

Consecuencias sobre la salud y la función respiratoria del tratamiento químico del agua en piscinas cubiertas

Consequences to health and lung function of the chemical treatments of water in indoor swimming pools

Álvaro Fernández-Luna*, Pablo Burillo**, Leonor Gallardo**, Ignacio Ara***

*Universidad Europea de Madrid, **Universidad Camilo José Cela, ***Universidad de Castilla-La Mancha

Resumen: El objetivo de este trabajo fue identificar los tratamientos químicos del agua utilizados en piscinas cubiertas y los métodos para evaluar sus efectos en la función y aparato respiratorio de diferentes poblaciones asistentes a estas instalaciones. Se realizó una búsqueda de publicaciones científicas y libros sobre los tratamientos químicos en piscinas y sus efectos en la salud y la función respiratoria. Los tratamientos químicos en piscina basados en el cloro y el bromo generan subproductos de desinfección dañinos para el organismo (DBPs) como las cloraminas y los trihalometanos (THM). Existen tratamientos alternativos como ultravioleta y ozono que reducen la formación de DBPs. Los métodos de evaluación utilizados para detectar enfermedades, daño pulmonar y de las vías respiratorias son las técnicas basadas en la espirometría, y el análisis de biomarcadores en plasma o suero sanguíneo (proteínas CC16, surfactantes A, B y D, Inmunoglobulina específica), aire exhalado (óxido nítrico, citoquinas), orina (CC16, leukotrieno B4), esputo o saliva (eosinófilos y linfocitos) y DBPs en aire exhalado, sangre u orina. Los efectos observados en las diferentes poblaciones han sido el aumento de la permeabilidad del epitelio pulmonar, la inflamación de las vías respiratorias y síntomas asociados al asma, hiper-reactividad bronquial y rinitis alérgica. Los efectos negativos detectados en el aparato respiratorio de las diferentes poblaciones en piscinas están relacionados con la exposición a productos químicos. Algunos Biomarcadores (como la proteína CC16) obtienen una mayor fiabilidad. Los tratamientos complementarios (ozono y ultravioleta) no han sido evaluados y pueden suponer una reducción en los problemas respiratorios de nadadores y trabajadores.

Palabras Clave: biomarcadores, enfermedades respiratorias, espirometría, natación, subproductos de desinfección.

Abstrac: The aim of this study was to identify the effects on respiratory function produced by water chemical treatments in the indoor pools in different populations. We made a review of the scientific literature about chemical treatments of water and assessment methods used to detect health effects and respiratory function. Chemical treatments chlorine and bromine generate disinfection byproducts (DBPs) that are harmful to the body, such as chloramines and trihalomethanes (THM). There exist alternative treatments such as ultraviolet radiation and ozone to reduce the formation of DBPs. The methods used to detect diseases of the respiratory tract are spirometry, analysis of biomarkers in plasma or serum (CC16 proteins, surfactants A, B and D, etc.) and exhaled air (nitric oxide, cytokines). The health problems that have been observed are the increase in lung epithelial permeability, inflammation of the airways and other symptoms associated with asthma, allergic rhinitis and bronchial hyper reactivity. The negative effects on respiratory function are related to prolonged exposure to chemicals (chlorine and bromine) in indoor swimming pools. Some biomarkers such as protein CC16 obtain greater reliability as a measurable variable. The reduced presence of DBPs in combination water treatments may be a way to reduce respiratory problems. However, more research is needed for confirmation.

Key words: biomarkers, disinfection by products, lung diseases, spirometry, swimming.

Introducción

La natación competitiva y recreativa ha sufrido una evolución importante en las últimas décadas debido a la apertura masiva de piscinas y centros acuáticos cubiertos (Gallardo, 2006), lo que ha favorecido la práctica de este deporte durante todo el año y la accesibilidad a dichas instalaciones para todo tipo de poblaciones. Este crecimiento en la praxis acuática se ha producido en parte gracias a los beneficios que la práctica regular de la natación puede tener sobre la salud de las personas debido a las ventajas que ofrece el agua, (i.e. favorece el movimiento de las extremidades, disminuye el efecto de compresión de la columna vertebral durante su práctica y aumenta el gasto calórico) (Drobnic, 2009), especialmente para poblaciones con enfermedades crónicas musculoesqueléticas, respiratorias, degenerativas y con problemas de obesidad (Drobnic, 2009; Fernández, Roldán & Lopera, 2009; Matsumoto et al., 1999) y poblaciones especiales (Menéndez & Mendoza, 2005).

En relación a la práctica de la natación, uno de los elementos de mayor controversia en la comunidad científica durante la última década es el relativo al tratamiento químico del agua utilizado en este tipo de instalaciones, que en la actualidad y principalmente debido a su reducido coste continúa siendo mayoritariamente basado en el cloro y sus derivados, a pesar de que se ha observado que este tipo de mantenimiento se asocia a determinados problemas de salud (Lee, Ha & Zoh, 2009), así como es susceptible de provocar accidentes en piscinas por la gene-

ración de cloro gas (Agabiti et al., 2001; Almagro, Acuña, Hernández & Robles, 2009). Por ello, a raíz de numerosas investigaciones la teoría denominada «the chlorine hypothesis», nacida en Bélgica, sostiene que los subproductos de desinfección de piscinas cubiertas tienen un importante papel en el desarrollo del asma, alergias y otras enfermedades pulmonares en niños y adultos en Europa (Bernard et al., 2003; Bernard, Carbonelle, Dumont & Nickmilder, 2007; Nickmilder & Bernard, 2007). Asimismo, también han sido estudiados otros problemas de salud percibidos en piscinas cubiertas como los auditivos, dérmicos y oculares (Basler, Basler, Palmer & García, 2000; Ishioka, Kato, Kobayashi, Dogru & Tsubota, 2008; Lazarov, Nevo, Pardo & Froom, 2005; Pardo, Nevo, Vigiser & Lazarov, 2007; Wang, Liu, Shiao & Wang, 2005).

En la actualidad existen alternativas a la desinfección con cloro. Los métodos más conocidos son los basados en el bromo y el peróxido de hidrógeno. No obstante, algunos autores mantienen que pueden generar los mismos problemas de salud y mantenimiento que el cloro (Medina & Jiménez-Valenzuela, 2011). Del mismo modo, existen otros tratamientos complementarios a los anteriores que utilizan el ozono, la radiación ultravioleta y la ionización cobre-plata y que permiten mejorar la calidad del agua, puesto que están considerados más desinfectantes y que al mismo tiempo reducen la cantidad de producto químico necesaria para el tratamiento (Cassan, Mercier, Castex & Rambaud, 2006; Corominas et al., 2009; Gomà, 2001; Lee et al., 2009). Más aún, recientemente han sido publicados distintitos documentos de consenso en los que además de comparar los diferentes métodos de desinfección, se indican las diferentes recomendaciones para minimizar los problemas a través de una mejora en la ventilación de la lámina de agua y el estricto control de los parámetros establecidos por normativa sin necesidad de incluir estos tratamientos de alto coste (Corominas et al., 2009; Fernández-Luna et al., 2011; Font Ribera et al., 2010; Santa-Marina et al., 2009).

En esta revisión, se ha llevado a cabo una búsqueda actualizada de la literatura disponible tanto en inglés como en castellano sobre los efectos de los tratamientos químicos utilizados en piscinas cubiertas sobre la función respiratoria en diferentes ámbitos y poblaciones, así como sobre las posibles soluciones para que estos se vean reducidos.

Método

Diseño

Se realizó una revisión sistemática de las bases de datos científicas así como de publicaciones y libros sobre mantenimiento de instalaciones acuáticas y evaluación de problemas respiratorios en diversas poblaciones.

Estrategia de búsqueda

En primer lugar se llevó a cabo una búsqueda en Google Scholar de documentos y guías de mantenimiento de piscinas cubiertas publicados por diferentes administraciones regionales y editoriales deportivas, así como bibliografía y artículos sobre problemas respiratorios y su evaluación. Para la búsqueda de estudios originales se consultó las bases de datos Medline y Cochrane database Systematic Review, mediante las siguientes ecuaciones de búsqueda: «Swimming AND respiratory AND health, Dysinfection by Products AND respiratory AND health, Respiratory AND biomarkers, Swimming AND Asthma, Swimming AND Allergy». No se limitó por año de publicación aunque se introdujo como límite que la lengua de los estudios fuera inglés o español. Se analizaron además las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados con el fin de rescatar otros estudios potencialmente incluíbles para la revisión.

Criterios de inclusión y exclusión

En la búsqueda de literatura se incluyó todo tipo de documentos sobre tratamientos de aguas en piscinas, incluyendo legislación y documentación de congresos y cursos de formación, así como bibliografía sobre la evaluación de problemas respiratorios. Respecto a los estudios científicos, se aplicó como criterio de inclusión que los estudios realizados sobre efectos en la salud de diferentes poblaciones o la medición de los parámetros químicos en agua y aire incorporaran un análisis estadístico. El principal criterio de exclusión fue que los artículos correspondieran a un estudio de casos o se tratase de datos meramente descriptivos.

Extracción de datos

Tras la búsqueda inicial se localizaron 203 documentos de los que se excluyeron 122 por no ser relevantes para el objetivo de esta revisión. Finalmente se seleccionaron 2 revisiones, 42 estudios originales y 39 publicaciones, incluyendo bibliografía, legislación y artículos de divulgación sobre tratamientos químicos en piscinas.

Para proceder a la selección se revisaron los resúmenes y en caso necesario los artículos completos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con nuestro objetivo.

Análisis de los datos

La información analizada se estructuró en tres subapartados: uno dedicado a los métodos utilizados en la desinfección de aguas, otro de evaluación de los problemas respiratorios y otro dedicado a los efectos en el aparato respiratorio de diferentes poblaciones. Del conjunto de estudios analizados dentro de los efectos de salud se obtuvo, para cada grupo de población, información sobre: Variables de evaluación, número de participantes del grupo control y experimental, edad y principales hallazgos.

Resultados

Formación de productos derivados de la desinfección

La desinfección del agua en piscinas cubiertas se lleva a cabo con el fin de eliminar bacterias y gérmenes potencialmente nocivos para la salud de los usuarios. Para ello, se utilizan determinados productos

químicos cuya concentración debe estar limitada para que a su vez no genere otro tipo de riesgos en las personas. Tradicionalmente la sustancia a nivel mundial más utilizada para llevar a cabo estas funciones ha sido el cloro, seguido del bromo y en menor medida el peróxido de hidrógeno (Lee et al., 2009).

La mayor parte de los trabajos que se han llevado a cabo hasta la fecha respecto a los tratamientos químicos en piscinas cubiertas se han dirigido a la búsqueda e identificación de los compuestos químicos nocivos para la salud que se pueden encontrar en el agua y en el aire dentro de estas instalaciones. Así, se han identificado como principales sustancias nocivas los productos derivados de la desinfección, conocidos en la literatura como DBPs (*disinfection by products*) provenientes de la combinación de la sustancia química libre en agua con compuestos orgánicos nitrogenados como saliva, pelo, orina, piel, sudor, materia vegetal y lociones corporales (Font-Ribera et al., 2010; Kim, Shim & Lee, 2002; Richardson et al., 2010). El número de sustancias descubiertas ha ido aumentando con el avance de las técnicas de medición, que han pasado del análisis de concentración química en agua y aire por colorimetría y posterior espectrofotometría a técnicas más complejas como la cromatografía de gases (Aggazzotti, Fantuzzi, Righi & Predieri, 1995, 1998; Lourencetti et al., 2010). Las sustancias halladas han sido principalmente cloraminas que se clasifican en monocloraminas (NH₂Cl), dicloraminas (NHCl₂) y tricloraminas (NCl₃), siendo las tricloraminas las más volátiles de las tres y por tanto fáciles de encontrar en el aire de la piscina. Otros DBPs generados son los trihalometanos (THM), que pueden encontrarse tanto a nivel de la lámina del agua como en el aire del recinto, destacando el cloroformo o triclorometano (Cl₃CH), bromoformo (CHBr₃), diclorobromometano (CHBr₂Cl) y bromodiclorometano (CHBrCl₂) (Erdinger et al., 2004; Font-Ribera et al., 2010; Weaver et al., 2009).

En la mayoría de estudios se observa una asociación entre la concentración de estas sustancias con diversos problemas de salud, que llegan a incluir el padecimiento de cáncer de vejiga (Villanueva et al., 2007), o efectos genotóxicos (Kogevinas et al., 2010; Liviach, Wagner, Mitch, Altonji & Plewa, 2010). Otros autores destacan la influencia del volumen de afluencia de público a la piscina, así como la intensidad de la práctica deportiva de los nadadores en la formación de estas sustancias (Bowen et al., 2007; Weng & Blatchley, 2011). Asimismo, otro factor es el reductor de pH utilizado en el agua (generalmente ácido clorhídrico o sulfúrico) que además de que pueda reducir en exceso el pH del agua a través de un mal uso y provocar problemas de salud a los usuarios, permite que se libere una mayor cantidad de cloro gas en el ambiente (Freixa & Gomá, 2008).

Un estudio reciente ha descubierto más de 100 DBPs en 5 piscinas cubiertas, derivados en su mayoría de otros DBPs nitrogenados. Este estudio a su vez ha encontrado una mayor cantidad de bromoformo en las piscinas de bromo respecto a las de cloro. Además, se ha observado que el agua de las piscinas analizadas tienen los mismos niveles mutagénicos que las aguas de uso doméstico (Richardson et al., 2010).

Tratamientos complementarios

Los tratamientos complementarios al cloro poseen un poder desinfectante mayor, pero no pueden actuar por sí solos ya que no tienen ningún residual que se mantenga en el agua, por lo que deben actuar en combinación a un químico como el cloro, bromo, u peróxido de hidrógeno. Sin embargo, estos tratamientos provocan que las concentraciones de cloro y/o bromo sean menores. Los tratamientos alternativos más utilizados en la actualidad son los siguientes:

- Ozono: El ozono es utilizado como desinfectante en piscinas cubiertas debido a su alto poder oxidante y la menor formación de productos de desinfección. Sin embargo, al ser una sustancia que no deja residual, es necesario complementarla con otro tratamiento como el cloro y/o bromo (Lee et al., 2009). Por otra parte, el ozono según normativa no puede tener ningún tipo de concentración en el vaso, por lo que la inyección de ozono tiene lugar en depósitos de la sala de máquinas y posteriormente el ozono residual debe ser eliminado a través de filtros de carbón activo o calentando el agua antes de que esta

Tabla 1. Estudios sobre efectos en la salud de los tratamientos químicos en piscinas durante la lactancia e infancia

Referencia	Variables de Evaluación	Grupo experimental / Control (n)	Edad (años)	Principales Hallazgos
Carbonnelle et al., 2002	Concentraciones de SP-A, SP-B y CC16 en suero.	16	-	Se produjo un aumento de las concentraciones de SP-A, B aumentaron tras 1 hora en una piscina de cloro pero no en la piscina tratada con ionización cobre-plata
Bernard et al., 2003	Estudios 1 y 2: Concentraciones de CC16 SP-A y S-B e IgE en suero, Estudio 3: PEF valorado por test de broncoconstricción inducida por ejercicio	Estudio 1: 235 Estudio 2: 16 Estudio 3: 1881	E1: 8-12 E2: 5-14 E3: 7-14	E1: La asistencia a la piscina es la variable que más afecta a la concentración de SP-A, SP-B y CC16 E2: Tras una hora de exposición en una piscina no se observaron cambios en las variables E3: La asistencia a piscinas está relacionada con el padecimiento de asma
Nystad et al., 2003	Cuestionario sobre infecciones del tracto respiratorio	2862	6-16	Un mayor porcentaje de niños que asistieron a natación para bebés padecieron infecciones del tracto respiratorio respecto a los no asistentes
Lagerkvist et al., 2004	Concentraciones de CC16 en suero, volúmenes espiratorios forzados VEF1 y FVC	20 / 34	10-11	Tras realizar una hora de ejercicio en exteriores, niños asistentes a piscinas y no asistentes tuvieron cambios en la concentración de CC16 así como en los volúmenes espiratorios forzados
Bonnetto et al., 2006	Concentraciones de CC16 e IgE en suero, eNO, leucotrieno B4 en aire exhalado, volúmenes espiratorios forzados VEF1 y FVC	10	6-12	La exposición a cloro gas debido a un accidente en la piscina produjeron, un descenso en los porcentajes teóricos de VEF1 Y FVC, niveles elevados de leucotrieno B4 en aire exhalado y CC16 en suero y niveles bajos de eNO.
Carraro et al., 2006	Eno	141 / 100	7-9	No hay en los niveles de eNO diferencias entre los niños asistentes a la piscina con los que no asisten
Jacobs et al., 2012	Estudio 1: Niveles de tricloraminas y cuestionario de síntomas de asma y alérgicos. Estudio 2: CC16 e indicadores alérgicos	Estudio 1: 2359 Estudio 2: 419	6-13	Existió relación entre CC16 y las tricloraminas en las piscinas. No existió relación entre los niveles de tricloraminas y los síntomas respiratorios
Kohlhammer et al., 2006	Historial clínico y cuestionario sobre hábitos y síntomas respiratorios	2606	35-74	Existe relación entre la asistencia a piscinas cubiertas durante la etapa escolar con el posterior padecimiento de rinitis alérgica
Bernard et al., 2007	Concentraciones CC16 y SP-D e IgE en suero, eNO, VEF1 valorado por test de broncoconstricción inducida por ejercicio	341	13-16	Los niños que asistieron a la piscina durante la lactancia mostraron niveles más altos de SP-D y más bajos de CC16
Sardella et al., 2013	Concentraciones de CC16, albumina y urea en líquido nasal. IgE en la mucosa nasal	233	5-6	Se halló una correlación entre los niveles de CC16 con la asistencia de piscinas cubiertas únicamente en niñas (n=136)
Schoefer et al., 2008	Historial clínico y cuestionario sobre hábitos y síntomas respiratorios	2192	1-6	Se producen un mayor porcentaje de infecciones en las vías aéreas de bebés nadadores con menos de un año respecto a bebés no nadadores, así como la asistencia prematura a la piscina está relacionada una mayor probabilidad de padecer asma a los 6 años
Font-Ribera et al., 2009	Cuestionario sobre hábitos y síntomas respiratorios durante los últimos 12 meses	3223	9-12	Existe relación entre la asistencia de la piscina durante lactancia e infancia con síntomas de asma y rinitis alérgica
Voisin et al., 2010	Historial clínico y cuestionario sobre hábitos y síntomas respiratorios	430	5-6	Existe relación entre la asistencia a la piscina durante la lactancia e infancia con el padecimiento de bronquiolitis

vuelva al vaso (Gomà, 2001).

- Ultravioleta: los sistemas de radiación ultravioleta consisten en un tubo de cuarzo similar a un tubo fluorescente que contiene un gas inerte y una pequeña cantidad de mercurio. El agua de la piscina entra en la cámara por un extremo, cruzándola por toda su longitud antes de salir. La corriente que pasa a través del tubo la calienta más de 650°C, aumentando la presión del mercurio y provocando una potente salida de rayos ultravioleta con las longitudes de onda necesarias para la eliminación de la materia orgánica (Cassan et al., 2006, Hansen, Zortea, Piketty, Vega & Andersen, 2013).

- Ionización Cobre y Plata: Este proceso se lleva a cabo mediante la electrolisis. Se crea una corriente eléctrica generando la formación de iones de cobre y plata cargados positivamente. Estos iones buscan en el agua partículas con polaridad opuesta, como bacterias, virus y hongos. Los iones de cobre cargados positivamente forman compuestos electrostáticos con células de microorganismos que están cargados negativamente. Esto produce daño o interrupción en la permeabilidad de la pared celular y por lo tanto evita la toma de nutrientes. Los iones de cobre penetran en la pared celular creando la entrada de iones de plata. Estos penetran en el núcleo de los microorganismos, uniéndose a varias partes de la célula como el ADN y el ARN, proteínas y enzimas respiratorias impidiendo el funcionamiento normal de estos sistemas celulares. Como resultado no hay más crecimiento celular o división celular,

impidiendo la multiplicación y desarrollo de los microorganismos y provocando su muerte. Este tratamiento es un complemento del cloro o del bromo, pero no tiene la suficiente capacidad de actuar por sí solo y existen ciertas bacterias que no es capaz de eliminar (Meyer, 2001).

- Electrólisis salina: No se trata de un tratamiento complementario sino alternativo al uso del cloro, consistente en un generador de cloro a través de cloruro de sodio por el proceso de electrolisis. La reacción producida en el proceso de electrolisis consiste en que partiendo del cloruro de sodio o sal común, los iones positivos de sodio se separan de los iones negativos de cloruro, generando sodio y cloro gas respectivamente. Esta reacción genera en el medio acuático ácido hipocloroso y sosa. Después de que el ácido hipocloroso oxide las bacterias, el ácido clorhídrico resultante reacciona con la sosa generando sal y agua. Como resumen se trata de un proceso cerrado en el que no se pierde ningún producto (Medina & Jiménez-Valenzuela, 2011).

Investigaciones recientes han demostrado la menor concentración de DBPs en piscinas de ozono (Lee et al., 2009) y ultravioleta combinado con cloro (Cassan et al., 2006; Liviac et al., 2010). Sin embargo, en piscinas de electrolisis salina la concentración de THM varía, siendo en algunos casos superior (Lee et al., 2009) o inferior a las piscinas cloradas (Jacobs et al., 2007). Tomando como referencia la correlación positiva entre los problemas de salud y la presencia de DBPs en el agua, se produciría en teoría una disminución de los primeros al utilizar trata-

Tabla 2. Estudios sobre efectos en la salud de los tratamientos químicos en piscinas en nadadores de competición

Referencia	Variables de Evaluación	Grupo experimental / Control (n)	Edad (años)	Principales Hallazgos
Zwick et al., 1990	Res puesta bronquial a la metacolina metacolina, radioalergosorbancia y test de piel, Medición de células de defensa en sangre	14/14	-	Existe una sensibilidad a los alérgenos y mayor respuesta bronquial a la metacolina en nadadores respecto a grupo control
Helenius et al., 1998	Res puesta bronquial a la histamina, cuestionario, valoración de eosinófilos por esputo	29/19	-	Mayor número de eosinófilos y neutrofilos en aire exhalado y mayor respuesta bronquial a la histamina en nadadores de competición respecto a sujetos control
Helenius et al., 2002	Res puesta bronquial a la histamina, cuestionario, valoración de eosinófilos por esputo	26	21-26	Mayor incremento de hiperreactividad bronquial y eosinofitos en esputo en nadadores en activo respecto a nadadores retirados durante 5 años
Carbonnelle et al., 2002	Concentraciones de SP-A, SP-B y CC16 en suero	16	-	Incremento de las proteínas SP-A, SP-B en suero de nadadores en la piscina de cloro, pero no en una piscina de ionización cobre-plata. Incremento de la concentración de CC16 en ambas piscinas
Lévesque et al., 2006	Cuestionario, Volúmenes espiratorios forzados	145	12-16	Nadadores de competición mostraron más síntomas respiratorios que futbolistas tras un periodo de entrenamiento
Moréna et al., 2008	Eno	30	15-17	No se producen cambios en eNO exhalado en nadadores de competición tras una sesión
Pedersen et al., 2008	eNO, eosinófilos en esputo, test de respuesta a la metacolina	110	12-16	No existen diferencias en eNO, contenido de esputo, reacción a metacolina, entre asmáticos, nadadores y control
Clarrie et al., 2010	Pico espiratorio nasal y tidal forzado, eNO, test de provocación bronquial con ejercicio	36	11-26	No se producen cambios en eNO exhalado, pico espiratorio nasal forzado tras dos horas de entrenamiento
Bougault et al., 2010	Res puesta bronquial a la metacolina, cuestionario	39/30	16-27	Existen más síntomas alérgicos y una mayor respuesta a la metacolina en nadadores respecto a control. En un periodo de descanso los síntomas se igualan
Romberg et al., 2011	Concentraciones de CC16, leucotrieno B4 y 11β-PGF2α en orina, Respuesta bronquial al manitol	101	13-20	Incremento de la concentración de CC16 en orina tras una hora de entrenamiento en nadadores de competición. No hay cambios en la respuesta bronquial al manitol
Romberg et al., 2012	Cuestionario y niveles de DBPs en la piscina	Atletas: 101 Control: 1628	13-20	Se encontraron un mayor número de síntomas de asma en los nadadores respecto a la población control.
Silvestri et al., 2012	Res puesta bronquial a la metacolina, Volúmenes espiratorios forzados, Cuestionario	34	7-19	Un alto porcentaje de nadadores analizados presentan síntomas de asma, sensibilidad a alérgenos e hiperreactividad bronquial. Los valores de VEF y CVF están por encima de su desarrollo

mientos complementarios al cloro o bromo, sin embargo dada la escasez de trabajos que han evaluado estos aspectos se necesitan más estudios para confirmar esta hipótesis.

Evaluación de la función respiratoria a través de volúmenes forzados. La espirometría.

Para valorar el efecto de la práctica regular de la natación en la función respiratoria, el método más comúnmente utilizado se denomina espirometría. Esta prueba es utilizada tanto para evaluar la mejora de la capacidad ventilatoria forzada tras un programa o intervención, como para detectar posibles problemas pulmonares derivados de la práctica deportiva, así como para valorar el efecto de factores externos o las propias características del deportista (Severa Pieras & Sancho Chinesta, 2008).

De acuerdo con Severa Pieras y Sancho Chinesta (2008), esta prueba permite detectar patologías del aparato respiratorio en nadadores tales como el asma, la hiper-reatividad bronquial o el bronco-espasmo inducido por el ejercicio, utilizando para ello un equipo de medición denominado espirómetro que puede ser fijo o portátil. Los protocolos o pruebas que principalmente se aplican incluyen:

- Espirometría forzada: consistente en una inspiración máxima, no más de dos segundos de apnea y una expiración máxima hasta que no quede aire en los pulmones (intentando llegar a 6 segundos). Las repeticiones son entre 3 y 8.

- Evaluación de respuesta al ejercicio a través de un test de esfuerzo en ciclo-ergómetro o tapiz rodante: (Estos test también pueden ser adaptados al medio acuático si se dispone del equipamiento adecuado), generalmente consisten en un calentamiento de 2-3 minutos con una intensidad moderada baja para posteriormente realizar un esfuerzo incremental de aproximado de 4-6 minutos a una intensidad máxima del 90% de la frecuencia cardiaca. Se realizará la espirometría forzada antes y después del ejercicio.

- Test de hiperactividad bronquial inducida mediante fármacos: Los más utilizados son la metacolina, histamina y carbacol, el proceso consiste en la inhalación creciente de estas sustancias bronco-constrictoras para evaluar la respuesta progresiva mediante espirometría forzada.

Según la *European Respiratory Society* (ERS) y la *American Thoracic society* (ATS) (Miller et al., 2005), las variables más utilizadas derivadas de las pruebas de la espirometría son las siguientes:

- Capacidad vital forzada (FVC): Es el volumen total de aire expulsado durante una espiración de forma enérgica y forzada tras una inspiración máxima. Se expresa en litros.

- Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1): Es el volumen de aire espirado en una maniobra forzada en el primer segundo. Se expresa en litros.

- Flujo espiratorio máximo (PEF): Es el flujo más alto registrado en una maniobra forzada partiendo de una inspiración máxima. Se expresa en litros/segundo.

Tras la realización de los test, un descenso superior a unos determinados valores límite de los porcentajes teóricos o los volúmenes ventilatorios del FEV1, FVC y/o PEF, se asocian al padecimiento de algunas de las patologías anteriormente mencionadas (Severa Pieras & Sancho Chinesta, 2008). En el ámbito de la natación estos test han sido aplicados en estudios recientes tanto para valorar los efectos positivos de la natación en la función respiratoria de poblaciones especiales (Arandelovic, Stankovicm & Nikolic, 2007; Fernández et al., 2009; Lotshaw, Thompson, Sadowsky, Hart & Millard, 2007) como para exponer los efectos negativos tanto a corto como a largo plazo de los tratamientos químicos (Font-Ribera et al., 2010; Helenius et al., 2002).

Bio-marcadores para la evaluación del daño pulmonar

Los bio-marcadores hacen referencia a la presencia de un contaminante (xenobiótico) en un fluido biológico que refleja una exposición, una respuesta celular precoz, o una susceptibilidad inherente o adquirida, proporcionando una estrategia para la resolución de estos problemas (Gil, 2010).

Los bio-marcadores utilizados para evaluar la función respiratoria se clasifican dentro del grupo de respuesta (o efecto). Estos bio-marca-

dores indican cambios bioquímicos en un organismo como resultado de la exposición a xenobióticos. Incluyen modificaciones en la composición celular sanguínea, alteraciones en actividades enzimáticas, aparición de aductos del ADN, aumento de determinadas proteínas, e incluso aparición de anticuerpos específicos (auto-anticuerpos) contra un xenobiótico o frente a fracciones celulares (núcleo, membrana, etc.) (Gil, 2010).

La comunidad científica ha trabajado con bio-marcadores para observar los efectos tóxicos de la cloración en piscinas sobre las vías respiratorias. Estos estudios suelen tener como complemento valores espirométricos con el fin de tener una perspectiva funcional y completa del efecto pernicioso de los DBPs en el aparato respiratorio. Los principales bio-marcadores de la función pulmonar y los métodos utilizados en su análisis se desarrollarán a continuación.

Proteínas en Suero Sanguíneo

Proteína CC16

Las células clara son uno de los micro-organismos del epitelio pulmonar con diversas funciones, donde destaca la protección de las vías respiratorias frente a agentes tóxicos inhalados, la reparación del epitelio pulmonar dañado, y la secreción de proteínas que realizan importantes actividades como las proteínas surfactantes y la proteína Célula Clara (CC16) (Broeckeaert, Clippe, Knoop, Hermans & Bernard, 2000). Esta proteína, cuya principal función es anti-inflamatoria, ha sido identificada como un indicador sensible tanto del número de células clara como de la integridad de la barrera del epitelio pulmonar. Sus mayores concentraciones están en el líquido bronco-alveolar y en el esputo, pero también se puede encontrar en el suero sanguíneo (Broeckeaert et al., 2000), en la orina (Caro & Gallego, 2008; Romberg, Bjemer & Tufvesson, 2011) y en el líquido nasal (Sardella, Voisin, Dumont, Marcucci & Bernard, 2013).

Los niveles de CC16 pueden ser interpretados según la exposición al contaminante. Así la exposición crónica conlleva un descenso en los niveles de CC16 en suero como indicador de la destrucción de células clara, como se ha dado en estudios realizados con fumadores, pacientes con EPOC, y trabajadores expuestos a determinados compuestos químicos (Gil, 2010).

Por otra parte, la exposición puntual a un contaminante conlleva un aumento de los niveles de CC16 como indicador del aumento de permeabilidad entre la barrera bronco-alveolar y la sangre (Gil, 2010). En el caso de la natación, el aumento de esta proteína ha sido relacionada con la actividad física y el estrés mecánico producido en el epitelio pulmonar (Carbounell et al., 2002; Font-Ribera et al., 2010; Romberg et al., 2011). Aunque en otros estudios se ha observado una disminución de la concentración de esta proteína asociada a la exposición a los tratamientos químicos en piscinas cubiertas durante la lactancia (Bernar et al., 2007).

Proteínas Surfactantes A, B y D

Las proteínas SP-A y B forman parte del sistema surfactante del pulmón y se asocian fácilmente con fosfolípidos, encontrándose concentraciones de estas proteínas en los cuerpos laminares y la mielina tubular. Principalmente, el interés de la investigación en estas proteínas se deriva de su papel en la homeostasis del surfactante. Recientemente, se ha mostrado más interés en el papel de las proteínas SP-A Y SP-B como moléculas de defensa y sus interacciones con patógenos y células fagocíticas. Por otra parte, la proteína SP-D tiene menos relación con el sistema surfactante y su única función es la de defensa (Kishore et al., 2006; Mason, Greene & Voelker, 1998), destacando su papel como bio-marcador en suero sanguíneo de enfermedades pulmonares como la EPOC (Sin, Leung, Gan & Man, 2007), el asma (Cheng et al., 2000; Wang, Shieh, Yu & Lei, 2001) y la inflamación en las vías respiratorias inducida por alergia (Wang & Reid, 2007).

En piscinas cubiertas el aumento de la concentración en suero de estas proteínas se ha asociado a la exposición al tratamiento químico cloro, con resultados dispares. Así, en algunas investigaciones se encuentran relaciones entre las concentraciones séricas de SP-A y SP-B y

la asistencia prolongada a piscinas cubiertas (Bernard et al., 2003). Mientras que las exposiciones cortas de aproximadamente una hora de nadar muestran resultados contradictorios, sin mostrar diferencias en el caso de la SP-D (Font-Ribera et al., 2010), o aumentando significativamente en el caso de la SP-A y B (Bernard et al., 2003; Carbonnelle et al., 2002).

Immunoglobulina específica

La determinación en sangre la inmunoglobulina específica (IgE) es una técnica de inmuno-análisis con una fase sólida, que consiste en una estructura tridimensional de celulosa, a la que va unida de manera covalente el alérgeno estandarizado. La fase sólida se pone en contacto con el suero del paciente, cuya IgE reaccionará con el alérgeno (Tora & Moral, 2004). Dentro de la investigación en piscinas cubiertas se ha evaluado la inmunoglobulina específica con los neumo-alérgenos más comunes en poblaciones infantiles, sin encontrar diferencias significativas entre niños asistentes a las piscinas cubiertas y no asistentes (Bernard et al., 2007).

Bio-marcadores en Aire exhalado

Óxido nítrico exhalado

El óxido nítrico exhalado (eNO) es un bio-marcador no invasivo de la inflamación pulmonar, que ha sido asociado a numerosas enfermedades y problemas respiratorios como el asma, EPOC, rinitis, tos crónica, cáncer de pulmón y enfermedades ocupacionales (Kharitonov & Barnes, 2001). La principal vía de medición de este producto es el sistema de monitorización NIOX (Silkoff et al., 2004).

En la investigación de piscinas cubiertas, el eNO ha sido uno de los principales bio-marcadores en aire analizado, obteniendo resultados con cierta controversia en función de las poblaciones estudiadas, así en algunos casos se han encontrado descensos significativos tras un accidente con el producto químico en piscinas cubiertas como indicadores de la inflamación pulmonar (Bonneto et al., 2006), mientras que en otras investigaciones no se han obtenido cambios significativos tras una sesión de nado (Carraro et al., 2006; Clearie et al., 2010; Font-Ribera et al., 2010; Moreira et al., 2008) o diferencias entre asistentes o no asistentes a piscinas cubiertas (Pedersen, Lund, Barnes, Kharinotov & Backer, 2008).

Otros bio-marcadores en Aire exhalado Condensado

El aire exhalado condensado (EC) es un fluido obtenido a través del enfriamiento del aire durante el ciclo ventilatorio en condiciones normales, dando lugar a un método no invasivo para analizar diferentes aspectos de la biología y patologías de la función pulmonar. Una gran variedad de moléculas provenientes de la superficie de las vías respiratorias pueden ser medidas por este método, destacando las citoquinas, indicadores del estrés oxidativo y otros elementos ligados a la inflamación de las vías respiratorias como los metabolitos del ácido araquidónico (Bonneto et al., 2006).

El EC ha sido evaluado en estudios en piscinas cubiertas con una exposición breve a los DBPs a través de nado, hallando la concentración de elementos como el 8-isoprostano y las citoquinas (indicadores del estrés oxidativo). Asimismo, también se han evaluado los efectos en el organismo de accidentes en piscinas cubiertas, cuando los niveles de tratamiento químico estaban más elevados de lo habitual, a través leucotrieno-B₄, un indicador de la inflamación, sin encontrarse diferencias significativas en estos bio-marcadores tras la exposición (Bonneto et al., 2006; Font-Ribera et al., 2010). No obstante, moléculas como el leucotrieno-B₄ y la 11 β -prostaglandina F₂ α también pueden ser obtenidas a través del análisis de la orina, siendo utilizadas como marcadores de broncoconstricción después del nado (Romberg et al., 2011).

Bio-marcadores en esputo/saliva

La evaluación de los bio-marcadores de la función pulmonar a través del análisis del esputo es una técnica válida para las proteínas del epitelio pulmonar como mencionamos anteriormente, así como para

evaluar diferentes componentes celulares de las vías respiratorias relacionadas con la hiper-reactividad bronquial y la inflamación (Helenius et al., 1998). Así, se ha demostrado que los nadadores de rendimiento tienen un porcentaje significativamente mayor de eosinófilos respecto a sujetos control (Carraro et al., 2008), y eosinófilos linfocitos obtenidos por esputo respecto a nadadores desentrenados (Helenius et al., 2002).

Otros índices indirectos de daño pulmonar. Presencia de DBPs en aire exhalado, sangre y orina

Otro indicador del posible efecto nocivo del tratamiento químico es la presencia de DBPs en el organismo, aunque no se trata de un biomarcador, sino de un indicador indirecto de un posible daño pulmonar ya que son sustancias externas al organismo que han sido previamente inhaladas o absorbidas (Aggazzotti et al., 1998). Los DBPs puede ser medidos a través del análisis del aire alveolar exhalado (Aggazzotti et al., 1995; Fantuzzi et al., 2010; Lindstrom, Pleill & Berkoff, 1997; Lourencetti et al., 2010), en sangre (Agazzotti et al., 1998), y también en orina (Caro & Gallego, 2007, 2008). El compuesto evaluado en la mayoría de investigaciones es el cloroformo, encontrándose concentraciones mayores tras la exposición, asociándose estos a inhalación de DBPs a causa la intensidad de la actividad física realizada (Aggazzotti et al., 1998). No obstante, el cloroformo está más asociado al padecimiento de cáncer (WHO, 2000; Villanueva et al., 2007), aunque existen otros estudios en los que los THM están relacionados con los síntomas respiratorios sin especificar si se trata de cloroformo u otro tipo de THM (Fantuzzi et al., 2010). Aunque recientemente Font-Ribera et al. (2010) establecieron correlaciones entre varios tipos de THM con el aumento de la concentración sérica de la proteína CC16. Los DBPs más vinculados con la función pulmonar son las tricloraminas, aunque no se tiene constancia de su evaluación en aire exhalado u orina en otros estudios (Nieuwenhuijsen, 2007).

Efectos de la natación en piscina cubierta sobre la función respiratoria y la salud

Beneficios en la función respiratoria

A pesar de la presencia de sustancias nocivas en aire y agua, la práctica de la natación tiene efectos positivos en la función respiratoria gracias a las características particulares de este deporte y el medio en el que se realiza. Un ejemplo de ello es que los nadadores de rendimiento suelen obtener mayores volúmenes respiratorios que los atletas de otras disciplinas y un desarrollo de la función pulmonar superior al normal (Silvestri et al., 2013). Por otra parte, la humedad en el ambiente es beneficiosa para que no se produzcan bronco-espasmos en pacientes asmáticos (Matsumoto et al., 1999). Otros estudios destacan la mejora en parámetros respiratorios como el Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV₁) y la capacidad vital (FVC) tras la práctica de un programa de natación en una población con sujetos sanos y asmáticos (Fernández et al., 2009), produciéndose el mismo efecto en sujetos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Lotshaw et al., 2007; Wandell, Sundelin, Henriksson-Larsén & Lundgren, 2004). Del mismo modo, se han realizado intervenciones semejantes en sujetos asmáticos en piscinas con agua caliente, no cloradas, obteniendo unas mejoras en el FEV₁, la FVC y el flujo espiratorio máximo (PEF) (Arandelovic et al., 2007).

Problemas respiratorios asociados a los tratamientos químicos de piscinas en lactancia e infancia

A pesar de que la investigación de los efectos nocivos de los tratamientos químicos en el agua se ha venido desarrollado durante décadas, han sido principalmente los estudios en poblaciones infantiles los que han hecho saltar las alarmas sociales relativas a los posibles efectos de los DBPs en la salud de los nadadores, y los que han hecho desarrollar un mayor número de investigaciones sobre esta población como puede observarse en la Tabla 1. Dentro de estas investigaciones cabe destacar el estudio comparativo transversal entre poblaciones de niños no asistentes a la piscina versus niños nadadores y/o asistentes a la piscina. En

esta investigación los niños que habían asistido a una piscina cubierta durante la lactancia mostraron valores menores de los bio-marcadores en suero sanguíneo CC16 y SP-D respecto a los niños que no habían asistido, indicando daño en las células clara y alteraciones en la barrera del epitelio pulmonar. No obstante, no se observaron diferencias en las concentraciones de IgE y el eNO. Así mismo, los hallazgos se correlacionaron con el padecimiento de asma y bronquitis durante la adolescencia (Bernard et al., 2007). De la misma manera, se encontró una concentración de CC16 inferior en el líquido nasal en niñas nadadoras, aunque no en niños (Sardella et al., 2013). En otra investigación, se encontró un incremento de la cantidad de proteínas SP-B y SP-A tras una hora de exposición al ambiente de la piscina estableciéndose la asistencia a la piscina como el mayor marcador de las alteraciones en la barrera del epitelio pulmonar (Bernard et al., 2003). Un estudio ecológico del mismo grupo de investigación asoció la existencia de piscinas cubiertas y que utilizaban diferentes productos desinfectantes en determinadas zonas de los países europeos con el padecimiento de asma infantil (Nickmilder & Bernard, 2007). Estas investigaciones han sido cuestionadas por algunos autores, en parte por las limitaciones de los estudios ecológicos y la falta de medición de tricloraminas en aire y agua de la piscina para establecer correlaciones (Eggleston, 2007), así como la no especificidad de variables como el eNO, que puede verse alterado en invierno por la presencia de virus e infecciones (Nieuwenhuijsen, 2007).

Nystad, Nja, Magnus y Nafstad (2003) establecieron un porcentaje significativamente más alto de padecimiento de infecciones respiratorias y auditivas en niños que habían asistido durante la lactancia a natación respecto a los niños que no lo habían hecho. En la misma línea, Kohlhammer, Döring, Schäfer, Wichmann y Heinrich (2006) observaron que la asistencia a la piscina durante la edad escolar tienen una relación directa con una mayor sensibilidad a los alérgenos, y Schoefer et al. (2008) hallaron un mayor índice de infecciones en las vías aéreas de bebés nadadores con menos de un año, así como una mayor probabilidad de padecer asma a los 6 años. Un estudio similar llevado a cabo en España por Font-Ribera et al. (2009) estableció relaciones entre la asistencia durante el periodo de lactancia a piscinas con una mayor presencia de rinitis alérgica, y síntomas de asma. Otra investigación muestra como los niños que asisten a piscinas cubiertas padecen en mayor porcentaje bronquiolitis en comparación con los que no lo hacen (Voisin, Sardella, Marucci & Bernard, 2010). Bonetto et al. (2006) estudiaron los efectos de una exposición accidental al cloro gas en niños asistentes a una piscina cubierta, observando aumentos en la concentración sérica de CC16 y los leucotrienos B4, así como un descenso del eNO y de los volúmenes espiratorios forzados FEV1 y FVC. Sin embargo, y de forma contraria existen trabajos donde no se encontraron diferencias en la concentración de CC16 en suero de niños nadadores respecto a niños no nadadores tras la práctica de ejercicio al aire libre, pero sí entre ellos siendo inferiores los niveles de los niños nadadores (Lagerkvist et al., 2004). De la misma manera, no se encontraron diferencias en la cantidad de eNO entre niños que asistían dos horas a la semana a la piscina respecto a los que no (Carraro et al., 2006). Como último aspecto a destacar, en las piscinas al aire libre también se pueden observar síntomas de asma y alergia en adolescentes, como exponen Bernard, Nickmilder y Voisin (2010) en un estudio llevado a cabo a 847 estudiantes de secundaria que habían asistido piscinas residenciales en verano, estableciéndose una correlación entre la mayor cantidad de horas de asistencia a estas instalaciones, con una mayor concentración de IgE y eNO en suero sanguíneo.

Problemas respiratorios asociados a los tratamientos químicos de piscinas en población adulta

La investigación en adultos nadadores se ha visto reducida por la gran cantidad de estudios relativos a poblaciones más expuestas (como nadadores de rendimiento o trabajadores) o más sensibles al tratamiento químico en piscinas cubiertas (niños). No obstante, investigaciones recientes han focalizado su atención en los posibles efectos perniciosos en la función pulmonar a causa del nado en piscinas cubiertas en adultos

cuya práctica era recreativa y no deportiva. Font-Ribera et al. (2010) analizaron el efecto de una única sesión de 40 minutos en 48 adultos no fumadores, utilizando como variables la permeabilidad del epitelio pulmonar a través de las proteínas CC16 Y SP-D, la valoración de la inflamación de las vías respiratorias con eNO, la evaluación de 8-isoprostano y algunas citoquinas como indicadores del estrés oxidativo, así como la valoración de los volúmenes ventilatorios forzados. Estos autores encontraron un aumento significativo de la proteína CC16, correlacionada a su vez con la energía consumida durante el nado (en Kilocalorías). Siguiendo la línea de estudios anteriores en los que se comparan piscinas con diferentes tratamientos, Fernández-Luna et al. (2013) han establecido una mayor concentración de la proteína CC16 en sangre de nadadores amateur tras un entrenamiento de tres meses en una piscina de cloro, respecto a otro grupo que realizó el mismo entrenamiento en una piscina de bromo y ozono.

Por otra parte, existen también estudios epidemiológicos, como el llevado a cabo por Ferrari et al. (2012) en nadadores adultos amateur, donde resultados indican que una mayor asistencia en horas conllevaba el padecimiento de un número mayor de síntomas respiratorios asociados al asma, aunque sin embargo comparando los nadadores con una muestra de la población general, los primeros presentaban unos síntomas respiratorios inferiores.

Problemas respiratorios asociados a los tratamientos químicos de piscinas en nadadores de rendimiento

En primer lugar cabe destacar que los nadadores de rendimiento poseen unos volúmenes respiratorios forzados superiores a otros atletas, y mejores hábitos de vida, aunque también poseen una mayor probabilidad de padecer asma y/o hiper-reactividad bronquial (Romberg, Tufvesson & Bjerner, 2012; Silvestri et al., 2012). El impacto en la salud de los tratamientos químicos del agua en piscinas ha sido estudiado en profundidad en los nadadores de rendimiento por la mayor duración de su exposición y la intensidad del ejercicio que les hace inhalar una mayor cantidad de DBPs presentes en la lámina de agua (Aggazzotti et al., 1998; Carbonnelle et al., 2002; Edinger et al., 2004).

Así, los primeros estudios en esta población establecían la existencia de una mayor respuesta bronquial a la metacolina en nadadores de rendimiento, como síntoma de la hiperreactividad bronquial, respecto a un grupo control (Zwick, Popp, Budik, Wanke & Rauscher, 1990). En la misma línea, el único estudio longitudinal que hemos podido encontrar, establece unos mayores índices de hiper-reactividad bronquial y de eosinófilos y linfocitos (indicadores de la inflamación de las vías respiratorias) en nadadores activos respecto a nadadores retirados, volviendo a valores normales los nadadores retirados tras un periodo de inactividad (Helenius et al., 2002).

Uno de los parámetros más estudiados en nadadores es el eNO, el cuál además de recibir críticas negativas por su baja especificidad como vimos anteriormente, no muestra diferencias significativas tras la exposición a los productos de desinfección en nadadores de competición (Clearie et al., 2010; Moreira et al., 2008), así como comparando nadadores con poblaciones control (Pedersen et al., 2008).

Carbonelle et al. (2002) evaluaron las proteínas indicadoras de alteraciones en el epitelio pulmonar SP-A, SP-B y CC16 en el suero de nadadores entrenados, además de comparar su concentración en función del tratamiento químico utilizado (cloro o cloro combinado con ionización cobre y plata). Los resultados mostraron que las concentraciones de SP-A, SP-B y CC16 aumentaron significativamente tras 45 minutos en la piscina de cloro, mientras que en la piscina de ionización cobre y plata sólo se vieron incrementadas las concentraciones de SP-A y SP-B. Otros investigadores han evaluado el efecto de el test de provocación bronquial con manitol en la concentración de CC16 en orina en comparación con el ejercicio durante una hora en nadadores de élite en piscinas cloradas, encontrando que no se producen cambios en la concentración de CC16 tras el test de respuesta bronquial al manitol, pero sí tras el ejercicio. Lo que indica que la concentración de CC16 en orina es un marcador sensible de estrés del epitelio pulmonar (Romberg et al., 2011).

Los estudios epidemiológicos, como en el que se compara la frecuencia de percepción de síntomas de rinitis alérgica en nadadores y población control, muestran una percepción significativamente mayor durante el entreno en los nadadores, sin mostrar diferencias después del entreno entre las dos poblaciones (Bougault, Turmel & Boulet, 2010).

Problemas respiratorios asociados a los tratamientos químicos en trabajadores a pie de piscina: Socorristas y monitores

Los socorristas acuáticos, monitores y entrenadores son otra de las poblaciones que están expuestas durante un mayor cantidad de horas a los DBPs que se producen como consecuencia de la desinfección del agua de las piscinas, debido a que el cloroformo y las tricloraminas se encuentran en estado volátil en el ambiente de la piscina cubierta y su principal vía de absorción en el organismo es la inhalación (Aggazzotti et al., 1998, Edinger et al., 2004), por lo que los sujetos pueden padecer problemas respiratorios sin sumergirse en el agua. A pesar de que esta inhalación no sea tan intensa como la que se da en nadadores de rendimiento, una exposición prolongada diaria puede desembocar también en incomodidad y problemas de salud en las vías respiratorias. Esta afirmación se confirma en un estudio reciente (Fernández-Luna, Gallardo, Burillo, Felipe & Tamaral, 2013) en el que se encuentra una correlación significativa entre la percepción de síntomas respiratorios en socorristas y monitores y la concentración de cloro en el ambiente de piscinas cubiertas. No obstante, este estudio tiene la limitación de no haber evaluado la renovación del aire a través de métodos indirectos como la concentración CO₂ o la altura de la cubierta de la piscina (Corominas et al., 2009).

Los estudios del impacto de los DBPs en la función respiratoria de trabajadores de piscinas son semejantes a los expuestos en el apartado anterior. Massin et al. (1998), realizaron un cuestionario relativo a problemas de salud a socorristas, así como unas pruebas para evaluar la respuesta bronquial a la metacolina, y encontraron una relación entre los niveles de cloraminas en agua y ambiente con los problemas de salud irritación de ojos, nasal y garganta, pero no con la hiperreactividad ni los síntomas crónicos de enfermedad respiratoria (Thickett, McCoach, Gerber, Sadhra & Burge, 2002). Por otra parte, otro estudio analizó los niveles de cloraminas en aire con cromatografía de gases correlacionándolos positivamente con los síntomas de problemas respiratorios en trabajadores a pie de piscina (Jacobs et al., 2007). Una investigación similar estableció diferencias entre los síntomas respiratorios según el nivel de DBPs (Trihalometanos), percibiendo síntomas de asma y bloqueo de nariz significativamente en mayor grado los sujetos con mayor nivel de DBPs en aire alveolar exhalado (Fantuzzi et al., 2010). La principal limitación de este estudio es la no diferenciación entre THM exhalados, lo que no nos permite conocer qué compuestos se relacionan directamente con los problemas percibidos por esta población. Asimismo, en dos de estos estudios se comparó a los trabajadores según su puesto de trabajo, obteniendo una percepción de síntomas de problemas de salud significativamente mayor los trabajadores a pie de piscina (socorristas y monitores) respecto a otro tipo de empleados (repcionistas, camareros, operarios) (Fantuzzi et al., 2010; Jacobs et al., 2007).

Conclusiones

Los subproductos de desinfección generados a través de los tratamientos químicos en el agua de piscinas están asociados a problemas en las vías respiratorias en los usuarios y trabajadores de estas instalaciones. La investigación en los últimos años ha desarrollado numerosos métodos para tratar de evaluar el impacto de estos compuestos en la salud, destacando los siguientes aspectos:

➤ Las poblaciones que pasan un mayor tiempo expuestas a los DBPs y al cloro en el aire de piscinas cubiertas presentan una mayor cantidad de síntomas respiratorios. Destacando los trabajadores a pie de piscina, que sin la necesidad de introducirse en el agua, y únicamente a través de la inhalación de DBPs o de cloro muestran valores superiores tanto en orina como en el aire exhalado. Así como los nadadores de rendimiento, que inhalan los productos

químicos concentrados en la lámina de agua con mayor frecuencia e intensidad que el resto de usuarios.

➤ La exposición a los DBPs en lactancia e infancia parece tener una relación directa con los síntomas de asma y alergia en etapas posteriores. Sin embargo, se necesitan más estudios para confirmar esta hipótesis.

➤ Existe una menor presencia de DBPs en piscinas con tratamientos combinados, lo que puede ser una manera de reducir los problemas respiratorios que se observan en nadadores.

➤ Para evaluar el efecto de los químicos en el organismo, existe una mayor efectividad los métodos de análisis de proteínas en suero sanguíneo (especialmente la proteína CC16), así como las valoraciones directas de esputo y aire exhalado condensado.

➤ La espirometría por sí sola parece un indicador fiable de la mejora de la capacidad pulmonar en poblaciones sanas y con algún tipo de patología, mientras que en la mayoría de estudios mostrados no sufre variaciones tras una exposición corta a los DBPs.

Futuras líneas de investigación

Para seguir la línea de las investigaciones expuestas sería recomendable plantear más estudios experimentales que comparen los efectos en la función respiratoria/salud de los usuarios en piscinas con tratamientos químicos de agua distintos, en los que se demuestre una menor concentración de DBPs. De la misma manera, hay pocos estudios longitudinales sobre problemas respiratorios en nadadores, y ninguno en trabajadores a pie de piscina. Un estudio de cohortes en el que se evalúe parámetros respiratorios a dos poblaciones en instalaciones con diferentes condiciones podría darnos unas indicaciones de cómo reducir los problemas de salud. No obstante, y en función de lo observado en las limitaciones de otras investigaciones, sería conveniente que en todos los estudios llevados a cabo se incluya la evaluación de los parámetros del agua/aire de la instalación, con el fin de comprobar si existe una interacción directa entre estos, el cumplimiento de la normativa vigente, y la generación de problemas respiratorios.

Referencias

- Agabiti, N., Ancona, C., Forastiere, F., Di Napoli, A., Lo Presti, E., Corbo, G.M., ... & Perucci, C.A. (2001). Short term respiratory effects of acute exposure to chlorine due to a swimming pool accident. *Occupational and Environmental Medicine*, 58(6), 399-404.
- Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Righi, E., & Predieri, G. (1995). Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. *Journal of Chromatography*, 710(1), 181-190.
- Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Righi, E., & Predieri, G. (1998). Blood and breath analyses as biological indicators of exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Science of The Total Environment*, 217(1-2), 155-163.
- Almagro Nievas, D., Acuña Castillo, R., Hernández Jerez, A., & Robles Montes, A. (2008). Investigación de un brote respiratorio agudo por exposición a cloro gas en una piscina pública. *Gaceta Sanitaria*, 22, 287-290.
- Arandelovic, M., Stankovic, I., & Nikolic, M. (2007). Swimming and Persons with Mild Persistent Asthma. *The Scientific World Journal*, 7, 1182-1188.
- Basler, R.S.W., Basler, G.C., Palmer, A.H., & Garcia, M.A. (2000). Special skin symptoms seen in swimmers. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 43(2), 299-305.
- Bernard, A., Carbonnelle, S., Dumont, X., & Nickmilder, M. (2007). Infant Swimming Practice, Pulmonary Epithelium Integrity, and the Risk of Allergic and Respiratory Diseases Later in Childhood. *Pediatrics*, 119(6), 1095-1103.
- Bernard, A., Carbonnelle, S., Michel, O., Higuier, S., De Burbure, C., Buchet, J.P., ... & Doyle, I. (2003). Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*, 60(6), 385.
- Bernard, A., Nickmilder, M., & Voisin, C. (2008). Outdoor swimming pools and the risks of asthma and allergies during adolescence.

- European Respiratory Journal*, 32(4), 979-988.
- Bonetto, G., Corradi, M., Carraro, S., Zanconato, S., Alinovi, R., Folesani, G., ... & Baraldi, E. (2006). Longitudinal Monitoring of Lung Injury in Children after Acute Chlorine Exposure in a Swimming Pool. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 174(5), 545-549.
- Bougault, V., Turmel, J., & Boulet, L.P. (2010). Effect of intense swimming training on rhinitis in high-level competitive swimmers. *Clinical & Experimental Allergy*, 40(8), 1238-1246.
- Bowen, A.B., Kile, J.C., Otto, C., Kazerouni, N., Austin, C., Blount, B.C., ... & Fry, A.M. (2006). Outbreaks of Short-Incubation Ocular and Respiratory Illness Following Exposure to Indoor Swimming Pools. *Environmental Health Perspectives*, 115(2), 267-271.
- Broeckaert, F., Clippe, A., Knoop, B., Hermans, C., & Bernard, A. (2000). Clara Cell Secretory Protein (CC16): Features as a Peripheral Lung Biomarker. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 923(1), 68-77.
- Carbannelle, S., Francaux, M., Doyle, I., Dumont, X., Burbure, C.D., Morel, G., ... & Bernard, A. (2002). Changes in serum pneumoproteins caused by short-term exposures to nitrogen trichloride in indoor chlorinated swimming pools. *Biomarkers*, 7(6), 464-478.
- Caro, J., & Gallego, M. (2007). Assessment of Exposure of Workers and Swimmers to Trihalomethanes in an Indoor Swimming Pool. *Environmental Science & Technology*, 41(13), 4793-4798.
- Caro, J., & Gallego, M. (2008). Alveolar Air and Urine Analyses As Biomarkers of Exposure to Trihalomethanes in an Indoor Swimming Pool. *Environmental Science & Technology*, 42(13), 5002-5007.
- Carraro, S., Pasquale, M.F., Da Frè, M., Rusconi, F., Bonetto, G., Zanconato, S., ... & Baraldi, E. (2006). Swimming pool attendance and exhaled nitric oxide in children. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 118(4), 958-960.
- Cassan, D., Mercier, B., Castex, F., & Rambaud, A. (2006). Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool. *Chemosphere*, 62(9), 1507-1513.
- Clearie, K.L., Vaideyanathan, S., Williamson, P.A., Goudie, A., Short, P., Schembri, S., ... & Lipworth, B.J. (2010). Effects of chlorine and exercise on the unified airway in adolescent elite Scottish swimmers. *Allergy*, 65(2), 269-273.
- Corominas, A., Drobnic, F., Cinta Pastor, M., Martín, O., Freixa, A., & Gomà, A. (2009). *Estudio sobre el aire en las piscinas de uso público. Bases Teóricas y Herramientas de Actuación*. Barcelona: Institut d'Estudis de la Seguretat.
- Cheng, G., Ueda, T., Numao, T., Kuroki, Y., Nakajima, H., Fukushima, Y., ... & Fukuda, T. (2000). Increased levels of surfactant protein A and D in bronchoalveolar lavage fluids in patients with bronchial asthma. *European Respiratory Journal*, 16(5), 831-835.
- Drobnic, F. (2009). Impacto sobre la salud de los compuestos utilizados en el tratamiento del agua en las piscinas. Estado de la cuestión. *Apunts Medicina de l'Esport*, 161, 42-47.
- Eggleston, P.A. (2007). Chlorinated Pools and the Risk of Asthma. *Environmental Health Perspectives*, 115(5), 240.
- Erdinger, L., Kühn, K.P., Kirsch, F., Feldhues, R., Fröbel, T., Nohynek, B., ... & Gabrio, T. (2004). Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207(6), 571-575.
- Fantuzzi, G., Righi, E., Predieri, G., Giacobazzi, P., Mastroianni, K., & Aggazzotti, G. (2010). Prevalence of ocular, respiratory and cutaneous symptoms in indoor swimming pool workers and exposure to disinfection by-products (DBPs). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1379-1391.
- Fernández, J., Roldán, E., & Lopera, M. (2009). Efectos del entrenamiento físico en piscina climatizada sobre la capacidad aeróbica de un grupo de niños asmáticos. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 5(16), 90-105.
- Fernández-Luna, A., Burillo, P., Felipe, J.L., Plaza Carmona, M., Sánchez Sánchez, J., & Gallardo, L. (2011). Health problems perception in chlorinated indoor swimming pools. *Journal of Sport and Health Research*, 3(3), 203-210.
- Fernández-Luna, Á., Gallardo, L., Plaza-Carmona, M., García-Unanue, J., Sánchez-Sánchez, J., Felipe, J.L., ... & Ara, I. (2013). Respiratory Function and Changes in Lung Epithelium Biomarkers after a Short-Training Intervention in Chlorinated vs. Ozone Indoor Pools. *PLoS ONE* 8(7): e68447. doi:10.1371/journal.pone.0068447
- Fernández-Luna, A., Burillo, P., Felipe, J.L., Gallardo, L., & Tamaral, F.M. (2013). Concentración de cloro en el aire de piscinas cubiertas y sus efectos en los trabajadores a pie de piscina. *Gaceta Sanitaria*, 27(5), 411-417
- Ferrari, M., Schenk, K., Mantovani, W., Papadopoulou, C., Posenato, C., Ferrari, P., ... & Tardivo, S. (2011). Attendance at chlorinated indoor pools and risk of asthma in adult recreational swimmers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 184-189.
- Font-Ribera, L., Esplugues, A., Ballester, F., Martínez-Argüelles, B., Tardón, A., Freire, C., & Villanueva, C.M. (2010). Trihalometanos en el agua de piscinas en cuatro zonas de España participantes en el proyecto INMA. *Gaceta Sanitaria*, 24, 483-486.
- Font-Ribera, L., Kogevinas, M., Zock, J.-P., Gómez, F.P., Barreiro, E., Nieuwenhuijsen, M. J., ... & Villanueva, C.M. (2010). Short-Term Changes in Respiratory Biomarkers after Swimming (in a Chlorinated Pool). *Environmental Health Perspectives*, 118(11), 1538-1544
- Font-Ribera, L., Kogevinas, M., Zock, J.-P., Nieuwenhuijsen, M.J., Heederik, D., & Villanueva, C.M. (2009). Swimming pool attendance and risk of asthma and allergic symptoms in children. *European Respiratory Journal*, 34(6), 1304-1310.
- Freixa, A., & Gomà, A. (2008). *Piscinas de uso público (III): riesgos asociados a los reductores del pH y subproductos de desinfección*. Barcelona: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Gallardo, L. (2006). *Instalaciones Deportivas de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Censo Nacional de Instalaciones de Deportivas 2005*. Madrid: Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación y Ciencia.
- Gil Hernández, F. (2010). *The role of biomarkers in human toxicology. Granada: Departamento de Medicina Legal y Toxicología*. Facultad de Medicina de la Universidad de Granada.
- Gomà, A. (2001). *Implantación de ozonización 100% en las piscinas de la Universidad Autónoma de Barcelona*. Bellaterra: Servicio de Actividad Física Universidad de Barcelona.
- Hansen, K.M.S., Zorzea, R., Piketty, A., Vega, S.R., & Andersen, H.R. (2013). Photolytic removal of DBPs by medium pressure UV in swimming pool water. *Science of the Total Environment*, 433, 850-856.
- Helenius, I.J., Ryttilä, P., Metso, T., Haahela, T., Venge, P., & Tikkanen, H.O. (1998). Respiratory symptoms, bronchial responsiveness, and cellular characteristics of induced sputum in elite swimmers. *Allergy*, 53(4), 346-352.
- Helenius, I., Ryttilä, R., Sama, S., Lumme, A., Helenius, M., Remes, V., ... & Haahela, T. (2002). Effect of continuing or finishing high-level sports on airway inflammation, bronchial hyperresponsiveness, and asthma: A 5-year prospective follow-up study of 4 highly trained swimmers. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 106(6), 962-968.
- Ishioaka, M., Kato, N., Kobayashi, A., Dogru, M., & Tsubota, K. (2008). Deleterious effects of swimming pool chlorine on the corneal epithelium. *Cornea*, 27(1), 40.
- Jacobs, J.H., Spaan, S., van Rooy, G.B.G.J., Meliefste, C., Zaat, V.A.C., Rooyackers, J.M., ... & Heederik, D. (2007). Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers. *European Respiratory Journal*, 29(4), 690-698.
- Kharitonov, S.A., & Barnes, P.J. (2001). Exhaled Markers of Pulmonary Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 163(7), 1693-1722.
- Kim, H., Shim, J., & Lee, S. (2002). Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere*, 46(1), 123-130.
- Kishore, U., Greenhough, T.J., Waters, P., Shrive, A.K., Ghai, R., Kamran, M.F., ... & Chakabarty, T. (2006). Surfactant proteins SP-A and SP-D: Structure, function and receptors. *Molecular Immunology*, 43(9), 1293-1315.
- Kogevinas, M., Villanueva, M.C., Font-Ribera, L., Liviak, D., Bustamante, M., Espinoza, F., ... & Marcos, R. (2010). Genotoxic Effects in Swimmers Exposed to Disinfection By-products in Indoor Swimming Pools. *Environmental Health Perspectives*, 118(11), 1531-1537.
- Kohlhammer, Y., Döring, A., Schäfer, T., Wichmann, H.E., Heinrich, J., & K.S.G. (2006). Swimming pool attendance and hay fever rates later in life. *Allergy*, 61(11), 1305-1309.
- Lagerkvist, B.J., Bernard, A., Blomberg, A., Bergstrom, E., Forsberg, B., Holmstrom, K., ... & Svensson, M. (2004). Pulmonary epithelial integrity in children: relationship to ambient ozone exposure and swimming pool attendance. *Environmental Health Perspectives*,

- 112(17), 1768.
- Lazarov, A., Nevo, K., Pardo, A., & Froom, P. (2005). Self-reported skin disease in hydrotherapists working in swimming pools. *Contact Dermatitis*, 53(6), 327-331.
- Lee, J., Ha, K.T., & Zoh, K.D. (2009). Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Science of The Total Environment*, 407(6), 1990-1997.
- Lévesque, B., Duchesne, J.-F., Gingras, S., Lavoie, R., Prud'Homme, D., Bernard, E., ... & Ernst, P. (2006). The determinants of prevalence of health complaints among young competitive swimmers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80(1), 32-39.
- Lindstrom, A.B., Pleil, P.B., & Berkoff, D.C. (1997). Alveolar breath sampling and analysis to assess trihalomethane exposures during competitive swimming training. *Environmental Health Perspectives*, 105(6), 636-642.
- Liviak, D., Wagner, E.D., Mitch, W.A., Altonji, M.J., & Plewa, M.J. (2010). Genotoxicity of Water Concentrates from Recreational Pools after Various Disinfection Methods. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3527-3532.
- Lotshaw, A.M., Thompson, M., Sadowsky, H.S., Hart, M.K., & Millard, M.W. (2007). Quality of Life and Physical Performance in Land- and Water-Based Pulmonary Rehabilitation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 27(4), 247-251.
- Lourencetti, C., Ballester, C., Fernández, P., Marco, E., Prado, C., Periago, J. F., ... & Grimal, J.O. (2010). New method for determination of trihalomethanes in exhaled breath: Applications to swimming pool and bath environments. *Analytica Chimica Acta*, 662(1), 23-30.
- Mason, R.J., Greene, K., & Voelker, D.R. (1998). Surfactant protein A and surfactant protein D in health and disease. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 275(1), 1-13.
- Massin, N., Bohadana, A., Wild, P., Héry, M., Toamain, J., & Hubert, G. (1998). Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(4), 258-263.
- Matsumoto, I., Araki, H., Tsuda, K., Odajima, H., Nishima, S., Higaki, Y., ... & Shindo, M. (1999). Effects of swimming training on aerobic capacity and exercise induced bronchoconstriction in children with bronchial asthma. *Thorax*, 54(3), 196-201.
- Medina, M.F., & Jiménez-Valenzuela, A. (2011). *Mantenimiento integral de instalaciones deportivas: Tratamiento de aguas en piscinas*. Cádiz: Instituto Andalúz del Deporte.
- Menéndez García, C., & Mendoza Laiz, N. (2005). Consideraciones metodológicas en una natación para todos. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 7, 14-18.
- Meyer, W. (2001). Coping with resistance to copper/silver disinfection. *Water Engineering and Management*, 148(11), 25-27.
- Miller, M.R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., ... & Wanger, J. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26(2), 319-338.
- Moreira, A., Delgado, L., Haahtela, T., Silva, J.A., Araújo, L., Beça, F., ... & Haahtela, T. (2008). Training does not affect exhaled nitric oxide in competitive swimmers. *Allergy*, 63(5), 623-624.
- Nickmilder, M., & Bernard, A. (2007). Ecological association between childhood asthma and availability of indoor chlorinated swimming pools in Europe. *Occupational and Environmental Medicine*, 64(1), 37-46.
- Nieuwenhuijsen, M.J. (2007). The chlorine hypothesis: fact or fiction? *Occupational and Environmental Medicine*, 64(1), 6-7.
- Nystad, W., Njå, F., Magnus, P., & Nafstad, P. (2003). Baby swimming increases the risk of recurrent respiratory tract infections and otitis media. *Acta Paediatrica*, 92(8), 905-909.
- Pardo, A., Nevo, K., Vigiser, D., & Lazarov, A. (2007). The effect of physical and chemical properties of swimming pool water and its close environment on the development of contact dermatitis in hydrotherapists. *American Journal of Industrial Medicine*, 50(2), 122-126.
- Pedersen, L., Lund, T.K., Barnes, P.J., Kharitonov, S.A., & Backer, V. (2008). Airway responsiveness and inflammation in adolescent elite swimmers. *The Journal of allergy and clinical immunology*, 122(2), 322-327.e321.
- Richardson, S.D., DeMarini, D.D., Kogevinas, M., Fernandez, P., Marco, E., Lourencetti, C., ... & Villanueva, C.M. (2010). What's in the Pool? A Comprehensive Identification of Disinfection By-products and Assessment of Mutagenicity of Chlorinated and Brominated Swimming Pool Water. *Environmental Health Perspectives*, 118(11), 1523-1530.
- Romberg, K., Bjermer, L., & Tufvesson, E. (2011). Exercise but not mannitol provocation increases urinary Clara cell protein (CC16) in elite swimmers. *Respiratory Medicine*, 105(1), 31-36.
- Santa Marina, L., Ibarluzea, J., Basterrechea, M., Goñi, F., Ulibarrena, E., Artieda, J., ... & Orruño, I. (2009). Contaminación del aire interior y del agua de baño en piscinas cubiertas de Guipúzcoa. *Gaceta Sanitaria*, 23, 115-120.
- Sardella, A., Voisin, C., Dumont, X., Marcucci, F., & Bernard, A. (2013). Nasal epithelium biomarkers in young children: Associations with allergic sensitization and environmental stressors. *Pediatric Pulmonology*, 48 (6), 571-578.
- Severa Pieras, E., & Sancho Chinesta, J. (2008). Asma Bronquial. Broncoespasmo inducido por el ejercicio. En *Fisiología Clínica del Ejercicio* (pp. 139-147). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Schoefer, Y., Zutavemb, A., Brockow, I., Schäfer, T., Krämer, U., Schaaf, B., ... & Heinricha, J. (2008). Health risks of early swimming pool attendance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211, 367-373.
- Silkoff, P.E., Carlson, M., Bourke, T., Katial, R., Ögren, E., & Szeffler, S.J. (2004). The AeroCrine exhaled nitric oxide monitoring system NIOX is cleared by the US Food and Drug Administration for monitoring therapy in asthma. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(5), 1241-1256.
- Silvestri, M., Crimi, E., Oliva, S., Senarega, D., Tosca, M.A., Rossi, G.A., & Brusasco, V. (2013). Pulmonary function and airway responsiveness in young competitive swimmers. *Pediatric Pulmonology*, 48(1), 74-80.
- Sin, D., Leung, R., Gan, W., & Man, S.P. (2007). Circulating surfactant protein D as a potential lung-specific biomarker of health outcomes in COPD: a pilot study. *BMC Pulmonary Medicine*, 7(1), 13.
- Thickett, K.M., McCoach, J.S., Gerber, J.M., Sadhra, S., & Burge, P.S. (2002). Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming-pool air. *European Respiratory Journal*, 19(5), 827-832.
- Tora, T., & Moral, L. (2004). Interpretación de las pruebas alérgicas: pruebas cutáneas e inmunoglobulina E específica. *Anales Pediatría Continuada*, 2(4), 230-233.
- Villanueva, C.M., Cantor, K.P., Grimalt, J.O., Malats, N., Silverman, D., & Tardon, A. (2007). Bladder cancer and exposure to water disinfection by-products through ingestion, bathing, showering, and swimming in pools. *American Journal of Epidemiology*, 165, 148-156.
- Voisin, C., Sardella, A., Marcucci, F., & Bernard, A. (2010). Infant swimming in chlorinated pools and the risks of bronchiolitis, asthma and allergy. *European Respiratory Journal*, 36(1), 41-47.
- Wandell, K., Sundelin, G., Henriksson-Larsén, K., & Lundgren, R. (2004). High intensity physical group training in water—an effective training modality for patients with COPD. *Respiratory medicine*, 98(5), 428-438.
- Wang, J.-Y., & Reid, K.B.M. (2007). The immunoregulatory roles of lung surfactant collectins SP-A, and SP-D, in allergen-induced airway inflammation. *Immunobiology*, 212(4-5), 417-425.
- Wang, J.Y., Shieh, C.C., Yu, C.K., & Lei, H.Y. (2001). Allergen-induced bronchial inflammation is associated with decreased levels of surfactant proteins A and D in a murine model of asthma. *Clinical & Experimental Allergy*, 31(4), 652-662.
- Wang, M.-C., Liu, C.-Y., Shiao, A.-S., & Wang, T. (2005). Ear Problems in Swimmers. *Journal of the Chinese Medical Association*, 68(8), 347-352.
- Weaver, W.A., Li, J., Wen, Y., Johnston, J., Blatchley, M.R., & Blatchley, E.R. (2009). Volatile disinfection by-product analysis from chlorinated indoor swimming pools. *Water Research*, 43(13), 3308-3318.
- Weng, S., & Blatchley, E.R. (2011). Disinfection by-product dynamics in a chlorinated, indoor swimming pool under conditions of heavy use: National swimming competition. *Water Research*, 45(16), 5241-5248.
- WHO (2000). *Guidelines for safe recreational-water-environment. Volume 2. Swimming pools, spas and similar recreational water environments*. Genvova: World Health Organization.
- Zwick, H., Popp, W., Budik, G., Wanke, T., & Rauscher, H. (1990). Increased sensitization to aeroallergens in competitive swimmers. *Lung*, 168(1), 111-115.