

## **Subproductos halogenados de desinfección en aguas recreacionales ozonizadas**

Anton Gomà i Huguet. Ingeniero de las instalaciones técnicas del Servicio de Actividad Física de la Universidad Autónoma de Barcelona. Campus Bellaterra, 08193 Cerdanyola del Vallès.

✉ [Anton.Goma@uab.es](mailto:Anton.Goma@uab.es) ☎ 93-581.30.16 🌐 [www.uab.es/saf](http://www.uab.es/saf)

Jordi Quintana i Compte, ✉ [jquintana@agbar.es](mailto:jquintana@agbar.es), y Jesús Soler i Vilaró, ✉ [jsoler@agbar.es](mailto:jsoler@agbar.es).

Laboratorio Aigües de Barcelona, AGBAR. Passeig de Sant Joan, 39, 08009 Barcelona.

🌐 [www.agbarlab.com](http://www.agbarlab.com).

Palabras clave: Aguas recreacionales, análisis DBPs, acumulación, ozonización.

### Resumen

Las aguas recreacionales como las de piscinas acusan, en mayor medida que las de red, la formación de ciertos subproductos en el sistema local de desinfección fruto de un mecanismo de acumulación de los mismos. El uso de procesos de oxidación avanzada, como la ozonización, permiten reducir ese efecto. La valoración de la presencia de esos subproductos sin y con ozonización, así como la discusión de ciertos aspectos clave del cómo ozonizar, constituyen el objetivo de este artículo.

Keywords: Recreational water, DBPs analysis, accumulation, ozonation.

### Abstract

Recreational water like the present in swimming pools suffers, more than water from supply, formation of certain by-products in the local disinfection system because a mechanism of accumulation. Using advanced oxidation processes, like ozonation, drives to a reduction of such an effect. Assessment of the presence of these disinfection by-products with and without ozonation, as well as the discussion of certain key aspects of how to ozonate, are the aim of this paper.

### Introducción

A diferencia de los tratamientos de potabilización, el tratamiento convencional aplicado a aguas recreacionales mediante desinfectantes halogenados de efecto residual, como es el caso típico de una piscina clorada, tiene mucho en común al de un sistema de Reactor Continuo en el que el usuario final del agua se encuentra precisamente dentro de ese reactor. Es decir, en una piscina convencional la desinfección se realiza en el interior de la misma gracias a la capacidad oxidante del desinfectante disuelto en todo su volumen, el mismo en el que se encuentran los bañistas.

Se han realizado diferentes valoraciones del riesgo que supone un agua contaminada

microbiológicamente y de aquel derivado de la contaminación química generada por los subproductos que se forman cuando, por medios químicos, se intentan eliminar los microorganismos patógenos. Aunque esas valoraciones varían según el autor, existe quórum en que el balance final indica que conviene seguir “contaminando” químicamente para poder descontaminar microbiológicamente. No obstante, a la vez resulta obvio que el siguiente paso es minimizar esa contaminación química, es decir, la generación de subproductos de la desinfección.

Este anterior párrafo, que se ha escrito en numerosas ocasiones hablando del agua de suministro, adquiere una especial relevancia cuando nos trasladamos a aguas recreacionales, precisamente por esa condición de proceso en bucle cerrado que caracteriza su depuración y que produce un efecto de “amplificación” de la cantidad de ciertos subproductos generados. Ese efecto de amplificación o acumulación es el que se pondrá en evidencia en este artículo en el apartado de “Resultados en una piscina tratada convencionalmente”.

Además, el impacto de ese problema es mayor cuanto mayor es el tiempo de exposición al agua y al ambiente contaminados, afectando más a los nadadores que necesiten entrenar varias horas al día –deportistas de alto nivel-, a la vez que cuanto menor sea el peso del sujeto expuesto –niños-. Las tablas T1 y T2 muestran, como ejemplo y para el caso concreto de los trihalometanos, su presencia en piscinas así como la incidencia que suponen para esos grupos.

Concentración de Trihalometanos. Valor medio (rango)		
	Piscina cubierta	Piscina descubierta
Sangre de nadadores ( $\mu\text{g/l}$ )	0,48 (0,23-0,88)	0,11 (<0,06-0,21)
Agua de piscina ( $\mu\text{g/l}$ )	19,6 (4,5-45,8)	73,1 (3,2-146)
Aire a 20 cm sobre lámina de agua ( $\mu\text{g/m}^3$ )	93,6 (23,9-179,9)	8,2 (2,1-13,9)

*Tabla 1. Fuente: Strähle et al., 2000*

La forma de resolver ese problema consistirá en una estrategia doble. En primer lugar, evitar el uso de productos de desinfección. Ello es difícil desde el momento en que normativamente debe existir una capacidad de desinfección residual en el agua. Este requisito en las piscinas de uso

público suele conducir al uso de compuestos halogenados, cloro o bromo, mayoritariamente.

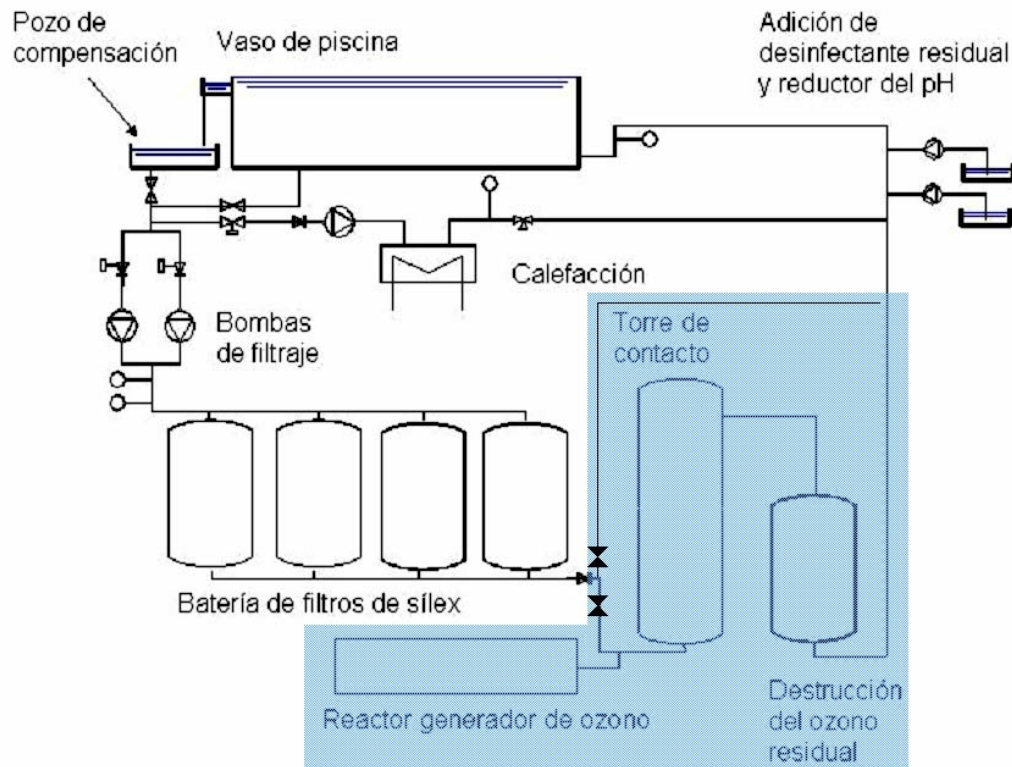
Admisión de triclorometano (cloroformo) en una piscina									
	Ingestión		Inhalación		Dermal		Total		
	µg	%	µg	%	µg	%	µg	µg/kg	peso
Niños									
Bajo	16	13	13	11	92	76	121	12	
Moderado	50	14	16	5	285	81	351	35	
Peor caso	490	24	103	5	1.411	70	2.004	200	
Nadador de competición									
Bajo	29	3	156	18	664	78	849	14	
Moderado	89	4	195	8	2.053	88	2.337	39	
Peor caso	882	7	1.236	10	10.161	83	12.279	205	

*Tabla 2. Fuente: OMS, "Guidelines For Safe Recreational-Water Environments"– Agosto 2000*

En segundo lugar, más factible resulta destruir aquellos subproductos que se hayan formado, lo cual es posible mediante algunos sistemas de desinfección complementaria, entre los que destacan la ozonización por su capacidad de destruir los subproductos de la desinfección orgánicos como los trihalometanos, haloacéticos o haloacetnitrilos. Los resultados de esta segunda estrategia son los que se mostrarán en el apartado "Resultados con ozonización".

En este punto conviene dejar sentado qué se entiende por un sistema convencional de tratamiento de agua de piscina. Es el que en esencia responde al esquema E1 en el que quedarían en by-pass las partes sombreadas.

Nota: En este dibujo se han obviado las fases de floculación, normalmente en continuo, así como los mecanismos necesarios para el contralavado de filtros u otros no relevantes para el estudio.



Esquema 1

### Aguas motivo del estudio

Se estudiaron las aguas de las piscinas de dos complejos deportivos. El primer caso corresponde a las del Servicio de Actividad Física de la Universidad Autónoma de Barcelona, que cuentan desde principios de 2002 con un sistema de depuración mediante ozonización intercalado en su sistema convencional existente hasta ese momento, tal como muestra el esquema 1 tomando también en cuenta los elementos sombreados.

Como puede observarse el 100% del agua, tratada mediante el sistema convencional de filtros de arena y posterior adición de hipoclorito sódico como desinfectante residual –tal como establece la reglamentación–, puede ser tratado en dos fases más que se intercalan entre las dos mencionadas. La primera consiste en el contacto del agua con el aire ozonizado mientras que la segunda, realizada mediante filtración por carbón activo, conlleva la destrucción del posible ozono residual libre en el agua que no ha llegado a consumirse. En este primer conjunto de dos piscinas se conmuta fácilmente para cada una de ellas del sistema de tratamiento convencional al que incluye ozonización, simplemente realizando el by-pass de esa fase. Se trata de piscinas de uso público, una de 850 m<sup>3</sup> de uso deportivo y otra de 100 m<sup>3</sup> de uso más lúdico, utilizada

diariamente por unas 500 personas. Muchas de las mediciones se han llevado a cabo en la piscina lúdica por sufrir una carga mayor –escolares, menor volumen de agua por usuario... - por lo que supone unas condiciones más desfavorables en cuanto a la presencia de subproductos. En cualquier caso, los diferentes análisis y estudios tuvieron que ser realizados respetando la reglamentación vigente para piscinas de uso público (Decreto 95/2000, Generalitat de Catalunya).

El segundo caso estudiado fue la piscina construida por AstralPool en el interior del Palau Sant Jordi de Barcelona en ocasión de los mundiales de Natación de julio de 2003. A parte del hecho singular de tratarse de una piscina desmontable, reutilizable y modular en su sistema de tratamiento, disponía de un sistema de ozonizadores que proveían de ese proceso especial al 33% del agua. Es decir, un sistema que respondía al mismo esquema E1 en el que el 67% del volumen del agua efectuaba el by-pass de la fase de ozonización.

La necesidad de disponer de un control exhaustivo de la calidad del agua antes y durante el campeonato para poder informar diariamente a la Federación Internacional de Natación, permitió a su vez disponer de los resultados que en parte se publican en este artículo. Esa piscina funcionó los primeros días tras su montaje –del 2/7/2003 al 15/7/2003- sólo con bromación, mientras que durante los días que duró el campeonato –del 16/7/2003 al 27/7/2003- funcionó además añadiendo la fase de ozonización de ese 33% del agua.

#### Materiales y métodos. Análisis de los trihalometanos y haloacetoneitrilos

El análisis de los trihalometanos y haloacetoneitrilos se realizó utilizando el método analítico de *headspace* o espacio de cabeza estático (HS/GC/ECD). Se toman 8 ml de muestra en un vial de vidrio de 10 ml, a la cual se añaden 4 µl de la solución metanólica de la mezcla de compuestos utilizados como patrones internos (bromoclorometano 50 mg/l y 1,2-dibromopropano 500 mg/l). El vial se sella herméticamente y se calienta durante 15 minutos a 70 °C. Finalmente se inyecta 0,5 ml de la fase gas en el cromatógrafo de gases.

El equipo instrumental utilizado fue un cromatógrafo de gases Fisons (Milán, Italia) modelo 8130 equipado con un inyector automático Fisons HS-800 y un detector de captura electrónica (ECD). La columna cromatográfica utilizada es una columna DB-624 (J&W Scientific, Folsom, CA, U.S.A.) de 30 m x 0,32 mm d.i. y 1,8 µm de espesor de film. La programación de la temperatura es de 40 °C (10 min) a 65 °C a 2,5 °C/min, de 65 °C (10 min) a 140 °C a 9 °C/min y hasta 220 °C (5 min) a

15 °C/min. Gas portador: Helio (85 KPa), make-up: Nitrógeno (100 KPa). Tª de inyección y del detector: 175 °C y 300 °C, respectivamente. Volumen de inyección: 0,5 ml fase gas (en *split* 1/20)

#### Materiales y métodos. Análisis de los Ácidos Haloacéticos y Hidrato de Cloral

El análisis de los Ácidos Haloacéticos y Hidrato de Cloral se realizó utilizando el método analítico de microextracción líquido/líquido (LLE/GC/ECD).

Para analizar el Hidrato de Cloral se toman 35 ml de muestra, a la cual se añaden 10 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (para aumentar la fuerza iónica y favorecer así la extracción de los subproductos estudiados) y 2 ml de *tert*-butil metil éter. Tras agitación manual se separan 0,5 ml de la fase orgánica, al cual se añaden 5 µl de la disolución utilizada como patrón interno (bromoclorometano, 10 mg/l).

Para el análisis de los Ácido Haloacéticos se toman 30 ml de muestra, a la cual se añaden 3 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc., 12 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3 g de CuSO<sub>4</sub> y 2 ml de *tert*-butil metil éter. Tras agitación manual se separan 0,9 ml de la fase orgánica. El posterior análisis cromatográfico de los Ácidos Haloacéticos se realiza sobre los correspondientes ésteres metílicos. La derivatización de los ácidos a ésteres metílicos se consigue añadiéndose 2 ml de MeOH (10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a la fase orgánica, manteniéndose la mezcla a 50 °C durante 1 hora. Transcurrido este tiempo se separan 0,4 ml del extracto orgánico resultante para su posterior análisis cromatográfico, al cual se añaden 5 µl de la disolución utilizada como patrón interno (bromoclorometano, 10 mg/l).

El análisis cromatográfico tanto de los ésteres metílicos de los Ácidos Haloacéticos como del Hidrato de Cloral se realizó en un cromatógrafo de gases Fisons (Milán, Italia) modelo 8000 equipado con un inyector automático Fisons AS-800 y un detector de captura electrónica (ECD).

La columna cromatográfica utilizada es una columna DB-1 (J&W Scientific, Folsom, CA, U.S.A.) de 30 m x 0,25 mm d.i. y 1,0 µm de espesor de film. La programación de la temperatura es de 35 °C (9 min) a 40 °C (3 min) a 1 °C/min y hasta 175 °C (5 min) a 6 °C/min. Gas portador: Helio (140 KPa), make-up: Nitrógeno (110 Kpa). Temperaturas de inyección y del detector: 175 °C y 300 °C, respectivamente. Volumen de inyección: 1 µl de extracto orgánico (inyección en *splitless* 1 min).

#### Materiales y métodos. Análisis de bromatos, bromuros y cloratos

El análisis de bromatos, cloruros y cloratos se realizó mediante la técnica de cromatografía iónica, inyectando en un sistema cromatográfico de aniones, con detección conductimétrica y supresión continua, 50 microlitros de muestra, filtrada a 0.2 micras. El eluyente usado fue carbonato de sodio

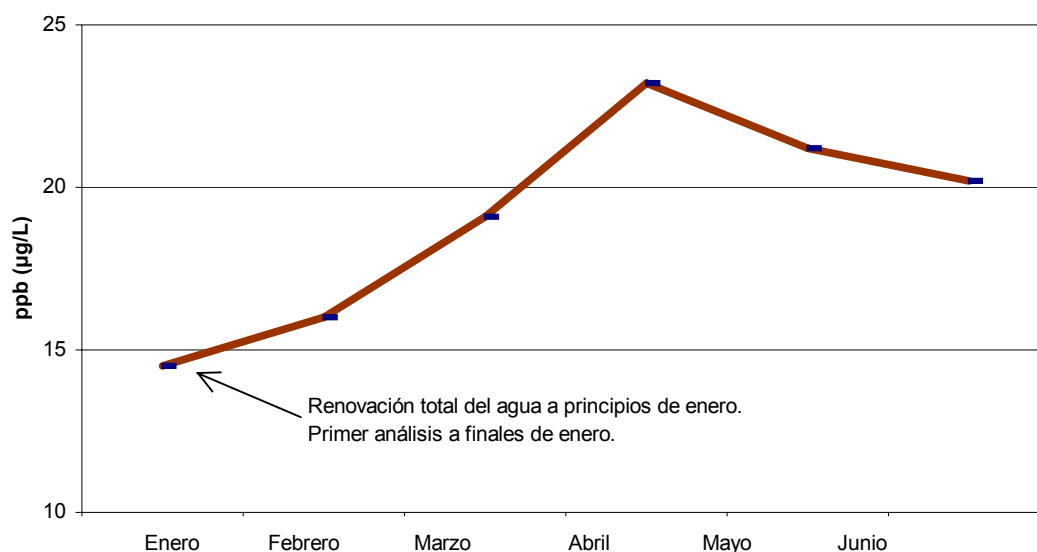
9mM, y el regenerante de la columna supresora, ácido sulfúrico 50 mN.

El sistema cromatográfico consta de una válvula de inyección Rheodyne, con un loop de 50 microlitros, una precolumna aniónica Ionpac AG9-HC, una columna aniónica Ionpac AS9-HC, una columna supresora de aniones AMMS III, y un detector conductimétrico-electroquímico ED-40, la bomba cromatográfica utilizada fue una de gradiente cuaternario GP-50, si bien trabajando en isocrático, con un caudal de 1.25 ml/min, a una presión de 2800 psi. Se utilizó un cromatógrafo iónico modular modelo DX-500, marca Dionex como el resto de instrumentos.

### Resultados en una piscina tratada convencionalmente

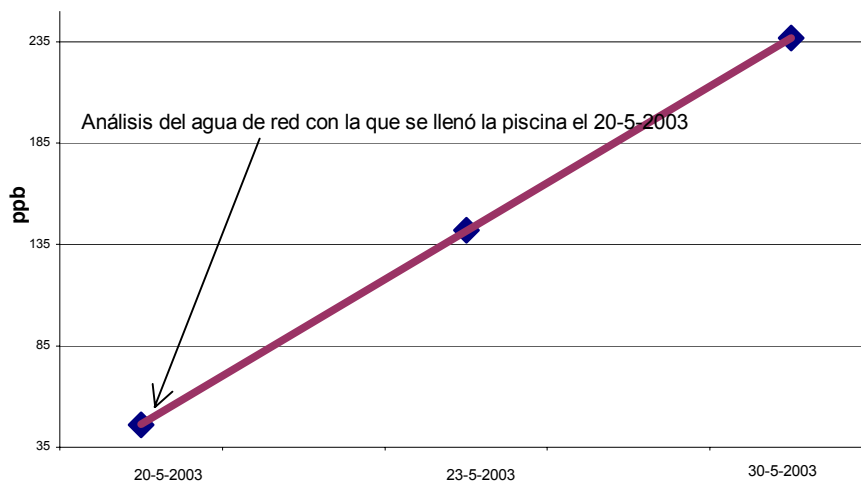
Tal como se decía, a diferencia de lo que sucede en un tratamiento de agua de red, la presencia de subproductos halogenados se “amplifica” a medida que el agua va recirculando por el sistema – unas cuatro veces diariamente- y por más que exista una renovación de parte del agua –sobre un 2% diario-. A fin de acotar esa carga progresiva de subproductos, la mayoría de reglamentaciones sobre piscinas prevén al menos un vaciado anual. No obstante tal incremento de carga de contaminantes químicos es constatable en periodos mucho más cortos –incluso minutos, si se trata de cloraminas- midiendo algunos de los subproductos que se pueden considerar indicativos principales de la contaminación producida. El gráfico 1 muestra la evolución del contenido en haloacetoneitrilos en una piscina clorada convencionalmente a lo largo de 6 meses tras la renovación total del agua a principios de enero.

**Gráfico 1. Evolución total de haloacetoneitrilos**



Resultados similares se obtienen para los diferentes ácidos haloacéticos, cuya evolución de su suma se muestra a continuación proveniente de otro estudio posterior, del 2003. En éste, el periodo entre el primer análisis y el último fue de solo 10 días y, no obstante, el aumento progresivo de ese subproducto es igualmente patente.

**Gráfico 2. Evolución del total Ácidos Haloacéticos en piscina clorada**



Finalmente, este repaso a los subproductos de desinfección que suponen una contaminación química no podía olvidar los trihalometanos, los cuales constituyen el conjunto de contaminantes fruto de la propia desinfección que probablemente mayor preocupación genera actualmente.

La tabla T3 muestra, en ppb, una muestra de los niveles de trihalometanos presentes en el agua de la red de suministro de las piscinas estudiadas.

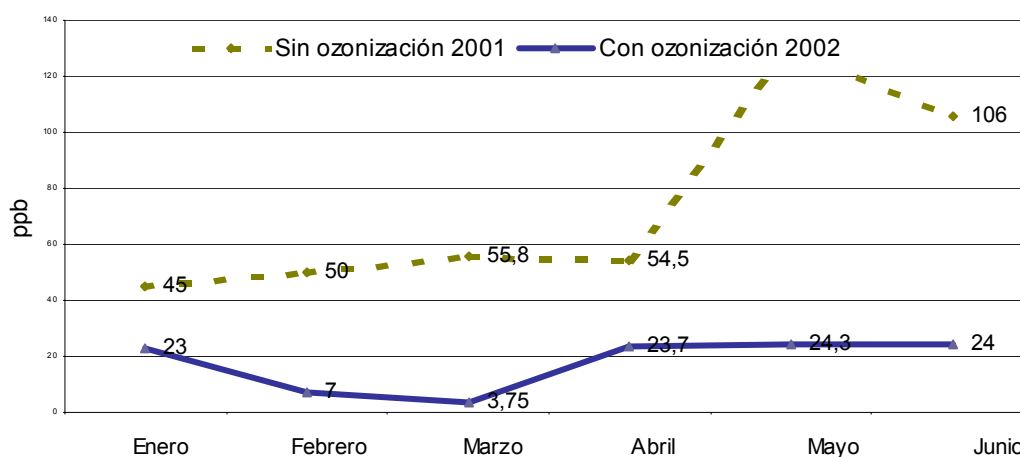
<b>Tabla 3</b>	26/06/2000	22/01/2001	24/07/2002	01/04/2003	06/05/2003	20/05/2003
CHCl <sub>3</sub>	27,5	39	60	49	44	44
BrCl <sub>2</sub> CH	22,5	2	16	17	16	16
Br <sub>2</sub> CICH	8,3	0,5	3	4	4	4
Br <sub>3</sub> CH	1,3	<0,25	1	0,6	0,3	1
total X <sub>3</sub> -CH	59,6	41,5	80	70,6	64,3	65

Esos valores de partida del agua de red se observó como se incrementaban por la generación que se produce en el proceso de depuración propio de la piscina, llegándose a medir puntualmente hasta 114 ppb en una piscina cubierta y 309 ppb en una piscina descubierta.

### Resultados con ozonización

El primer resultado observable de la ozonización es una desaceleración de la acumulación de los subproductos de la desinfección. En algún caso, puede hablarse incluso de una regeneración del agua en el sentido de que ciertas especies llegan a bajar sus concentraciones respecto aquellas que presenta el agua de red. El gráfico 3 muestra esos efectos. En el mismo, con datos procedentes de la piscina de la UAB, se observa como a diferencia de lo sucedido el año anterior durante el mismo periodo cuando solamente se cloraba, la cantidad de hidrato de cloral no aumenta sino que incluso desciende en alguna franja de tiempo –coincidiendo con un mayor número de horas de ozonización-. Por otro lado ese efecto no puede atribuirse a la renovación del agua pues precisamente los meses con valores más bajos de hidrato de cloral no fueron aquellos en que la renovación fuera mayor. Cabe destacar también que entre el último análisis de 2001, efectuado en junio, y el primero del 2002, de enero, no se efectuó ningún vaciado de la piscina, por lo que es de suponer que en el momento de arrancar la ozonización, a principios de enero de 2002, se estaba partiendo de un agua aún más contaminada que lo que reflejaron los análisis de enero tras un primer mes de aplicar ese proceso.

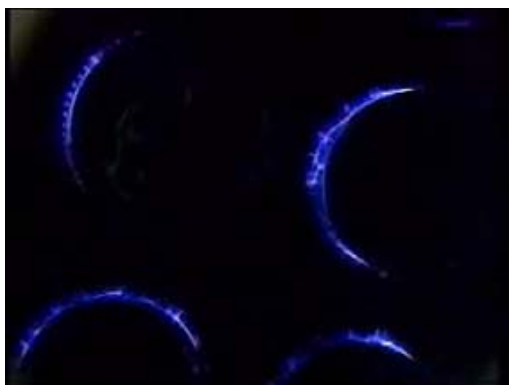
**Gráfico 3. Evolución del Hidrato Cloral**



A fin de establecer si esas reducciones de subproductos podían provenir de la fase de filtración con carbón activo que incluye la ozonización, en los estudios de 2003 se realizaron análisis del

agua cuando ésta era filtrada con el carbón activo sin ozonización previa. Los resultados, los cuales no se incluyen aquí para no extender este artículo, mostraron como efectivamente se conseguía una reducción de subproductos pero sin llegar a los niveles logrados cuando se ozoniza. Desde un punto de vista de operatividad habría que tener en cuenta que el carbón activo agotaría su vida considerablemente antes en caso de funcionar como único sistema de eliminación de subproductos, por lo que no es planteable el carbón activo como depurador por sí sólo.

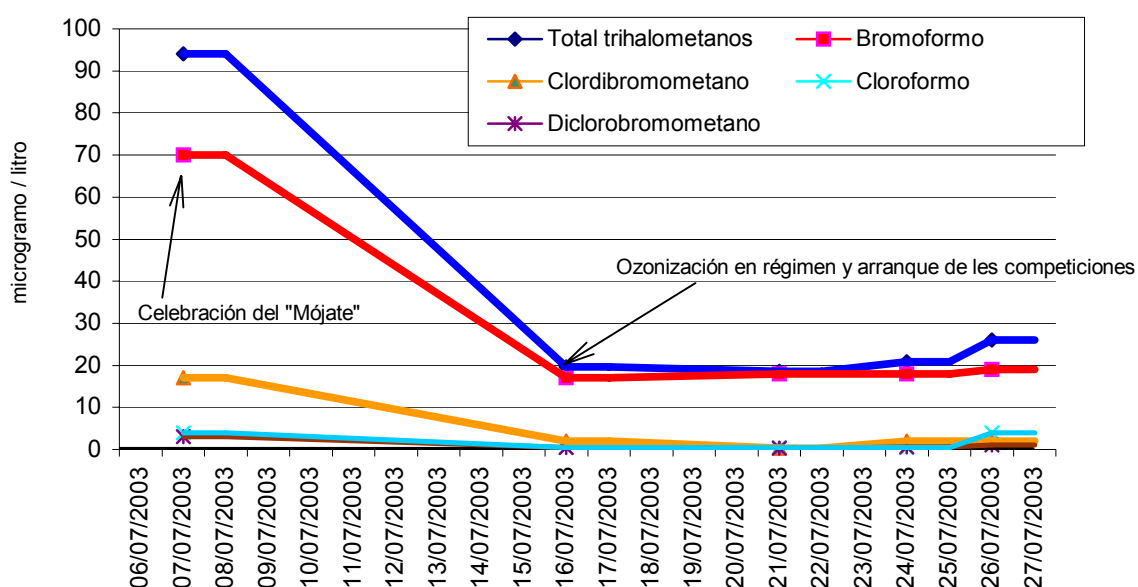
La esperable reducción de los trihalometanos debido al poder oxidante del ozono se observó claramente con el arranque de la ozonización en la piscina del Palau Sant Jordi. El día 7 de julio se había celebrado en esa piscina la edición anual del “Mójate”, una jornada de solidaridad con los enfermos de esclerosis múltiple que comportó un uso masivo de la piscina por parte del público de la ciudad. Ese uso masivo se prolongó después durante la fase de entrenamientos del campeonato en la que se registró una media de aforo de 200 nadadores durante 9 horas diarias, totalizándose 1.200 entradas al día. A partir del 16 de julio, ese uso intensivo se mantenía pero se había conseguido poner ya en régimen la ozonización, la cual había arrancado tres días antes, y se podía observar ya la referida reducción de trihalometanos. La competición en esa piscina arrancó el 20 de julio ya con unos valores reducidos y pudo mantenerse en esas condiciones hasta su desmontaje el lunes siguiente a la clausura, el 28 de julio de 2003.



Imágenes 1 y 2: Descarga eléctrica alrededor de los tubos de vidrio, donde se genera el ozono, en el interior del generador y detalle de la corona.

Esa evolución es la que se muestra en el gráfico 4.

**Gráfico 4. Evolución de la concentración de trihalometanos**  
**Piscina Olímpica del Palau Sant Jordi - Mundial de Natación Barcelona, Julio - 2003**



Notar que en esta piscina el trihalometano con mayor presencia fue el bromoformo, cuando en piscinas cloradas el que presenta un mayor contenido es el cloroformo. Ello fue así porqué el desinfectante estaba basado en el bromo en lugar de cloro.

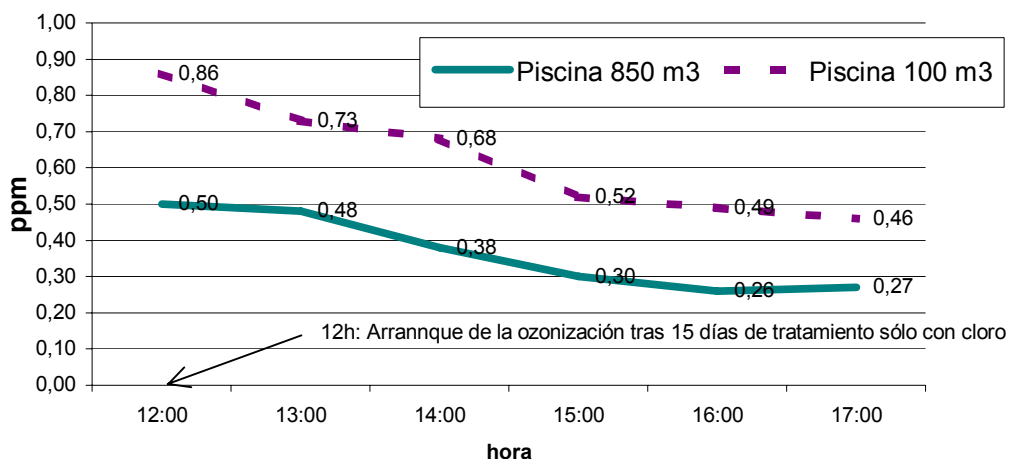
Las concentraciones de ozono de trabajo, es decir en el punto de inyección en las bases de las torres de contacto, estuvieron entre 0,2 ppm y 0,4 ppm aplicadas sobre el 33% del agua recirculada. El tiempo de recirculación de los 2.500 m<sup>3</sup> tratados fue de 4 horas, lo que supone que se trataron mediante ozonización 208 m<sup>3</sup>/h. La cantidad total de ozono consumida a lo largo de las dos semanas de ozonización fue de 18.528 gr. La cantidad de agua de renovación no supuso ninguna interferencia a los resultados ya que se mantuvo en un discreto 1,4%, correspondiente a la consumida en el contralavado diario de filtros.

La conductividad se mantuvo prácticamente constante alrededor de los 1.780 µS a lo largo de las dos semanas de campeonato, durante las cuales se ozonizó.

Si bien los subproductos de la desinfección con halogenados discutidos hasta aquí son los considerados de mayor riesgo sanitario, aquellos que percibe como mayor molestia un bañista aunque no se encuentren catalogados como perniciosos para la salud, son las cloraminas. Éstas son las causantes del típico “olor a piscina” de la mayoría de esas instalaciones y las que provocan mayores quejas en cuanto a irritaciones, olores y mal sabor del agua. Es en este subproducto donde la ozonización consigue unos resultados más espectaculares.

El gráfico 6 muestra como aguas depuradas en bucle cerrado con ozonización ven reducidos a casi el 50% sus contenidos de cloro combinado en solo 5 horas tras haber arrancado ese tratamiento después de haber estado 15 días en tratamiento convencional de sólo cloración.

**Gráfico 5. Evolución cloro combinado en dos piscinas ozonizadas**

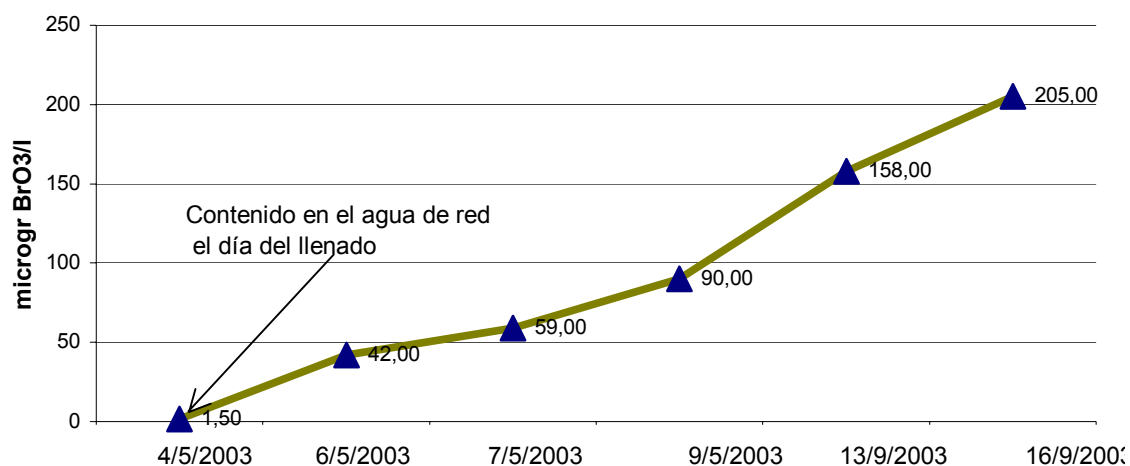


#### Subproductos de la ozonización

Uno de los principales inconvenientes que aparecen con el uso de la ozonización en depuración es la aparición de bromatos procedentes de la oxidación de bromuros presentes, bien en la propia agua de suministro o bien como impurezas del hipoclorito sódico usado, a menudo, como desinfectante residual en combinación con el ozono. Aunque no existe ninguna limitación normativa de su presencia en aguas recreacionales, la legislación actual, limita su concentración, a valores muy bajos en aguas de consumo, por lo que resulta prudente y coherente evitar que se produzcan y acumulen en una piscina.

El gráfico 7 muestra la evolución de los mismos en una ozonización del 100% del agua con concentraciones en los puntos de inyección de las cámaras de contacto alrededor de las 0,5 ppm. La renovación del agua durante este estudio no llegó al 2% diario. El volumen de agua de la piscina estudiada es de 100 m3, siendo la capacidad de filtración y ozonización de 50 m3/h. El tiempo de contacto fue de unos 4 minutos.

**Gráfico 6. Evolución de bromatos en piscina ozonizada y clorada**



Con concentraciones aún más elevadas de ozono en el punto de inyección, alrededor de los 1,5 ppm, mantenidas durante periodos más prolongados de tiempo (un mes) y aplicadas al 100% del agua, se llegaron a medir valores de 402  $\mu\text{g BrO}_3/\text{l}$ .

Paradójicamente, simultáneos a ese valor elevado de bromatos, los trihalometanos parecían haber llegado a una cota mínima de 35 ppb, lo que constituye un resultado importante indicativo de la forma cómo conviene dosificar el ozono.

Esos valores resulta muy interesante contrastarlos con los obtenidos en la piscina del Palau Sant Jordi donde la cantidad de ozono añadida fue mucho menor, tanto porque las concentraciones conseguidas fueron menores –0,3 ppm en media- como porque esas concentraciones sólo se aplicaron al 33% del agua. Los resultados obtenidos fueron los indicados en la tabla 4.

	16/07/2003	24/07/2003	26/07/2003
Bromatos ( $\mu\text{g BrO}_3/\text{l}$ )	8,6	12	10

De ahí la importancia de modular optimizadamente las cantidades de ozono añadidas.

#### Otros efectos de la ozonización

Se observó también, que el gran poder oxidante del ozono, implicaba la desaparición total del ion bromuro, presente en el agua de llenado, convertido en bromato, así como la formación y

acumulación del ion clorato, en muy elevadas concentraciones, (28750 microgramos/litro) a partir de las especies cloradas iniciales.

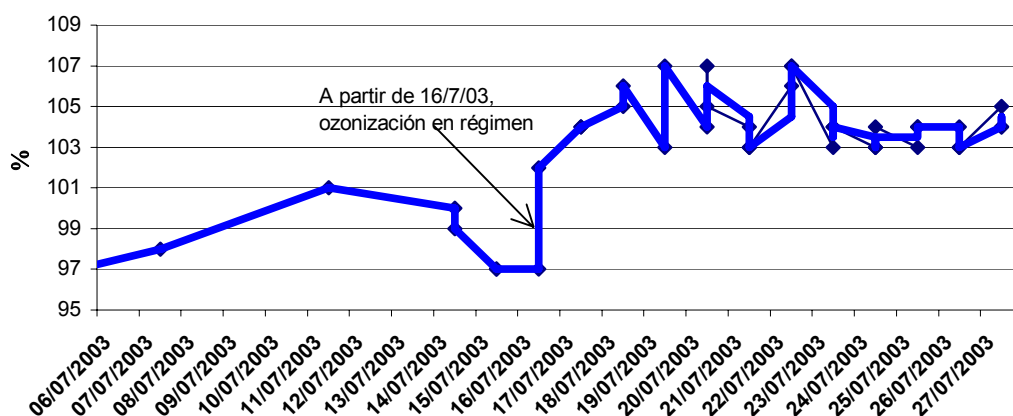
Finalmente y aunque no se trate de un subproducto de la desinfección, conviene destacar el comportamiento del porcentaje de oxígeno disuelto en ambos tratamientos, ya que ese valor es de



por sí un indicativo importante de la calidad del agua. El gráfico 8 muestra como evolucionó su nivel en la piscina del campeonato mundial de natación celebrado en el Palau Sant Jordi el 2003.

Imagen 3: Aire ozonizado burbujando en la cámara de contacto.

**Gráfico 7. Evolución de la concentración de oxígeno disuelto  
Piscina Olímpica del Palau Sant Jordi - Mundial de Natación  
Julio - 2003**



En este gráfico puede observarse como aumenta el oxígeno disuelto en el agua hasta el 107% a partir del momento en que la ozonización de un tercio del agua está en régimen. Otras mediciones realizadas en las piscinas de la Universidad Autónoma de Barcelona, dieron como resultado lecturas de hasta el 121% cuando la ozonización era del total del agua recirculada, mientras que se observan mínimos de hasta el 93% en ozonización nula.

Aunque resulta difícil determinar las causas del éxito y como anécdota, en los mundiales de natación de Barcelona celebrados con el agua ozonizada a ese 33% se consiguieron establecer 14 records mundiales, cifra excepcional no tratándose de unos Juegos Olímpicos.

## Conclusiones

La ozonización mejora la calidad de un agua depurada en bucle cerrado en el sentido de disminuir la presencia de subproductos y también en el sentido de aumentar los niveles de oxígeno disuelto.

No obstante, existen subproductos como los trihalometanos que presentan resistencia a ser reducidos por debajo de un cierto nivel que actúa como cota mínima, mientras que el aumento de la concentración de bromatos se presenta proporcional con el tiempo y con las concentraciones de ozonización. Por ese motivo, puede inferirse que la ozonización supone una mejora del agua siempre que se module correctamente la dosis de aire ozonizado sin llegar a sobreozonizar, es decir, sin llegar a la formación excesiva de otros subproductos no deseables como los bromatos.

## Bibliografía

Tesis doctoral: "Subproductos de desinfección generados en el proceso de potabilización del agua (estación de tratamiento de agua potable de Sant Joan Despí)". Beatriz Cancho Grande. Departamento de química analítica. Universitat de Barcelona. 1999.

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/Recreational\\_water/htm/Volume2/recreatII-chap4.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/Recreational_water/htm/Volume2/recreatII-chap4.htm)

Organización Mundial de la Salud. Compendio sobre toxicidad de los DBPs de desinfección de agua de piscina y sus efectos.

**Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools.** Aggazzotti G, Fantuzzi G, Righi E, Predieri G (1995) Journal of chromatography, A710: 181–190.

**Investigation of swimming and bath-water treatment.** Stauder, Stefan. DVGW Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Germany. Energie Wasser Praxis (2001), 52(7/8), 28-29. CODEN: EWAPFC ISSN: 1436-6134. CAN 136:74131 AN 2001:905106 CAPLUS (© 2002 ACS)

Tratamiento de aguas mediante oxidación avanzada. I – Procesos con ozono, radiación ultravioleta y combinación ozono / ultravioleta. Y II – Procesos con peróxido de hidrógeno. Beltran, F.; González, M.; Álvarez, P. "Ingeniería Química" febrero 1997.

**Irritating effects of disinfection byproducts in swimming pools.** Erdinger, Lothar; Kirsch, Frank; Sonntag, Hans Guenther. Hygiene Institut, Abteilung Hygiene Medizinische Mikrobiologie, Universitaet Heidelberg, Heidelberg, Germany. Zentralblatt fuer Hygiene und Umweltmedizin (1998), 200(5-6), 491-503. CODEN: ZHUMEO ISSN: 0934-8859. CAN 128:208865 AN 1998:190400 CAPLUS (© 2002 ACS)