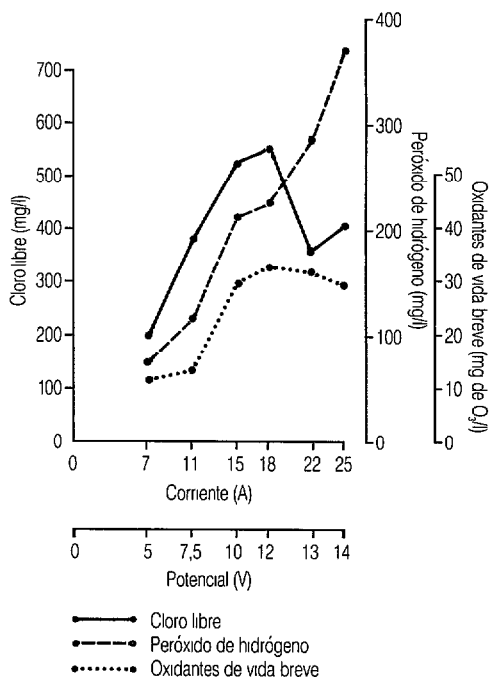
La destrucción absoluta (100%) de los quistes de *G. muris* en

agua clara a 3°C (cuadro 3) después de un contacto de 30 minutos, con una concentración inicial de 0,40 mg de oxidantes de corta duración por litro y 0,44 mg de cloro libre por litro, es semejante a la observada por Hibler (6). El cloro libre por sí mismo, en concentración de 0,84 mg/l, prácticamente no tendría efecto sobre tales quistes a 3°C y produciría un efecto mínimo a 20,5°C. El efecto sobre las esporas de *B. subtilis* (cuadro 4) que sobreviven a la ebullición del agua y al contacto con grandes concentraciones de cloro, también es un dato que comprueba la eficacia y posible sinergia de esa mezcla de oxidantes.

En 1987, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica de la ciudad de México llevó a cabo pruebas con el aparato MOGGOD fabricado por Oxidizers, Inc. (Virginia Beach, VA, EUA) (8). El artefacto se probó con el agua de dos pozos (ubicados en las colonias Santa María Aztahuacán y Agrícola Oriental) contaminados con microorganismos atípicos (difíciles de destruir). El agua del pozo de Santa María Aztahuacán, con pH de 8,0 y temperatura de 21°C, se trató con hipoclorito de sodio (10 mg/l) o con mezclas de oxidantes que fueron generados a 2 A (equivalente de cloro libre residual = 1,3 mg/l) o a 10 A (equivalente de cloro libre residual = 4,9 mg/l) (figura 2).

Por desgracia, en las pruebas con el agua del pozo más contaminado (pH de 8,35 y temperatura de 22,8°C), el de la colonia Agrícola Oriental, no se incluyó una medición basal de hipoclorito de sodio; pero se agregó otra dosis de MOGGOD a 20 A (equivalente de cloro libre residual = 10,4 mg/l) (figura 3).

FIGURA 1. Influencia de la corriente y el potencial eléctricos sobre la composición de las especies oxidantes producidas por la celda prototipo de electrólisis de Los Alamos Technical Associates. (Electrolito: solución 0,75M de NaCl en agua destilada (30 g/l); electrodos: bióxido de iridio; velocidad de producción de gas: 30 l/h)



Fuente: Referencia 7

CUADRO 2. Eficacia de diversos oxidantes contra *Legionella pneumophila*, al cabo de distintos períodos de exposición

Oxidante (solución) ^a	Concentración total (mg/l)	<i>L. pneumophila</i> presente (UFC ^b /ml) al cabo de:			
		0 min	2 min	5 min	15 min
Mezcla de oxidantes ^c	0,75	1 × 10 ⁷	1,9 × 10 ⁶	1,5 × 10 ⁴	3,0 × 10 ²
Bióxido de cloro (ClO ₂)	0,75	1 × 10 ⁷	2,0 × 10 ⁶	1,0 × 10 ⁵	1,0 × 10 ³
Acido hipocloroso (HOCl ⁻)	0,67	1 × 10 ⁷	8,0 × 10 ⁶	6,0 × 10 ⁶	1,0 × 10 ⁶

^a Temperatura del agua = 20 °C.

^b UFC = unidades formadoras de colonias.

^c Generada por la celda de electrólisis Mark II de Los Alamos Technical Associates con electrodos de bióxido de indio. Se utilizó una solución 0,75 M de NaCl con flujo de 30 l/h; un potencial de 20 V y una corriente de 7A.

CUADRO 3. Eficacia de la mezcla de oxidantes^a contra quistes de *Giardia muris* al cabo de distintos períodos de exposición

Aspecto del agua	Temperatura (°C)	Concentración inicial de los oxidantes (mg/l)	Viabilidad de los quistes de <i>G. muris</i> (%) al cabo de:		
			0 min	10 min	30 min
Clara	3	0,84	40	24	0 ^b
Clara	3	0,42	44	41	19
Clara	20,5	1,58	58	4	0 ^b
Clara	20,5	0,79	60	12	3
Turbia ^c	3	1,07	48	10	6
Turbia ^c	3	0,55	42	49	44

^a Generada por la celda de electrólisis Mark II de Los Alamos Technical Associates con electrodos de bióxido de indio. Se utilizó una solución 0,75M de NaCl con flujo de 30 l/h; un potencial de 20V y una corriente de 7A.

^b Se examinaron los 4 500 quistes para verificar la destrucción de todos ellos (100%).

^c La turbiedad se debió a la presencia de arcilla natural.

Se llevaron a cabo otras pruebas en la Escuela de Salud Pública de la Universidad Johns Hopkins (9). Esta vez se compararon los efectos bactericida y viricida de una mezcla de gases oxidantes diluida con aire, una solución a base de dicha mezcla y otra a base de cloro gaseoso. Se llegó a la conclusión de que el gas producido por el aparato MOGGOD sometido a prueba inactivaba *E. coli*, *P. aeruginosa* y el virus bacteriófago F₂ en agua, y que la actividad de-

sinfectante del gas era equivalente a la de las soluciones de cloro cuando la capacidad oxidante residual total era igual y bajo las mismas condiciones químicas y físicas (figura 4).

En otra investigación, mezclas de oxidantes producidas por el proceso TVI (Tetraivalent, Inc., Round Rock, TX, EUA) se sometieron a prueba contra *L. pneumophila*, *Legionella micdadei*, *B. subtilis*, *E. coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhimurium*, *P. aeruginosa* y

CUADRO 4. Eficacia de la mezcla de oxidantes^a contra *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus subtilis* al cabo de distintos períodos de exposición

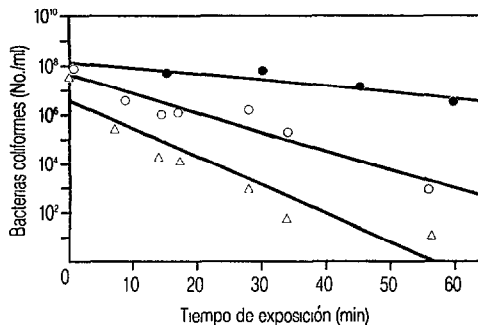
Bacteria	Muestra de agua	Concentración total de oxidantes (mg/l)	Concentración bacteriana (UFC ^b /ml) al cabo de:		
			0 min	10 min	20 min
<i>P. aeruginosa</i> ATCC ^c 15442	Con mezcla de oxidantes	0,8	$6,8 \times 10^4$	< 1	
		0,6	$6,8 \times 10^4$	< 1	
	Testigo	0	$6,8 \times 10^4$	$6,8 \times 10^4$	
<i>B. subtilis</i> ATCC 19859	Con mezcla de oxidantes	8	$2,3 \times 10^4$		< 1
		4	$2,3 \times 10^4$		< 1
		2	$2,3 \times 10^4$		< 1
		1,1	$2,3 \times 10^4$		< 1
	Testigo	0	$2,3 \times 10^4$		$4,9 \times 10^3$

^a Generada por la celda de electrólisis Mark II de Los Alamos Technical Associates con electrodos de bróxido de indio. Se utilizó una solución 0,75M de NaCl con flujo de 30 l/h, un potencial de 12 V y una corriente de 13,5 A. El agua tenía una temperatura de 20 °C

^bUFC = unidades formadoras de colonias

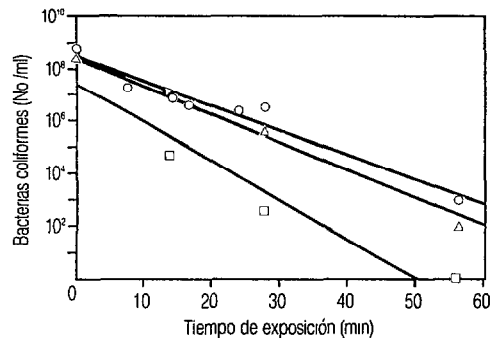
^cATCC = American Type Culture Collection, Rockville, MD

FIGURA 2. Efecto de la mezcla de gases oxidantes generados *in situ* para desinfección (MOGGOD) y el hipoclorito de sodio sobre la supervivencia de bacterias atípicas —es decir, difíciles de matar— en el pozo de Santa María Aztahuacán. (Se utilizó el aparato MOGGOD de Oxidizers, Inc.; el agua tenía una temperatura de 21 °C y un pH de 8,0)



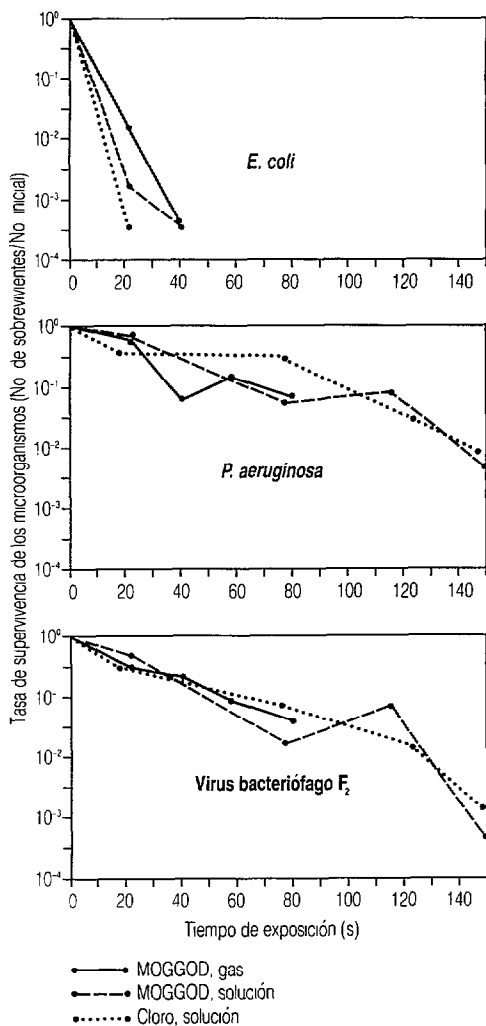
○ MOGGOD (corriente: 2 A)
 △ MOGGOD (corriente: 10 A)
 ● Hipoclorito de sodio (10 mg/l)

FIGURA 3. Efecto de la mezcla de gases oxidantes generados *in situ* para desinfección (MOGGOD) sobre la supervivencia de bacterias atípicas en el pozo de la colonia Agrícola Oriental. (Se utilizó el aparato MOGGOD de Oxidizers, Inc.; el agua tenía una temperatura de 22,8 °C y un pH de 8,35)



○ MOGGOD (corriente: 2 A)
 △ MOGGOD (corriente: 10 A)
 □ MOGGOD (corriente: 20 A)

FIGURA 4. Efecto de la mezcla de gases oxidantes generados *in situ* para desinfección (MOGGOD) y del cloro sobre las tasas de supervivencia típicas de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y virus bacteriófago F₂



Candida albicans. Se usaron soluciones de NaCl al 5 y 10% en el compartimiento del ánodo (10). Otro investigador probó la solución de mezcla de oxidantes TVI contra rotavirus (11). En la OPS se compararon los valores de ambos estudios, por lo que se refiere a tiempo y concentración, con los obtenidos por el

cloro; se concluyó que la mezcla de oxidantes TVI es superior.

En la figura 5 se resumen datos diversos sobre la eficacia de la técnica MOGGOD contra *G. muris*, y las curvas de tiempo-concentración resultantes se comparan con las producidas por el ozono y el cloro.

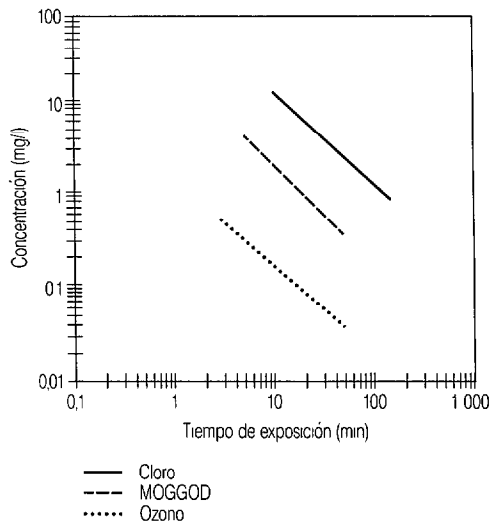
En resumen, la eficacia de la mezcla de oxidantes generados *in situ* como desinfectante de agua es igual o mayor que la del cloro. También es eficaz en condiciones muy variadas de pH y temperatura y contra un amplio espectro de microorganismos, algunos de los cuales presentan la mayor resistencia a ser inactivados mediante la desinfección química.

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LOS APARATOS MOGGOD

Debido en gran parte al curso normal del desarrollo tecnológico y comercial, y un poco gracias al estímulo y la promoción de la OPS, se han perfeccionado varios dispositivos totalmente funcionales para la producción *in situ* de mezclas de oxidantes para desinfección.

Existen dos clases de estos aparatos: los que se basan en la electrólisis y los que dependen de la fotólisis para generar la mezcla de oxidantes. A su vez, hay dos tipos de dispositivos de electrólisis; uno produce una mezcla de gases oxidantes, y el otro, una solución que contiene dicha mezcla. Todos ellos se muestran muy prometedores en cuanto a la posibilidad de resolver los problemas y superar los obstáculos que se oponen a la desinfección.

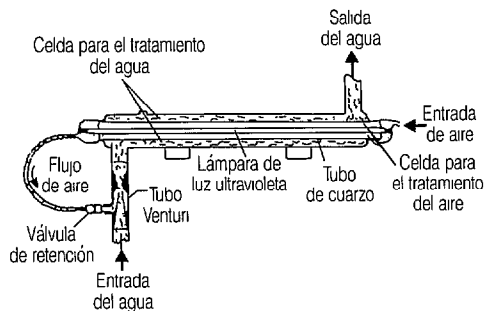
FIGURA 5. Concentración de desinfectantes (cloro, mezcla de oxidantes y ozono) y tiempo de exposición que se necesitan para inactivar 99% de los quistes de *Giardia muris*, cuando la temperatura del agua está entre 3 y 5 °C y el pH es de 8



Fuentes: Referencias 6, 7, 12-14.

En el proceso de fotólisis (“fotozono”) se utiliza luz ultravioleta de onda corta (< 185 nm) para disociar moléculas de oxígeno en especies activadas. En la figura 6 se muestra un esquema de dicho proceso, en el cual se hace pasar aire del ambiente por una lámpara de luz ultravioleta; el “plasma” generado de esta manera se difunde en una solución acuosa que se expone a radiaciones ultravioleta para reforzar el potencial de oxidación y también para contribuir a la desinfección. Los oxidantes que aparecen en la corriente de agua incluyen ozono, radical hidroxilo, bióxido y peróxido de hidrógeno y oxígeno atómico. Esta mezcla tiene una capacidad de oxidación mayor que el cloro gaseoso; también se ha comprobado que posee propiedades desinfectantes excelentes. El proceso consume en promedio 7 a 11 kW.h (kilowatts hora) para producir 1 kg del gas fotozono.

FIGURA 6. Esquema del aparato de fotólisis para obtener la mezcla de gases generados *in situ* para desinfección (MOGGOD)



Por desgracia, entre la mezcla de oxidantes de la técnica del fotozono ninguno tiene efecto residual duradero. Como este último es necesario en los sistemas de agua en América Latina a causa de la posibilidad de que se recontaminen, no se ha instalado dicho aparato en el proyecto demostrativo. Se menciona porque es un buen generador de oxidantes en mezcla; además, cuando se agregó cloro (6), los valores tiempo-concentración para los quistes de *G. muris* fueron semejantes a los obtenidos con la técnica MOGGOD.

Por otro lado, la electrólisis de una solución salina también genera mezclas de oxidantes, y muchos de ellos poseen capacidad desinfectante residual eficaz. Es probable que el primer testimonio escrito de la generación de mezclas de oxidantes sea el de Cruickshank, quien en 1801 describió el olor del ozono como característico del gas que se formaba en el ánodo durante la electrólisis del agua (4). La generación de oxidantes por electrólisis se ha hecho a escala comercial desde los comienzos de

este siglo; se han hecho progresos incasantes en la producción de oxidantes por medio de electrólisis, particularmente en la industria productora de cloro y sustancias alcalinas. La introducción del ánodo de dimensiones estables y las membranas perfluoradas en 1969, y su perfeccionamiento continuo, mejoró radicalmente la eficacia del método, disminuyó su costo y aminoró las necesidades de energía. En la actualidad, 90% de la capacidad de producción de cloro en América del Norte está basada en esta tecnología.

Los progresos anteriores también hicieron factible la generación *in situ* de una mezcla de gases oxidantes con propiedades desinfectantes. La misma tecnología básica se ha utilizado para crear las unidades MOGGOD, pero se adaptó para obtener sencillez operativa, durabilidad y compatibilidad con las circunstancias prevalecientes en comunidades remotas, pequeñas y pobres. Para lograr lo anterior, hubo que sacrificar parte de la eficiencia del proceso electrolítico; pero ello se compensó con creces gracias al incremento en su eficiencia global por lo que toca a factores sociales, tales como la capacidad de las comunidades, los aspectos de almacenamiento y transporte, la infraestructura nacional de apoyo, las circunstancias locales y el elemento humano.

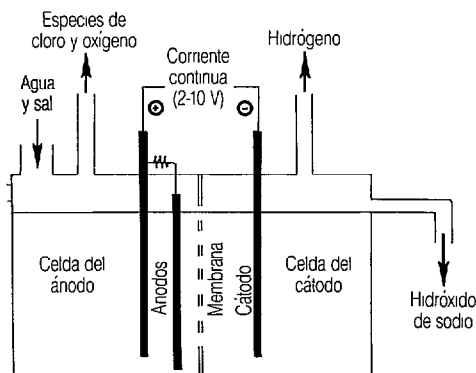
Diferentes entidades han producido diversos prototipos que han superado la fase experimental de laboratorio; incluso, varios de ellos ya se han comercializado. En efecto, actualmente los aparatos para la técnica MOGGOD en su variedad electrolítica son fabricados por tres empresas estadounidenses (Los

Alamos Technical Associates, Oxidizers, Inc. y TetraValent, Inc.) y una argentina (FENAR), así como por el Centro de Desarrollo y Aplicaciones Tecnológicas (CEDAT) de la Secretaría de Salud de México. Las diferencias principales entre estos artefactos tienen que ver con la configuración del ánodo, la forma de la celda y el controlador.

Como ya se venden en el comercio, la OPS no cuenta con una cifra exacta de los que se han instalado en América Latina y el Caribe. No obstante, se sabe que en este momento existen cuando menos 20 proyectos de demostración de la técnica que se utilizan para producir agua inocua desde el punto de vista bacteriológico y también para obtener información en cuanto a los aspectos prácticos de esta tecnología. La primera instalación de este tipo ha venido funcionando por más de cuatro años en una forma extraordinariamente eficaz, que supera los métodos ordinarios de cloración que se utilizaban anteriormente.

En la figura 7 se muestra el esquema de una unidad MOGGOD de electrólisis típica; se puede apreciar la rela-

FIGURA 7. Esquema de la celda de electrólisis para obtener la mezcla de gases generados *in situ* para desinfección (MOGGOD)



ción de los componentes de la celda electrolítica y el ingreso y producción de sustancias químicas. La celda está dividida en compartimientos anódico y catódico, separados por una membrana semipermeable y selectiva de Nafion, compuesto hecho de un copolímero perfluorado de intercambio catiónico. De manera característica, la unidad también incorpora un ánodo de titanio de dimensiones estables (ELTECH TIR-2000) o un ánodo de grafito y un cátodo de acero inoxidable. Además, entre el ánodo y la membrana puede haber electrodos auxiliares que funcionan con menos fuerza electromotriz que el ánodo primario.

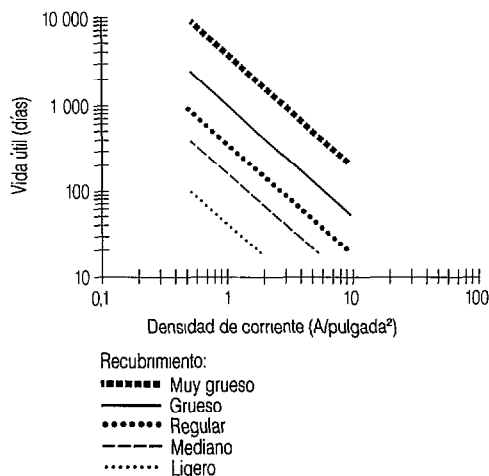
En el compartimiento anódico hay cloruro de sodio en exceso, lo que garantiza que haya una solución saturada de cloruro de sodio, la cual se obtiene agregando agua; en el compartimiento catódico se tiene una solución de hidróxido de sodio al 10%, la cual se consigue añadiendo agua suficiente o eliminando el exceso de líquido. En los ánodos se generan cloro y especies activadas de oxígeno (la mezcla de gases oxidantes), mientras que en el cátodo se forman hidrógeno gaseoso e hidróxido de sodio. En el proceso MOGGOD, la mezcla de gases oxidantes se inyecta en el agua que se pretende desinfectar; el hidrógeno gaseoso se expulsa a la atmósfera, y el hidróxido de sodio en exceso se reúne para utilizarlo con otros fines o descartarlo.

Una celda parecida a esta fue descrita en 1972, aunque no se menciona que en el ánodo se generaran especies de oxígeno (15); ello quizá se debió a que no contaba con electrodos auxiliares y a que se empleó un ánodo de dimensiones estables construido específicamente para producir cloro, no oxígeno.

La figura 8 es una gráfica que muestra la vida útil del ánodo TIR 2000 en función de la densidad de corriente (en amperes) por pulgada cuadrada de superficie, en una solución de ácido sulfúrico al 15%, aproximadamente. Al aumentar el espesor del recubrimiento a base de óxido de iridio, se prolonga la vida útil calculada del ánodo. La densidad de corriente operativa de la unidad va de 0,6 a 1,0 A por pulgada cuadrada; por ello la vida útil del ánodo es de tres a ocho años cuando tiene recubrimiento mediano y de 7 a 12 años cuando el recubrimiento es grueso, si los electrodos funcionan día y noche.

En otro método elaborado por Los Alamos Technical Associates para oxidantes desinfectantes en mezcla se utiliza una celda de titanio revestida de iridio y con flujo laminar. El aparato ha funcionado bien en el laboratorio, pero aún debe someterse a pruebas sobre el terreno en América Latina. La solución desinfectante ha sido objeto de análisis en cuanto a eficacia, y en relación con el cloro es igual o mayor.

FIGURA 8. Vida útil del ánodo TIR 2000 según el grosor del recubrimiento de óxido de iridio y la densidad de corriente



EL PROYECTO DE LA OPS PARA EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA MOGGOD

Propósito

La meta global del proyecto es estimular y acelerar la creación de aparatos MOGGOD para atender las necesidades de poblaciones, comunidades y aldeas pequeñas de América Latina y el Caribe.

Los objetivos intermedios específicos son:

- Someter a prueba diversos aparatos de este tipo en una amplia gama de circunstancias reales y típicas sobre el terreno, para conocer sus ventajas, desventajas, aspectos positivos e inconvenientes y hacer recomendaciones para mejorarlos.

- Conocer mejor las tecnologías para producir y utilizar mezclas de oxidantes.

- Difundir información sobre la técnica a instituciones y organizaciones de la Región de las Américas.

- Estimular la colaboración internacional para desarrollar este tipo de tecnología.

- Aportar datos que sirvan de fundamento para los criterios de instalación, las instrucciones de operación y mantenimiento y las mejoras ulteriores en diseño y fabricación.

- Determinar si es factible fabricar el equipo a nivel local.

- Establecer las relaciones paramétricas de equivalencia entre los residuos de mezclas de oxidantes y de cloro libre.

- Precisar el residuo mínimo de la mezcla de oxidantes, para garantizar el suministro de agua sin microbios patógenos.

- Informar a los fabricantes acerca de las características de funcionamiento del equipo sobre el terreno, para ayudarlos a mejorar la operación y seguridad de este, así como los servicios de apoyo que prestan, y a reducir los costos.

- Identificar y conocer las reacciones químicas complejas de la técnica MOGGOD.

- Crear una base de datos sobre costos de instalación, operación y mantenimiento.

- Definir normas de calidad comercial para la fabricación de aparatos de este tipo y para mejorar sus especificaciones técnicas.

- Conocer los límites superiores de la capacidad de dichos aparatos en la práctica.

- Precisar la eficacia de la técnica contra agentes patógenos específicos de origen hídrico en diversas condiciones de turbiedad, pH y temperatura.

- Investigar la capacidad de la técnica para eliminar sustancias indeseables del agua potable, tales como el hierro, metales pesados, fenoles, cianuros y otras.

Actividades

En la fase inicial del proyecto se procuró promover el concepto de la técnica MOGGOD y solicitar contribuciones de organismos gubernamentales, instituciones académicas, organizaciones profesionales e industria privada; ello se hizo mediante relaciones personales y por intercambio de información.

El proyecto se incorporó también en el programa de la OPS para el me-

joramiento de la calidad del agua potable, y el concepto se difundió en talleres, conferencias, seminarios y otras reuniones que de algún modo se relacionaban con agua potable (calidad, tratamiento y sistemas de distribución). Se siguieron muy de cerca los progresos en todos los campos afines de la tecnología. Se visitaron los sitios en que el sector privado había instalado aparatos del tipo MOGGOD. La OPS adquirió y sometió a pruebas limitadas algunos de los prototipos más promisorios y varios ejemplares de la segunda generación de estos aparatos. Se prepararon muchas propuestas de proyectos para el perfeccionamiento de la técnica y se enviaron a organizaciones en posibilidad de financiarlos.

La OPS adquirió cuatro aparatos de esta clase para la desinfección temporal de abastecimientos de agua en zonas afectadas por desastres naturales; esto se hizo debido a la prohibición de enviar productos de cloro por carga aérea. Los aparatos mencionados utilizaban sal como materia prima; funcionaron adecuadamente, pero el tiempo que estuvieron en operación fue breve como para extraer conclusiones respecto a durabilidad, continuidad de funcionamiento, reparaciones o problemas de mantenimiento.

En julio de 1986, la OPS otorgó una subvención para investigar la eficacia y eficiencia de la técnica MOGGOD en relación con la cloración. En diciembre de ese año se recibieron fondos anticipados del PNUD dentro del marco del Proyecto de Pobreza Crítica; se obtuvieron fondos de contrapartida procedentes de las oficinas de países. A la

fecha se han adquirido más de 40 aparatos, que se enviaron a América Latina y el Caribe para proyectos de demostración, pruebas sobre el terreno y análisis de laboratorio. Entre los países que han recibido tales artefactos están la Argentina, Bolivia, el Brasil, Colombia, Costa Rica, el Ecuador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Panamá, el Perú y Santa Lucía. Casi todos los países han aceptado colaborar en el proyecto de demostración y desarrollo tecnológico, y han iniciado diversas actividades. Está en estudio la colaboración por parte de Barbados, Cuba, Chile, el Paraguay y Venezuela. En la Argentina, el Brasil, México y los Estados Unidos se han hecho diversas investigaciones, y otras están en fase de planificación en la Argentina, el Brasil, Colombia, Cuba, Guatemala, el Ecuador y el Perú.

He aquí una lista específica de las actividades principales del proyecto al 31 de diciembre de 1987:

- En 12 países se hicieron demostraciones-conferencias sobre la tecnología MOGGOD.
- Se hicieron visitas a 20 posibles lugares para proyectos de demostración, y se dieron instrucciones para los preparativos del local.
- Se adquirieron 47 aparatos con sus accesorios para enviar a la Argentina, Bolivia, el Brasil, Colombia, Costa Rica, el Ecuador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Panamá, el Perú y Santa Lucía.
- Se contrató la elaboración de modelos para redactar manuales sencillos en español e inglés que expliquen la instalación, la operación y el mantenimiento del aparato MOGGOD típico.
- Se proveyó información técnica sobre el tema a todas las organizaciones pertinentes de los países participantes en este proyecto.
- Se prepararon las propuestas preliminares para los proyectos na-

cionales de demostración a fin de que la Argentina, Colombia, México y el Perú las presentaran a la oficina del PNUD en cada país con el propósito de obtener el financiamiento.

□ Se preparó un borrador de los términos de referencia para la participación en un proyecto regional de la técnica MOGGOD y se entregó a ocho países.

□ Se pusieron en marcha tres proyectos de investigación de la técnica; otros cinco protocolos y propuestas de investigación están en la fase de solicitud de fondos.

□ Como resultado directo del proyecto, en la Argentina la empresa privada FENAR ha comenzado a fabricar estos aparatos. En México, el CEDAT ha construido varios prototipos que están en fase de prueba sobre el terreno. En Colombia se encuentra en estudio la posibilidad de fabricarlos.

□ Actualmente en siete de los países participantes están en marcha los estudios sobre el terreno.

□ Casi un año después de iniciado el proyecto de demostración y desarrollo tecnológico, se celebró un seminario internacional sobre desinfección de abastecimientos de agua de comunidades pequeñas mediante la mezcla de oxidantes generados *in situ*.

Resultados

Tal parece que el mejoramiento de la desinfección con la técnica MOGGOD ofrece varios posibles beneficios, tales como el bajo costo (gracias al bajo precio de la sal y a la sencillez de operación y mantenimiento del aparato); se suprime el gasto de divisas (para los países que importan cloro y sus productos), y por último el beneficio económico manifiesto, aunque menos mesurable, de una población más sana.

Aunque se necesita más tiempo para probar a fondo los componentes de estos aparatos, en la actuali-

dad el costo total de producción del desinfectante va de \$US 0,25 a 0,60 por kilogramo. (Esta cifra puede variar mucho según las fluctuaciones en los costos unitarios de la sal, la mano de obra y la electricidad.)

La técnica MOGGOD posee varias ventajas específicas que ayudarían a resolver algunos de los problemas relacionados con la cloración corriente, particularmente en poblados y comunidades pequeños y alejados. Algunas de esas ventajas son:

□ Las únicas materias primas son sal y agua. Es fácil obtener la primera en cualquier sitio, y también es sencillo transportarla, almacenarla y manejarla, con riesgo mínimo para el medio y ninguno para el trabajador. Por último, es muy barata.

□ Las necesidades de energía son muy pequeñas. El voltaje necesario va de 5 a 10 V en los electrodos, y la corriente que circula es de unos 24 A por kilogramo de desinfectante generado en un lapso de 24 horas. Si no se cuenta con electricidad doméstica, como fuente de energía es posible utilizar pilas fotovoltaicas o minigeneradores interpuestos en el tubo de transmisión del agua.

□ Las necesidades operativas se determinan por medios visuales; no son esenciales los conocimientos sobre matemáticas y química. Es decir, se puede saber a simple vista cuándo hay que agregar sal. El operador simplemente verifica si los cristales de sal o el nivel de agua han disminuido y agrega más de lo que se necesite. La cantidad de desinfectante aplicado se fija graduando un control (reóstato), para obtener una corriente

predeterminada que es indicada por una aguja. Todo ello simplifica las cosas para el operador, quien generalmente tiene poca instrucción.

□ El cloro actúa fundamentalmente como agente residual. Las especies de oxígeno de la mezcla de gases desinfectantes son predominantes y tienden a reaccionar con las sustancias orgánicas y de otro tipo antes que la especie de cloro. Esto da por resultado un mejor sabor y olor del agua y, a la vez, estimula el apoyo ininterrumpido del usuario a la desinfección continua y fiable.

□ A la fecha el consumo de energía entre ánodo y cátodo del aparato MOGGOD se sitúa en promedio alrededor de 4 a 4,5 kW.H por kilogramo de oxidante producido.

□ El aparato produce únicamente la cantidad de oxidante que se necesita en un momento dado, lo que suprime el problema de almacenar grandes cantidades de sustancias fuertemente reactivas.

□ Hoy por hoy se sabe que la desinfección por esta técnica equivale cuando menos a la que se logra con cloro en el laboratorio y en instalaciones reales sobre el terreno. Contra algas, es más eficaz que el cloro. Se necesitan más experimentos para corroborar su eficacia contra varios agentes patógenos específicos.

Problemas

A pesar de la sencillez de operación y mantenimiento de los aparatos MOGGOD, estos requieren atención por lo menos una vez a la semana, y de preferencia dos veces. Es absolutamente necesario capacitar a las personas que usan esta tecnología por vez primera.

Asimismo, varias instalaciones han sido mal diseñadas y construidas, a pesar de que se proporcionaron las instrucciones y los planos apropiados. Algunas eran pequeñas casetas sin ventilación, a pesar de las claras instrucciones escritas de que tuvieran ventilación abundante; ello causó la corrosión de casi todos los objetos metálicos que había en el recinto.

El error más común en la instalación es la colocación inadecuada de los tubos Venturi, que a menudo son inapropiados para las situaciones hidráulicas prevalecientes. Estos tubos tienen límites específicos y restringidos de flujo, por lo cual es necesario escogerlos correctamente. Con frecuencia el trabajo de instalación de los tubos Venturi es deficiente, pues no se tienen en cuenta las necesidades de extracción de muestras, mantenimiento, reparaciones y sustitución. El trabajo de fontanería es sencillo, pero debe hacerse en la forma más limpia y ordenada, sin fugas y proveyendo lo necesario para el muestreo y la extracción de agua para el mantenimiento.

A causa de la posibilidad de problemas como estos, es necesaria la presencia de un técnico experto cuando uno de estos aparatos se instala por vez primera en un país o región. Asimismo, hay que hacer un esfuerzo concertado de colaboración para confeccionar un buen conjunto de planos estándar para las condiciones típicas de instalación en América Latina y el Caribe.

La parte más delicada del aparato es la membrana: hay que tener mucho cuidado de no perforarla. A pesar del adiestramiento y las advertencias acerca de la fragilidad de la membrana, a veces resulta perforada cuando el operador trata de desprender los depósitos de material sólido con ayuda de un cepillo o un destornillador, en vez de usar agua como es lo correcto. Algunas de las técnicas empleadas para instalar y reponer las

membranas no se prestan a reparaciones fáciles.

El uso de sal impura obtura la membrana y genera más problemas que cualquier otro factor. Al parecer, es grande la tentación de utilizar sal impura, y con esta la unidad funcionará algún tiempo; pero la disminución de la vida útil de la membrana es directamente proporcional al incremento en la cantidad de impurezas. Es posible limpiar la membrana con una solución ácida, pero los inconvenientes y el costo de la mano de obra son mucho mayores que la diferencia de valor entre la sal pura y la impura.

En una instalación, el agua utilizada para preparar la solución salina tenía una dureza de 650 mg/l, lo cual produjo una precipitación sobre la membrana que obligó a limpiarla cada semana. Si el agua que se utiliza para hacer la solución salina tiene una dureza mayor de 100 mg/l, sería bueno usar un ablandador de agua en el compartimiento anódico. Hace poco se comprobó que si se agrega una pequeña cantidad de un agente secuestrador como el hexametáfosfato de sodio en el compartimiento del ánodo, se reduce mucho el problema de las incrustaciones que se forman en la membrana.

Un fabricante ha informado a la OPS de que ha producido una membrana capaz de utilizar cualquier tipo de sal, pero no se han hecho estudios sobre el terreno.

Evaluación

La técnica MOGGOD no es la panacea en cuanto a la desinfección y el tratamiento de aguas, pero representa una opción satisfactoria para la desinfección en los sistemas hídricos de comunidades pequeñas. Aunque su desarrollo tecnológico apenas comienza, cabe esperar que al incrementarse la experiencia

operativa y la colaboración de los diferentes países, las organizaciones relacionadas con el agua, las universidades y el sector privado se logren progresos y mejoría rápidos en todos los aspectos del sistema.

Para saber si vale la pena el esfuerzo que entraña el desarrollo tecnológico de estos aparatos, habrá que dar contestación a varios interrogantes fundamentales:

¿Proporcionan desinfección igual o más eficiente que los métodos usados hoy en día en América Latina y el Caribe?

¿Son fiables e inocuos?

¿Cuestan menos que los métodos actuales?

¿Resuelven o evitan un número suficiente de los problemas antes señalados, como para justificar los esfuerzos que se hagan en su perfeccionamiento?

La respuesta a los dos primeros planteamientos es afirmativa; y al tercero, es tentativa: puede ser. La cuarta pregunta solo podrá contestarse cuando se tenga más experiencia. La OPS está dispuesta a continuar por dos años más el proyecto de demostración, pero a condición de que se sostengan el interés, el apoyo y la colaboración de las organizaciones e instituciones fundamentales de América Latina y el Caribe.

RESUMEN

En la actualidad, más de 75 % de las instalaciones para desinfección del agua potable existentes en América Latina y el Caribe no cumplen con su cometido en forma continua y adecuada. Por esta razón, en 1982 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) inició un proyecto para impulsar el desarrollo tecnológico de los aparatos para la desinfección del agua potable mediante una mezcla de gases oxidantes producidos *in situ* (MOGGOD), con miras a utilizarlos en las comunidades pequeñas o remotas de la subregión. Esta iniciativa se originó en el concepto fundamental de que la tecnología de alto nivel puede servir para crear métodos de desinfección sencillos, prácticos y eficaces que coadyuven a resolver los problemas que han obstaculizado la desinfección por los medios ordinarios en estos países. En el presente artículo se ofrece un informe detallado de los antecedentes, el concepto, el desarrollo y el estado actual de este proyecto de la OPS. Los resultados obtenidos en etapa muy temprana han sido muy alentadores y justifican la continuación de los esfuerzos. Por este medio se espera ayudar a reavivar la conciencia sobre la importancia fundamental de la desinfección del agua potable y alentar el mejoramiento de las técnicas y prácticas que se aplican actualmente en este campo. □

REFERENCIAS

- 1 Bersch, D. y Osorio, M. M. Studies of diarrhoea in Quindio, Colombia: problems related to water treatment. *Soc Sci Med* 21:1, 1985.
- 2 UNICEF e Instituto sobre Salud Infantil. *Action Research on Acceptability of Safe Water Systems and Environmental Sanitation by the Rural Communities of West Bengal (India)*. Calcuta, 1982.
- 3 Organización Panamericana de la Salud. Informe del taller Presentación de las guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud, efectuado en Santa Lucía, en 1984, y en Lima, Perú, en 1985. Washington, DC, 1984 y 1985.
- 4 Katz, J., ed. *Ozone and Chlorine Dioxide Technology for Disinfection of Drinking Water*. Park Ridge, NJ, Noyes Data Corporation, 1980. Pollution Technology Review, No. 67, Section 10, "Public Health Aspects of Ozone Usage."
- 5 Duquet, J. P., Brodard, E., Dussert, B. y Mallevalle, J. Improvement in the effectiveness of ozonation of drinking water through the use of hydrogen peroxide. *Ozone Sci Eng* 7:3, 1985.
- 6 Hibler, C. Inactivation and/or Destruction of the Cysts of *Giardia* with Photozone. Report of the Department of Pathology, College of Veterinary Medicine. Fort Collins, Colorado, Colorado State University, 1984.
- 7 Pendergrass, A. M., Gram, H. F., Steele D. K. y Talley, M. K. Water Disinfection with a Mixed Oxidant Solution. Presentado en el Primer Seminario Internacional sobre Desinfección con Mezcla de Oxidantes Generados *In Situ*, patrocinado por la Organización Panamericana de la Salud y celebrado en Lima, Perú, del 5 al 12 de diciembre de 1987.
- 8 México, Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Evaluación técnico-económica, equipo MOGGOD (informe). México, DF, 1987.

- 9 Olivieri, V. P. y Ramírez M. Y. Comparative Bactericidal and Viricidal Activity of On-Site Generated Oxidants Used for the Disinfection of Water. Presentado en el Primer Seminario Internacional sobre Desinfección con Mezcla de Oxidantes Generados *In Situ*, patrocinado por la Organización Panamericana de la Salud y celebrado en Lima, Perú, del 5 al 12 de diciembre de 1987.
- 10 Lim, D. V. Bactericidal Activity of TVI oxidant on *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, *Legionella pneumophila*, *Legionella micdadei*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhimurium* and *Pseudomonas aeruginosa*. Informes inéditos del 29 de noviembre de 1986 al 31 de julio de 1987, Universidad de Florida del Sur.
- 11 Patton, J. T. Sensitivity of Rotaviruses to Inactivation by TVI. Informes inéditos del 16 de julio de 1987, Departamento de Biología de la Universidad de Florida.
- 12 Hoff, J. C. *Inactivation of Microbial Agents by Chemical Disinfectants*. Washington, DC, Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos, División de Investigaciones sobre Agua Potable. En prensa.
- 13 Wickramanayake, G. B., Rubin, A. J. y Sproul, O. J. Inactivation of *Naegleria* and *Giardia* cysts in water by ozonation. *J Water Pollut Control Fed* 56(8):983-988, 1984.
- 14 Wickramanayake, G. B., Rubin, A. J. y Sproul, O. J. Effects of ozone and storage temperature on *Giardia* cysts. *J Am Water Works Assoc* 77(8):74-77, 1985.
- 15 Wabner, D. W. y Fleishman, W. D. *Electrolytic Disinfection Production for Small Water Supplies*. La Haya, International Reference Center, 1986.

SUMMARY

DRINKING-WATER DISINFECTION BY MIXED OXIDANT GASES GENERATED ON-SITE

Currently more than 75% of the facilities for the disinfection of drinking water in Latin America and the Caribbean fail to perform their function adequately and on a continuing basis. In view of this situation, in 1982 the Pan American Health Organization (PAHO) undertook a project to encourage the development of technology for on-site generation of mixed oxidant gases for disinfection of drinking water supplies (MOGGOD), with a view to their use in small and remote communities within the subregion. The basic concept behind this initiative is to use high-level technology to develop

simple, practical, and effective disinfection methods that would help to solve the problems that have hindered disinfection by conventional means in the countries of the subregion. The present article offers a detailed report on the background, concept, development, and current status of this PAHO project. Early results have been very encouraging and justify continuation of this effort. In this way it is hoped to rekindle awareness of the fundamental importance of drinking-water disinfection and to encourage the improvement of techniques and practices currently applied in this field.