

Original

# Contaminación del aire interior y del agua de baño en piscinas cubiertas de Guipúzcoa

Loreto Santa Marina<sup>a,b</sup>, Jesús Ibarluzea<sup>a,b,\*</sup>, Mikel Basterrechea<sup>a,b</sup>, Fernando Goñi<sup>a,b</sup>, Enrique Ulibarrena<sup>a</sup>, Juncal Artieda<sup>a</sup> e Ibai Orruño<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Subdirección de Salud Pública de Guipúzcoa, Departamento de Sanidad del Gobierno Vasco, San Sebastián, Guipúzcoa, España

<sup>b</sup> CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), España

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

### Historia del artículo:

Recibido el 13 de septiembre de 2007

Aceptado el 28 de enero de 2008

On-line el 11 de febrero de 2009

### Palabras clave:

Piscina  
Contaminación del aire interior  
Contaminación del agua de baño  
Trihalometanos  
Cloroformo  
Cloro  
Ventilación

### Keywords:

Swimming pool  
Indoor air pollution  
Bathing water pollution  
Trihalomethanes  
Chloroform  
Chlorine  
Ventilation

## RESUMEN

**Objetivo:** Describir los niveles de contaminantes presentes en las piscinas cubiertas de Guipúzcoa, tanto en el agua de baño como en el aire, y estudiar la relación entre estos contaminantes y otras variables relacionadas con los sistemas de ventilación y el uso de las instalaciones.

**Métodos:** De las 35 piscinas cubiertas registradas en Guipúzcoa se estudiaron las 20 más utilizadas por nadadores. Cada instalación se muestreó 2 días no consecutivos y se midieron los niveles de cloro libre y combinado y trihalometanos en el agua, así como los de cloro total y cloroformo en el aire. Como indicador de la renovación del aire se midió el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Resultados:** El nivel medio de cloro en el aire fue de 0,4 mg/m<sup>3</sup> y el de cloroformo de 22 µg/m<sup>3</sup>. Los valores de cloro libre y combinado de todas las piscinas se mantuvieron dentro de los valores reglamentarios. El nivel medio de cloroformo del agua de baño fue de 13,7 µg/l. El valor del cloroformo del aire puede predecirse razonablemente (R<sup>2</sup> = 0,85), y las variables predictoras son el cloroformo del agua, el CO<sub>2</sub> y el número de bañistas del día.

**Conclusiones:** Los niveles de contaminantes en el agua y en el aire de las piscinas de Guipúzcoa son inferiores a los descritos en otros estudios. Sin embargo, utilizando la concentración de 0,5 mg/m<sup>3</sup> de cloro total en aire, propuesta como valor de referencia para la protección de los nadadores con actividad intensa, un 20% de las instalaciones superarían dicho valor.

© 2007 SESPAS. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

## Indoor air and bathing water pollution in indoor swimming pools in Guipúzcoa (Spain)

### ABSTRACT

**Objective:** To describe levels of pollutants found in indoor swimming pools in Guipúzcoa (Basque Country, Spain), both in the bathing water and in the air, and to study the association between these pollutants and other variables related to ventilation systems and the use of installations.

**Methods:** Of the 35 indoor swimming pools registered in Guipúzcoa, the 20 most frequently used by swimmers were studied. Each installation was sampled on two nonconsecutive days. Free and combined chlorine and trihalomethane levels were measured in the water, while total chlorine and chloroform levels were measured in the air. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) was measured as an indicator of air renewal.

**Results:** The average chlorine level in the air was 0.4 mg/m<sup>3</sup> and that of chloroform was 22 µg/m<sup>3</sup>. In all the swimming pools, free and combined chlorine levels were within the permitted values. The average chloroform level in bathing water was 13.7 µg/l. Chloroform levels in the air could be reasonably predicted (R<sup>2</sup> = 0.85), the predictive factors being chloroform levels in the water, CO<sub>2</sub> concentrations, and the number of bathers on the day of measurement.

**Conclusions:** Levels of pollutants in the water and in the air of swimming pools in Guipúzcoa were lower than those reported in other studies. However, 20% of the installations exceeded the concentration of total chlorine in the air proposed as a reference value to protect swimmers carrying out intense activities (0.5 mg/m<sup>3</sup>).

© 2007 SESPAS. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introducción

La desinfección de las aguas de consumo y baño se ha ido realizando fundamentalmente por medio de la cloración. La adición de cloro y su reacción con la materia orgánica presente en el agua o aportada por los bañistas genera una serie de sustancias químicas conocidas como subproductos de la desinfección (SPD), entre las que se encuentran los trihalometanos (THM) y, en concentraciones inferiores, los ácidos haloacéticos o

las halocetonas, además de compuestos inorgánicos como las cloraminas, las cuales son consecuencia de la reacción del cloro con el amonio derivado de la orina y el sudor de los bañistas<sup>1</sup>. Todos estos SPD se volatilizan en mayor o menor medida y pasan a la atmósfera de las instalaciones cubiertas, en forma de gas o como pequeñas gotitas. Su concentración en el aire interior de estas instalaciones se ha asociado con las características físico-químicas del agua de baño, el funcionamiento de los sistemas de ventilación o el número de bañistas y el tipo de instalación (de natación o recreativa)<sup>2</sup>.

La práctica de la natación conduce a que las vías principales de exposición sean la dérmica y la inhalación, y en este caso es de especial interés el hecho de que la intensidad del ejercicio

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: mambien3san@ejgv.es (J. Ibarluzea).

aumenta la tasa de inhalación<sup>3</sup>. En estas condiciones, los miembros de los equipos de natación, u otras personas que practiquen este deporte frecuentemente y de forma intensa, podrían estar expuestos a niveles elevados de SPD.

Los efectos adversos para la salud con los que se han asociado los THM, principalmente el cloroformo, son diversos e incluyen desde el cáncer de vejiga<sup>4,5</sup> hasta efectos adversos en la reproducción<sup>6</sup>. Por otro lado, la exposición a SPD de naturaleza inorgánica, como las cloraminas (fundamentalmente la tricloramina), se ha asociado, en nadadores o personas expuestas ocupacionalmente al aire ambiental de piscinas, con efectos irritantes agudos en los ojos, la nariz y la garganta<sup>7-9</sup>. También se han descrito efectos respiratorios crónicos, como la hipersensibilidad bronquial permanente y el asma, aunque no de forma consistente<sup>7,10-12</sup>.

En España no se han publicado datos sobre los niveles de exposición a contaminantes en el agua de las piscinas y en el aire interior, salvo de forma muy concreta. El objetivo de este estudio es aportar información sobre los niveles de exposición a THM y cloro en el aire y el agua de baño de las piscinas cubiertas, así como analizar la correlación entre estas variables, el número de bañistas y las características del sistema de ventilación.

## Métodos

Se identificaron 35 piscinas cubiertas públicas, no familiares, registradas en la Dirección de Sanidad de Guipúzcoa. En el estudio se incluyeron las 20 piscinas cubiertas que contaban con equipos de entrenamiento para competición. En todas las piscinas, el agua de baño se desinfectaba con hipoclorito. El muestreo de aire y agua se realizó desde enero hasta abril de 2006. Los muestreos se realizaron entre las 18.00 y las 20.00 h, en dos días no consecutivos. Para la determinación de THM, el agua de baño de las piscinas se muestreó aproximadamente a 1 m del borde y a una profundidad de 20 cm, utilizando botellas de cristal ámbar de 50 ml con tapón de rosca con junta de politetrafluoretileno (PTFE), que contenía 150 µl de sodio tiosulfato al 10%, y rellenándolas para evitar la formación de burbuja de aire. Para la determinación de pH y cloro residual libre y combinado se utilizó un bote de polietileno (PE) de 500 ml. Solamente se tomó una muestra de agua de la piscina, ya que un estudio piloto previo llevado a cabo en 3 piscinas, con 11 pares de muestras en cada piscina, mostró un grado muy alto de correlación para el cloroformo ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,001$ ) y para los THM totales (TTHM) ( $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ). En el agua de baño se analizaron las cifras de cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), bromodiclorometano (BDCM), clorodibromometano (CDBM) y bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ), pH, temperatura, cloro residual libre y combinado. Con la suma de los 4 THM se calculó la concentración de los trihalometanos totales (TTHM). Los niveles de carbono orgánico total fueron obtenidos de los Programas de aguas de consumo y de piscinas de la Comunidad Autónoma del País Vasco. También se registró el número de bañistas coincidentes con el muestreo y el acumulado durante el día.

La toma de muestra de aire se realizó sobre la lámina de agua, a «nivel de la zona de respiración de los nadadores» (10-20 cm de la superficie del agua), en dos puntos de muestreo opuestos en la diagonal de la piscina. Aunque el estudio piloto también mostró altos niveles de correlación en los valores de cloro ( $r = 0,82$ ;  $p < 0,001$ ) y cloroformo ( $r = 0,85$ ;  $p < 0,001$ ) de ambos puntos (11 pares de muestras en cada instalación), se mantuvo la toma de dos muestras de aire por instalación. El valor asignado a cada instalación, cada día de muestreo, fue el de la media de ambos valores. Las muestras de aire para la determinación de cloro se tomaron mediante una bomba programada para actuar durante 15 min a un caudal de 1 l/min, haciendo pasar aproximadamente

15 l de aire a través de un sistema trampa y dos borboteadores que contenían sendas disoluciones ácidas de yoduro potásico. Las bombas se calibraron con un calibrador de flujo BIOS DCLite-M a 1 l/min. Las determinaciones de cloro total se realizaron a la mayor brevedad posible, menos de 90 min desde la toma de la muestra. Para la determinación de cloroformo en el aire se utilizaron botellas de un litro de cristal ámbar con tapones de rosca con agujero central y juntas septum de silicona, que se abrían y mantenían abiertas sobre la lámina de agua durante 1 min aproximadamente. Las determinaciones realizadas en el aire interior fueron: humedad relativa, temperatura, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxidantes clorados (expresados como cloro) y cloroformo. La información con respecto a otras variables relacionadas con el funcionamiento del sistema de ventilación (caudal de renovación, caudal de recirculación y volumen total de aire bombeado por el sistema de ventilación) pudo obtenerse en sólo 10 instalaciones partiendo de los datos aportados por los responsables de mantenimiento.

Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio de la Subdirección de Salud Pública de Guipúzcoa. Para medir el pH se utilizó un pHmetro con electrodo de vidrio y compensación de temperatura CRISON microCM2201; para el análisis de cloro en el agua y el aire se utilizó un espectrofotómetro UV visible de doble haz Shimadzu UV-160A. La determinación de cloro libre y combinado en el agua de la piscina se realizó por N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD) en tubo Nessler, determinándose espectrofotométricamente a 515 nm. Tras la reacción del cloro libre con la DPD se añade yoduro potásico y se desarrolla el color correspondiente al cloro total. Por diferencia entre ambos valores se obtiene el cloro combinado. Los equipos utilizados son calibrados y verificados periódicamente con patrones de reconocida trazabilidad. La determinación de cloro en aire se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Drobic et al<sup>13</sup>, consistente en que el cloro presente en el aire oxida el yoduro potásico de los borboteadores y libera una cantidad estequiométrica de yodo. La coloración del yodo liberado en la disolución absorbente se mide posteriormente en un espectrofotómetro UV-visible a 352 nm. Esta determinación del cloro incluye todas las formas oxidantes presentes en el aire, si bien la forma mayoritariamente predominante es la tricloramina<sup>2</sup>. Los niveles de cloro expresados en este estudio son, por tanto, muy similares a los valores estimados por los autores que expresan el cloro del aire como tricloramina. La determinación de  $\text{CO}_2$  en el aire, como indicador de la renovación del aire interior o «edad del aire», se realizó con un monitor de lectura directa de espectroscopia por infrarrojos (modelo de sensor Testo 535), que se calibraba automáticamente al inicio de cada sesión, siguiendo las instrucciones del equipo.

La determinación de THM en el agua se realizó mediante extracción líquido-líquido con pentano y posterior cromatografía de gases con detector de captura de electrones y calibración por patrón interno<sup>14</sup>. En el estudio de validación mediante adición a dos niveles, con 6 determinaciones por nivel en diferentes días, se obtuvieron recuperaciones medias entre el 91,3 y el 103,5%, con coeficientes de variación entre el 2,9 y el 6,8%. El laboratorio está acreditado en la realización de estos análisis en agua (ISO/IEC 17025:2005), participando periódicamente en ejercicios de aptitud interlaboratorios (LEAP Scheme of FAPAS: Laboratory Environmental Analysis Proficiency Scheme of Food Analysis Performance Assessment Scheme). La determinación de cloroformo en el aire se realizó por cromatografía de gases (HP 5890 series II) con detector de captura de electrones, inyectando directamente 500 µl de la muestra gaseosa con una jeringa gastight (Hamilton<sup>®</sup>) y calibrando mediante patrón externo<sup>15</sup>. Los límites de cuantificación para cada uno de los parámetros analizados en el agua fueron: 0,4 µg/l para  $\text{CHCl}_3$ , 0,2 µg/l para BDCM, 0,2 µg/l para CDBM, 0,2 µg/l para  $\text{CHBr}_3$  y 0,05 mg/l para cloro libre residual y

combinado. Los límites de cuantificación para los parámetros analizados en el aire fueron: 0,10 mg/m<sup>3</sup> para cloro total y 5 µg/m<sup>3</sup> para CHCl<sub>3</sub>.

Para el análisis estadístico se calcularon la media, la mediana, los percentiles y el rango con el objeto de describir las variables relacionadas con las características del agua y el aire de las piscinas cubiertas. La relación entre los niveles de contaminantes en el aire o el agua y las variables relacionadas con la ventilación o el número de bañistas se analizó por medio del coeficiente de correlación de Pearson, una vez comprobada la distribución normal de dichas variables. Los resultados de los parámetros inferiores al límite de cuantificación fueron sustituidos por la mitad de dicho valor.

En un análisis posterior, las variables dependientes cloro y cloroformo del aire fueron analizadas con un modelo de regresión lineal múltiple, en el que se iban incluyendo las variables independientes que mostraron una correlación significativa en el análisis bivariado, utilizando el procedimiento *forward*. Las variables se incluyeron en el modelo si su nivel de significación era <0,05 y producían una mejora de la R<sup>2</sup> superior al 5%. Se analizaron las asunciones del modelo (linealidad, normalidad, homocedasticidad, independencia de los residuos, ausencia de valores extremos y multicolinealidad entre las variables independientes). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete SPSS para Windows (SPSS, 1999).

## Resultados

Los percentiles 25 y 75, la mediana, la media y la desviación estándar de los parámetros medidos en el aire interior y el agua de baño se describen en la tabla 1. En el aire interior, las medias del cloro total y el cloroformo fueron de 0,4 mg/m<sup>3</sup> y 22 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Los valores de la temperatura del aire y del agua, la humedad relativa, los niveles de cloro libre y combinado y el pH se encontraron dentro de los límites admitidos por la Reglamentación de Piscinas de la Comunidad Autónoma Vasca<sup>16</sup>. Entre los THM en el agua de baño, el cloroformo fue la forma predominante,

**Tabla 1**  
Parámetros de calidad<sup>a</sup> del agua de baño y del aire interior de las piscinas

	P <sub>25</sub>	Mediana	P <sub>75</sub>	Media (DE)
<b>Aire</b>				
Temperatura exterior (°C)	8,2	11	14	10,9 (3,9)
Temperatura interior (°C)	27,5	28,3	28,9	28,2 (1,3)
Humedad relativa (%)	59,2	61,5	71,2	62,4 (8,7)
CO <sub>2</sub> (ppm)	735	820	980	854,1 (189,1)
Volumen total aire <sup>b</sup> (m <sup>3</sup> /h)	20,625	25,594	32,363	33,633 (20,570)
Cloro total (mg/m <sup>3</sup> )	0,29	0,38	0,75	0,44 (0,2)
Cloroformo (µg/m <sup>3</sup> )	13,5	17,2	27,7	22,0 (13,47)
<b>Agua de baño</b>				
Temperatura (°C)	27,1	27,5	27,9	27,5 (0,6)
pH	7,3	7,3	7,5	7,4 (0,22)
Cloro libre (mg/l)	0,6	0,7	0,9	0,8 (0,4)
Cloro combinado (mg/l)	0,09	0,13	0,16	0,13(0,07)
Cloroformo (µg/l)	8,8	12,4	17,4	13,7 (7,3)
BDCM (µg/l)	0,9	1,1	1,9	1,4 (0,7)
CDBM (µg/l)	0,2	0,3	0,6	0,5 (0,5)
Bromoformo (µg/l)	<LQ <sup>c</sup>	<LQ <sup>c</sup>	0,2	0,3 (0,7)
TTHM (µg/l)	11,6	14,9	18,3	15,8 (7,2)
Nadadores <sup>d</sup>	20	25	36	29,3 (14,5)

BDCM: bromodioloroformo; CDBM: clorodibromoformo; DE: desviación estándar; TTHM: trihalometanos totales.

<sup>a</sup> Dos muestreos por piscina (n = 40).

<sup>b</sup> Volumen total de aire bombeado por el sistema (renovación más recirculación).

<sup>c</sup> Menor del límite de cuantificación.

<sup>d</sup> Durante el muestreo.

con un valor medio de 13,7 µg/l, lo que representa el 86,7% del valor medio de TTHM. Los coeficientes de correlación se muestran en la tabla 2. El cloroformo en el agua de baño se correlacionó positivamente con el nivel de TTHM (r = 0,97; p < 0,01). Los niveles de cloroformo en el aire mostraron un grado de correlación positiva, moderadamente buena, con los niveles de TTHM y cloroformo del agua (r = 0,57 y r = 0,62, respectivamente; p < 0,01 para ambos), con el nivel de CO<sub>2</sub> en el aire interior (r = 0,60; p < 0,01) y una correlación negativa moderada con el número de nadadores acumulado durante el día (r = -0,50; p = 0,03). El cloro del aire mostró una correlación, débil pero significativa, con el cloro libre del agua de baño (r = 0,40; p = 0,01), y el cloroformo del aire (r = 0,43; p < 0,01), y moderada con el nivel de CO<sub>2</sub> del aire interior (r = 0,56; p < 0,01), pero ninguna asociación con el número de bañistas. El volumen total de aire (renovado y recirculado) bombeado por el sistema de ventilación mostró una correlación positiva muy elevada con el número de bañistas acumulado (r = 0,93; p < 0,01), y más moderada y negativa con el nivel de cloro en el aire (r = -0,44; p = 0,05), sin ser estadísticamente significativa con el cloroformo. El resto de los parámetros relacionados con el sistema de ventilación, el caudal de renovación y el de recirculación no mostraron ninguna correlación significativa con los contaminantes en estudio.

En el modelo de regresión múltiple, el cloro libre y el pH del agua de baño y la concentración de CO<sub>2</sub> del aire son las únicas variables que permanecen asociadas independientemente con la concentración de cloro en el aire. Asimismo, el CO<sub>2</sub> del aire interior, el número de bañistas y el cloroformo en el agua son las variables relacionadas de forma independiente con el nivel de cloroformo en el aire (tabla 3).

## Discusión

Las concentraciones medias de cloroformo y TTHM en el agua de baño de las 20 piscinas públicas cubiertas estudiadas en Guipúzcoa son de 13,7 y 15,8 µg/l, respectivamente. Los niveles medios de cloro total y cloroformo del aire interior fueron de 0,4 mg/m<sup>3</sup> y 22,0 µg/m<sup>3</sup>. Los niveles de cloroformo y TTHM del agua de baño y los de cloro total y cloroformo del aire interior son bajos comparados con los descritos en la bibliografía.

Los niveles de cloroformo del agua de baño estimados en este estudio son similares a los observados por autores como Aiking et al<sup>17</sup> y Erdinger et al<sup>18</sup>, pero inferiores a los descritos en otros estudios, en los cuales los valores medios de cloroformo eran entre 5 y 10 veces superiores<sup>15,19-23</sup>. Dada la contribución del cloroformo al TTHM, los niveles medios de TTHM de las piscinas cubiertas de también son inferiores a los observados en instalaciones similares<sup>23,24</sup>. La concentración de TTHM en el agua de la red de los municipios donde se ubican las piscinas cubiertas es muy similar a la encontrada en el agua de baño de las piscinas, a diferencia de lo observado, por ejemplo, en piscinas de Londres, donde los niveles de cloroformo se disparan, pasando de menos de 5 µg/l en la red de distribución a más de 100 µg/l<sup>23</sup>. Las menores concentraciones de TTHM de este estudio se podrían deber al hecho de que el carbono orgánico total del agua de la red y de las piscinas cubiertas es de 0,8 y 2 mg/l, mientras que en las piscinas de Londres era de 2,3 y 6,3 mg/l, respectivamente.

Los niveles de cloroformo observados en el aire de las piscinas cubiertas son inferiores a los descritos en la bibliografía<sup>15,18,20-22,25</sup>, que oscilan entre 50 y 200 µg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, los niveles de cloro total en el aire interior son muy similares a los expresados como cloro total por Drobnic et al en Cataluña<sup>13</sup> y a los expresados como cloraminas, fundamentalmente como tricloramina, en piscinas de Bélgica<sup>12,26</sup>, Francia<sup>2,7</sup> y Canadá<sup>8</sup>.

**Tabla 2**  
Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros de calidad del aire y del agua de baño

	Aire										Agua				
	Volumen total de aire <sup>b</sup>	Temperatura interior	Temperatura exterior	CO <sub>2</sub> interior	Cloro total	CHCl <sub>3</sub>	Temperatura	pH	Cloro libre	Cloro combinado	CHCl <sub>3</sub>	CHBr <sub>3</sub>	BDCM	CDBM	TTHM
<b>Agua</b>															
Nadadores <sup>a</sup>	0,93	0,01	-0,17	-0,14	0,02	-0,5	0,11	-0,07	-0,24	-0,18	-0,38	0,14	-0,14	0,08	-0,37
p	<0,01	0,97	0,31	0,52	0,94	0,03	0,47	0,68	0,13	0,27	0,09	0,4	0,55	0,61	0,09
TTHM (mg/l)	-0,43	0,15	-0,1	0,17	0,08	0,57	0,25	0,18	0,07	0,2	0,97	-0,07	0,32	-0,07	
P	0,06	0,36	0,53	0,28	0,59	<0,01	0,12	0,27	0,68	0,21	<0,01	0,69	0,12	0,65	
CDBM (mg/l)	-0,32	-0,02	-0,14	-0,03	0,01	-0,33	-0,02	0,01	0,06	-0,11	-0,31	0,91	0,95		
P	0,18	0,91	0,39	0,84	0,98	0,04	0,89	0,93	0,7	0,47	0,05	<0,01	<0,01		
BDCM (mg/l)	-0,43	-0,05	-0,12	0,16	0,26	-0,07	-0,11	0,02	0,16	-0,05	-0,02	0,95			
P	0,06	0,73	0,46	0,34	0,1	0,66	0,47	0,91	0,32	0,75	0,88	<0,01			
CHBr <sub>3</sub> (mg/l)	-0,3	0,01	-0,13	-0,07	0,01	-0,24	0,07	0,12	-0,11	-0,07	-0,29				
P	0,23	0,94	0,42	0,66	0,94	0,14	0,66	0,45	0,5	0,66	0,07				
CHCl <sub>3</sub> (mg/l)	-0,28	0,15	-0,06	0,17	0,08	0,62	0,25	0,16	0,05	0,22					
P	0,25	0,35	0,69	0,3	0,63	<0,01	0,12	0,31	0,74	0,17					
Cloro combinado (mg/l)	-0,14	0,11	-0,2	0,06	-0,1	0,21	0,11	0,09	-0,14						
p	0,56	0,47	0,33	0,7	0,52	0,2	0,48	0,58	0,38						
Cloro libre (mg/l)	-0,34	-0,52	-0,06	0,1	0,4	0,09	-0,33	-0,27							
p	0,16	<0,01	0,71	0,53	0,01	0,6	0,04	0,1							
PH	0,06	0,03	-0,29	0,14	-0,29	0,21	0,36								
P	0,8	0,84	0,07	0,4	0,07	0,19	0,02								
Temperatura (°C)	0,24	0,68	-0,02	0,17	0,08	0,33									
p	0,92	<0,01	0,9	0,3	0,61	0,03									
<b>Aire</b>															
CHCl <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	-0,26	0,08	-0,28	0,6	0,43										
P	0,29	0,64	0,08	<0,01	<0,01										
Cloro total (µg/m <sup>3</sup> )	-0,44	-0,04	-0,08	0,56											
P	0,05	0,8	0,62	<0,01											
CO <sub>2</sub> interior (ppm)	-0,25	-0,11	-0,33												
p	0,32	0,48	0,04												
Temperatura exterior (°C)	-0,2	0,27													
P	0,41	0,09													
Temperatura Interior (°C)	-0,09														
p	0,7														

BDCM: bromodicloroformo; CDBM: clorodibromoformo; CHBr<sub>3</sub>: bromoformo; CHCl<sub>3</sub>: cloroformo; TTHM: trihalometanos totales.

<sup>a</sup> Número de nadadores acumulado durante el día.

<sup>b</sup> Volumen total de aire bombeado por el sistema (renovación más recirculación).

**Tabla 3**

Modelos de regresión múltiple para la predicción de cloro total y cloroformo en el aire interior

Variable	Coefficiente $\beta$	Error estándar	p
<b>Cloro total (mg/m<sup>3</sup>)</b>			
Constante	1,94	0,91	0,04
Cloro libre en agua (mg/l)	0,15	0,07	0,03
CO <sub>2</sub> <sup>a</sup> (por cada 100 ppm)	0,07	0,01	<0,01
pH del agua (unidad) R <sup>2</sup> = 0,51	-2,95	0,12	0,02
<b>Cloroformo (µg/m<sup>3</sup>)</b>			
Constante	-23,39	9,77	0,02
CO <sub>2</sub> <sup>a</sup> (por cada 100 ppm)	0,04	0,01	0,01
Nadadores (por cada nadador)	-0,17	0,07	0,03

<sup>a</sup> Dióxido de carbono como indicador de la renovación del aire

En el análisis bivariado cabe destacar la asociación negativa entre el número de bañistas y el nivel de cloroformo del aire, contraria a la descrita previamente<sup>23,27</sup>. La correlación negativa entre el número de bañistas y los niveles en cloroformo del aire se podría explicar por la potente y positiva correlación observada entre el volumen total de aire bombeado por el sistema de ventilación (recirculado y renovado) y el número de bañistas diario acumulado, y la correlación negativa del cloro y del cloroformo del aire con el volumen total ventilado. Es decir, las instalaciones que reciben más bañistas son también las que mayor volumen total de aire ventilan, de forma que el mayor volumen de aire recirculado y renovado impediría el aumento de los niveles de contaminantes.

El modelo de regresión múltiple permite obtener un grado de predicción moderado-bajo para el nivel de cloro en el aire interior (R<sup>2</sup> = 51%), partiendo de variables sencillas de medir, como el pH y el cloro libre del agua de baño, y el nivel de CO<sub>2</sub> del aire. Lévesque et al<sup>8</sup> obtuvieron el mismo nivel de correlación entre cloraminas en el aire y el agua de piscinas, y señalan que la débil asociación entre dichas variables, a pesar de tener que ser mucho más fuerte, está muy condicionada por los sistemas de ventilación de las instalaciones. Sin embargo, el grado de predicción del cloroformo del aire es razonablemente bueno (R<sup>2</sup> = 85%) e incluye un número reducido de variables: el nivel de CO<sub>2</sub>, el número de bañistas acumulado durante el día y el nivel de cloroformo en el agua de baño. De nuevo, este modelo muestra que los niveles del aire están asociados con los niveles del agua y con las variables relacionadas con el sistema de ventilación, como el CO<sub>2</sub>. La determinación de los niveles de cloroformo en el agua permitirá tener una estimación razonable de los niveles de cloroformo en el aire, ya que las otras dos variables del modelo de predicción de cloroformo en el aire, número de nadadores y nivel de CO<sub>2</sub>, son medidas sencillas de obtener.

Los nadadores de piscinas cubiertas experimentan una mayor frecuencia de síntomas irritativos en los ojos y las vías respiratorias altas que otros deportistas menos expuestos o no expuestos a los contaminantes de las piscinas cloradas; además, el grado de evidencia es creciente en relación con los síntomas respiratorios crónicos y el asma<sup>8,10,12,28</sup>. Se han sugerido diferentes valores de referencia para los niveles de cloro en el aire interior en función de los niveles para los cuales se han encontrado efectos en los nadadores. Así, mientras Hery et al<sup>2</sup> establecieron un valor de referencia de 0,5 mg/m<sup>3</sup>, Lévesque et al<sup>8</sup> propusieron un valor más bajo: 0,37 mg/m<sup>3</sup>. De las 20 instalaciones estudiadas, 4 superan el valor medio de 0,5 mg/m<sup>3</sup> y 11 el de 0,37 mg/m<sup>3</sup>, lo cual indica que durante los entrenamientos los nadadores de estas instalaciones están expuestos a mayor riesgo de sufrir síntomas respiratorios agudos de tipo irritativo. En se han identificado varios episodios de síntomas respiratorios entre nadadores de equipos *amateurs*,

aunque en el momento de estudiarlos no se detectaron niveles elevados de cloro u otros irritantes en las instalaciones<sup>9</sup>.

Finalmente, la asociación entre el nivel de CO<sub>2</sub>, utilizado como indicador de la renovación de aire o «edad del aire», y el nivel de cloro y cloroformo, así como los de ambos contaminantes, encontrados en el aire interior, apuntan la necesidad de aplicación de nuevas medidas en tres apartados: a) mejora o adecuación de los sistemas de tratamiento de las aguas de baño, como utilización de desinfectantes alternativos, no clorados, o sistemas de destrucción de subproductos de la desinfección; b) mejora de la eficacia de los sistemas de ventilación, y c) mejora de las condiciones y prácticas higiénicas de los nadadores, reduciendo la entrada en el agua de materia orgánica y compuestos nitrogenados que sirvan como fuente de productos tóxicos.

## Financiación

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Dirección General de Deportes de la Diputación Foral de Guipúzcoa.

## Bibliografía

1. Collaboration International Programme for Chemical Safety (IPCS). Disinfectants and disinfectant byproducts. Environmental Health Criteria 216. Geneva: World Health Organization; 2000.
2. Hery M, Hecht G, Gerber JM, et al. Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. Ann Occup Hyg. 1995;39:427–39.
3. Nieuwenhuijsen MJ, Toledano MB, Elliott P. Uptake of chlorination disinfection byproducts; a review and a discussion of its implications for exposure assessment in epidemiological studies. J Exp Anal Environ Epidemiol. 2000; 10:586–99.
4. Villanueva CM, Cantor KP, Cordier S, et al. Disinfection byproducts and bladder cancer. Epidemiology. 2004;15:357–67.
5. Villanueva CM, Cantor KP, Grimalt JO, et al. Bladder cancer and exposure to water disinfection byproducts through ingestion, bathing, showering, and swimming in pools. Am J Epidemiol. 2007;165:148–56.
6. Nieuwenhuijsen MJ, Toledano MB, Eaton NE, et al. Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes: a review. Occup Environ Med. 2000;57:73–85.
7. Massin N, Bohadana AB, Wild P, et al. Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. Occup Environ Med. 1998;55:258–63.
8. Lévesque B, Duchesne JF, Gingras S, et al. The determinants of prevalence of health complaints among young competitive swimmers. Int Arch Occup Environ Health. 2006;80:32–9.
9. Basterrechea M, Castilla T, Artieda J, et al. Problemas respiratorios en nadadores de competición asociados al uso de una piscina. Rev Salud Ambiental. 2003;3:45.
10. Helenius I, Ryttila P, Sarma S, et al. Effect of continuing or finishing highlevel sports on airway inflammation, bronchial hyperresponsiveness, and asthma: a 5-year prospective followup study of 42 highly trained swimmers. J Allergy Clin Immunol. 2002;109:962–8.
11. Thickett KM, McCoach JS, Gerber JM, et al. Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming pool air. Eur Respir J. 2002;19:827–32.
12. Bernard A, Carbonnelle S, Michel O, et al. Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. Occup Environ Med. 2003;60:385–94.
13. Drobic F, Freixa A, Casan P, et al. Assessment of chlorine exposure in swimmers during training. Med Sci Sports Exerc. 1996;28:271–4.
14. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Standard method 6232B. Trihalomethanes and chlorinated organic solvents: liquidliquid extraction gas chromatographic method. Washington: AWWA and WEF; 1998.
15. Aggazzotti G, Fantuzzi G, Righi E, et al. Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. J Chromatogr A. 1995; 710:181–90.
16. Departamento de Sanidad del Gobierno Vasco. Decreto 32/2003 por el que se aprueba el reglamento sanitario de piscinas de uso colectivo. Vitoria-Gasteiz: Boletín Oficial de País Vasco N.º 88, de 8 de mayo de 2003.
17. Aiking H, Van Acker MB, Scholten RJ, et al. Swimming pool chlorination: a health hazard? Toxicol Lett. 1994;72:375–80.
18. Erdinger L, Kuhn KP, Kirsch F, et al. Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. Int J Hyg Environ Health. 2004;207:571–5.
19. Lévesque B, Ayotte P, LeBlanc A, et al. Evaluation of dermal and respiratory chloroform exposure in humans. Environ Health Perspect. 1994;102:1082–7.
20. Weisel CP, Shepard TA. Chloroform exposure and the body burden associated with swimming in chlorinated pools. En: Wang RGM, editor. Water contamination and health. New York: Marcel Dekker; 1994. p. 135–48.

21. Lindstrom AB, Pleil JD, Berkoff DC. Alveolar breath sampling and analysis to assess trihalomethane exposures during competitive swimming training. *Environ Health Perspect.* 1997;105:636–42.
22. Lévesque B, Ayotte P, Tardif R, et al. Evaluation of the health risk associated with exposure to chloroform in indoor swimming pools. *J Toxicol Environ Health A.* 2000;61:225–43.
23. Chu H, Nieuwenhuijsen MJ. Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occup Environ Med.* 2002;59:243–7.
24. Fantuzzi G, Righi E, Predieri G, et al. Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci Total Environ.* 2000;264:257–65.
25. Matthiessen A, Jentsch F. Trihalomethanes in air of indoor swimming pools and uptake by swimmers. Edinburgh, Proceedings Indoor Air Conference, 1999.
26. Bernard A, Carbone S, De Burbure C, et al. Chlorinated pool attendance, atopy, and the risk of asthma during childhood. *Environ Health Perspect.* 2006;114:1567–73.
27. Aggazzotti G, Fantuzzi G, Righi E, et al. Blood and breath analyses as biological indicators of exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci Total Environ.* 1998;217:155–63.
28. Nickmilder M, Bernard A. Ecological association between childhood asthma and availability of indoor chlorinated swimming pools in Europe. *Occup Environ Med.* 2007;64:37–46.