

**TRABAJO PRÁCTICO
DIPLOMADO EN SALUD PÚBLICA
2018**

***TRIHALOMETANOS EN AGUA DE CONSUMO
HUMANO Y PISCINAS DE USO COLECTIVO:
FORMACIÓN, TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA SU
DETERMINACIÓN, CONTROL DE NIVELES Y
EFECTOS PARA LA SALUD.
SITUACIÓN EN EXTREMADURA.***

MARÍA DEL CARMEN RECIO CASILLAS

AGRADECIMIENTOS

***A mi marido e hijo, sin cuyo apoyo no podría haber realizado este trabajo.
Mención especial a mi madre quien con su desinteresada colaboración ha
contribuido a que este "proyecto" se haya hecho realidad.***

INDICE

RESUMEN	Pág.1
ABSTRACT	Pág. 1
1. INTRODUCCIÓN	Pág. 3
2. OBJETIVOS	Pág. 3
3. METODOLOGÍA	Pág. 4
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	Pág. 4
4.1. Formación de los trihalometanos	Pág. 4
4.2. Técnicas de determinación de los trihalometanos	Pág. 7
4.3. Control de los niveles de trihalometanos	Pág. 9
4.4. Efectos sobre la salud	Pág. 12
4.5. Situación en Extremadura	Pág. 19
5. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES	Pág. 20
6. ANEXO I. FIGURAS Y TABLAS	Pág. 22
7. ABREVIATURAS	Pág. 24
8. BIBLIOGRAFÍA	Pág. 25

RESUMEN

Las aguas de consumo humano y de piscinas de uso colectivo requieren ser desinfectadas para su uso, habitualmente se realiza por medio de la adición de cloro y/o sus derivados, lo cual origina subproductos de la desinfección (SPD), entre los que se encuentran los trihalometanos (THMs). Estos compuestos presentan concentraciones muy variables ya que dependen de numerosos factores.

Su determinación analítica se puede realizar por varias técnicas, pero normalmente, se hace por extracción en fase de vapor y cromatografía de gases combinada con espectrofotometría de masas.

Los métodos para controlar su concentración son diversos, el más utilizado para este fin es el uso combinado de ozonización y/o filtros de carbón activo. En las piscinas cubiertas es esencial controlar los niveles de THMs en el aire mediante una adecuada gestión de la ventilación.

Los THMs producen efectos adversos para la salud, la evidencia científica más consistente se ha encontrado en la relación entre los niveles de SPD en el agua de consumo y el cáncer de vejiga, si bien, hay un buen número de trabajos que sugieren que la exposición a SPD está relacionada con trastornos en la gestación y nacimiento, como retraso en el crecimiento intrauterino y alumbramiento prematuro, así como, con la existencia de problemas de salud (irritaciones de piel y mucosas, problemas respiratorios) derivados de la utilización de piscinas cubiertas, tanto en bañistas como trabajadores. No obstante, dada la dificultad del tema es necesario estandarizar los trabajos de investigación para facilitar la obtención de resultados significativamente concluyentes.

La bibliografía sobre el tema es numerosa y diversa, si bien la referida a la Comunidad Autónoma de Extremadura es limitada.

ABSTRACT.

Drinking water and public swimming pools water have to be disinfected before it can be used. The routine method of disinfection implies chlorine and/or chlorine derivatives. These

compounds react with organic matter, generating disinfection by-products (DBPs), including the four primary trihalomethanes (THMs). The concentration of THMs is extremely variable because this depends on multiple factors.

Different analytical methods to determine DBPs can be used, nevertheless, the most common method of analysis includes vapor phase extraction and gas chromatography combined with mass spectrophotometry.

Likewise, a number of methods for monitoring the concentration of THMs in finished water are available. The most used method is the combination of ozonisation and active carbon filter. At indoor swimming pools is essential to control the level of THMs in the air by means of a suitable management of the ventilation.

Furthermore, THMs have been quoted as potentially harmful for human health. The more consistent data have been found in the relationship between DBPs in drinking water and bladder cancer, although, there are several articles that suggest a relationship among DBPs in water and gestational diseases, adverse fetal growth outcomes, premature birth, as well as, between the use of indoor swimming pools and unhealthy effects (as local skin and mucosal irritations and respiratory problems). These problems were found in both swimmers and workers. However, due to the difficulty of this subject, more standardized researches are needed in order to get statistically significant results.

There are a great number of bibliographic references about THMs, nevertheless, the articles referred to THMs in the Autonomous Community Extremadura are scarce.

The aim of the present work is to review the available information about THMs, its formation, methods of determination, strategies for its control and effects on health.

1. INTRODUCCIÓN.

El agua es uno de los principales vehículos transportadores de microorganismos causantes de enfermedades, lo que obliga a establecer medidas para su eliminación, pues ésta debe tener una calidad tal que garantice su inocuidad para la salud (1).

Según el Real Decreto 140/2003, sobre *el agua de consumo humano*, en concreto, en su artículo 5, se especifica que: “*el agua debe ser saludable y limpia*”, es decir, que no genere efectos nocivos y que cumpla todos los requisitos allí especificados. Además, según el artículo 10, “*Las aguas de consumo humano distribuidas al consumidor por redes de distribución públicas, o privadas, cisternas o depósitos deberán ser desinfectadas*” (2,3).

En cuanto a la normativa de las *Piscinas de Uso Colectivo*, en el R.D. 742/2013, en su artículo 10 se indica, “*El agua del vaso deberá contener desinfectante residual y tener poder desinfectante*” y en el Decreto 102/2012, en su artículo 31, se señala que “*Estos tratamientos garantizarán que el agua del vaso cuente con desinfectante residual*” (4,5). Todas las sustancias usadas en el tratamiento del agua tienen que cumplir unas condiciones fijadas (6).

2. OBJETIVOS.

El objetivo **general** de esta revisión bibliográfica es realizar un análisis pormenorizado de la información publicada sobre los trihalometanos (THMs).

En cuanto a los objetivos **particulares** son, enumerar las técnicas analíticas que se utilizan en la actualidad, determinar cuáles son los métodos de control utilizados, revisar la existencia de datos concluyentes que relacionen la presencia de THMs en las aguas de consumo y baño con efectos adversos para la salud y analizar el nivel de información publicada sobre estos riesgos en las aguas de la Comunidad Autónoma de Extremadura.

3. METODOLOGÍA.

La metodología ha consistido en una búsqueda bibliográfica exhaustiva de los temas más relevantes sobre THMs. Se ha llevado a cabo a través del portal Saludteca y haciendo uso de las herramientas de búsqueda: Pubmed, Pizarro y Google Académico.

En PubMed se han establecido tres sistemas de búsqueda:

- a) Trihalometanes "AND" Health.
- b) Eliminación "AND" Trihalometanos.
- c) Trihalometanos "AND" Extremadura.

Por otra parte, para la consulta de Tesis Doctorales, se ha hecho uso del portal Dialnet (Universidad de la Rioja). También se ha usado la biblioteca virtual SciELO (Scientific Electronic Library Online-Biblioteca Nacional de Ciencias de la Salud). Se han preseleccionado una serie de artículos y descartado algunos de ellos tras el análisis de su contenido.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Formación de los trihalometanos.

A comienzos del siglo XX se iniciaron las técnicas de desinfección del agua con los siguientes objetivos (7):

- Eliminar los microorganismos patógenos.
- Oxidar algunos metales como el hierro y el manganeso.
- Mejorar algunas características organolépticas del agua.
- Mejorar algunas de las fases del tratamiento de potabilización.
- Prevenir el crecimiento de algas en los depósitos.

Los desinfectantes más ampliamente utilizados son el cloro y sus derivados; por su bajo coste, fácil aplicación, capacidad de desinfección y efecto residual. Estos reaccionan con distintos compuestos presentes en el agua generando subproductos de la desinfección (SPD). Otros desinfectantes han sido utilizados como alternativa, pero igualmente forman subproductos que también son nocivos para la salud

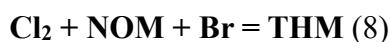
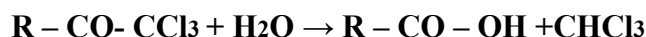
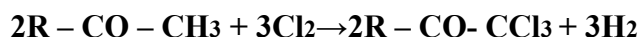
o presentan otros inconvenientes con igual o mayor peso. Los compuestos clorados más usados son: Cloro gas, hipoclorito (sódico y/o cálcico), dióxido de cloro y cloraminas (7).

El **agua de consumo** que va a ser sometida al proceso de desinfección puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas, además de otros compuestos químicos nitrogenados (8). El cloro reacciona con el agua generando ácido hipocloroso e ion hipoclorito (ClOH y ClO^-), compuestos con distinto poder oxidante; así, el ClOH es 80 veces más efectivo. La concentración de ambos depende principalmente del pH, si es mayor de 7.5 tiende a estar presente el ClO^- , de manera que es necesario bajarlo para favorecer la formación de HClO . Tras la cloración del agua los dos compuestos químicos derivados del cloro reaccionan con la materia orgánica presente (9).

La **figura n°1** (ver **Anexo I**) muestra la formación de distintas especies químicas de cloro al incrementar la cantidad de desinfectante añadido a agua que contiene materia orgánica. En la primera etapa, el cloro es reducido y destruido por la materia orgánica presente. En la segunda etapa, el incremento progresivo de la dosis de cloro hace que éste reaccione con el nitrógeno amoniacal comenzando la formación de cloraminas y otros compuestos orgánicos. El cloro, unido a la materia orgánica, se denomina *cloro residual combinado*. Esta reacción va a continuar durante un tiempo al ir progresivamente añadiendo más cloro, hasta alcanzar el valor máximo de formación de cloraminas (tercera etapa). Con el aumento de la dosis de cloro, las cloraminas son oxidadas y destruidas, hasta alcanzar un valor mínimo denominado punto de ruptura (cuarta etapa), valor a partir del cual, la concentración de cloraminas se estabiliza y el cloro que se añade pasará a estar en forma libre, llamado *cloro residual libre*, es decir, no combinado con materia orgánica. Este cloro residual libre, es doblemente importante, pues es el que queda disponible para realizar la función desinfectante y es el que, dependiendo de su concentración, puede dar lugar a la formación de los THMs (1,9,10,11).

Los SPD: THMs, ácidos haloacéticos, haloacetnitrilos, halocetonas, haloaldehidos, fenoles clorados, etc., se generan en distintas concentraciones tras la cloración (ver **Anexo I Tabla n°1**) (12).

El proceso de formación, obedece a un mecanismo complejo (7), que se puede esquematizar según las reacciones:



NOM= Materia Orgánica Natural

Los THMs están formados por cuatro compuestos mayoritarios: cloroformo, bromoformo, bromodiclorometano y dibromoclorometano que se denominan THMs totales (7,8,13). Son derivados del metano, donde tres de sus cuatro átomos de hidrógeno se reemplazan por átomos de halógenos, normalmente cloro, bromo o incluso una combinación de los dos (12).

Existen cuatro definiciones básicas de THMs en función del momento en el que se realice la determinación, bien al inicio del tratamiento o en el agua de grifo de consumidor (GrC).

- 1- THMs instantáneos: Concentración al inicio del muestreo.
- 2- THMs finales: Concentración final (GrC).
- 3- Formación potencial de THMs: Es la diferencia entre 1 y 2.
- 4- Potencia máxima total de THMs: Concentración máxima en las condiciones más favorables (8,14).

Son varios los factores que influyen en su formación: temperatura, pH, cantidad de NOM, concentración de iones bromuro, dosis inicial de desinfectante y tiempo de contacto con el desinfectante. Es necesario un tiempo mínimo de contacto de los precursores con el cloro (8). No obstante, no es mucha la información localizada que haga referencia al tiempo necesario para la formación de los THMs. En la **figura n°2** (ver **Anexo I**) se representa la formación de THMs (cloroformo) en relación al tiempo de reacción. Se observa que, en las condiciones del estudio, han sido necesarias entre 35 y 40 horas para alcanzar una concentración de THMs de 100 µg/l (14).

La existencia de tantos factores ocasiona variaciones en la concentración según las condiciones climatológicas y la diversidad geográfica, así, por ejemplo, la turbidez es un parámetro

condicionante que provoca un aumento de la concentración de THMs. Los factores que afectan a la formación pueden ser reagrupados en dos categorías, los relacionados con el agua bruta y los operacionales (7,15).

En las **piscinas de uso colectivo** el proceso químico es igual, ya que en la mayoría de los casos el agua procede de la red y las reacciones químicas son las mismas, pero determinados materiales orgánicos procedentes del cuerpo humano (pelo, piel, saliva y orina) y productos de cuidado personal (lociones) pueden actuar como precursores al entrar en contacto con los desinfectantes potenciando la formación de THMs (16,17). Al mismo tiempo, se ha observado que existe una mayor concentración de THMs en el agua de las piscinas descubiertas que en el de las cubiertas (16,18), la causa podría atribuirse a un mayor aporte de materia orgánica procedente de los bañistas o a una mayor cloración. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en las piscinas cubiertas hay una transferencia de THMs, ya que son compuestos volátiles, desde el agua hasta el aire, por lo que en las piscinas cubiertas hay mayor concentración de THMs en el aire y por tanto, una posible mayor incorporación de estos compuestos volátiles por vía respiratoria (19,20,18).

4.2. Técnicas de determinación de los trihalometanos.

Debido a la volatilidad y a la composición de los THMs, la determinación se debe realizar en tres etapas: muestreo, extracción y separación/determinación de los analitos.

- **Muestreo**: Condiciones seguidas para la recogida de la muestra.
- **Extracción**: Se utiliza un extractante sólido, líquido o gaseoso debido a que los THMs se encuentran en concentraciones muy bajas, del orden de $\mu\text{g/l}$, por su volatilidad intrínseca (21).

A - Extracción líquido-líquido (LLE): Es una técnica convencional pero con un elevado coste y gran consumo de disolventes orgánicos, por lo que aparecen las técnicas de microextracción en fase líquida (LPME):

- Microextracción en una gota de disolvente (SDME).
- Microextracción líquido-líquido dispersiva (DLLME).

- Microextracción en fase líquida con una gota sólida (SDLPME).
- Microextracción en fase líquida en fibra hueca (HF-LPME). Presenta muy bajos límites de detección. La introducción de los analitos se realiza directamente a través de la membrana por medio de un proceso llamado pervaporación (22).

B - Extracción líquido-sólido (SPE): Retiene los analitos de la muestra por adsorción sobre una fase sólida estacionaria contenida en un cartucho soporte (23).

- Microextracción en fase sólida (SPME).

C - Extracción en fase de vapor:

- Espacio de cabeza dinámico. Permite una gran extracción de los compuestos orgánicos volátiles.
- Espacio de cabeza estático (HS). Se basa en el reparto de los analitos entre la muestra (líquida o sólida) y una fase gaseosa.

- **Separación/ determinación:**

A - Cromatografía de gases (GC): La muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil que es un gas inerte cuya única función es la de transportar el analito a través de la columna. En esta fase, los componentes de interés son separados de la matriz y pre-concentrados para mejorar la selectividad, sensibilidad, fiabilidad, exactitud y reproducibilidad de los análisis. Finalmente, se le acoplan distintos sistemas de detección que son universales:

- * Detector de captura de electrones (ECD). Usado para agua de piscinas (24).
- *Detector de conductividad térmica
- *Detector termoiónico
- *Detector de ionización de llama (26,27,28).

B - Espectroscopía de masas (MS): Es un método selectivo de identificación fiable de los analitos, además, se puede acoplar con los métodos cromatográficos (25,26,27).

C - Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC): La fase móvil es un líquido que fluye

a través de una columna que contiene a la fase fija, es el resultado de las interacciones específicas entre las moléculas de la muestra en ambas fases, móvil y estacionaria (27).

Actualmente se usa una combinación de todas las anteriores dependiendo del coste y grado de detección. A continuación, figuran los acrónimos de las técnicas más usadas:

LLE-GC-ECD, LLE-GC-MS, HS-SPMEGC-ECD, HF-LPMEGC-ECD, LPME-GC-ECD, HS-LPMEGC-ECD, HS-SPME-GC-ECD, LLE-GC-ECD, HS-SPME-GC-MS, HS-SPME-GC-MS...

La técnica llevada a cabo en los Laboratorios de Salud Pública de Extremadura es **HS/GC/MS**.

Recientemente ha aparecido en el mercado un nuevo sistema de análisis *on-line*, el analizador *AMS THM-100*, que incorpora mejoras respecto a los demás. Se fundamenta en una extracción y concentración de los analitos por la técnica de “purga y trampa” (P&T), seguida de una desorción térmica (29).

4.3. Control de los niveles de trihalometanos.

Desde mediados del siglo XX se ha producido un gran desarrollo en el campo del tratamiento de las aguas y una creciente comprensión de los efectos sobre la salud. Nuevas informaciones sobre contaminantes orgánicos, inorgánicos, grupos de microorganismos patógenos y la identificación de agentes cancerígenos y teratogénicos como los THMs y otros SPD, están forzando a mejorar el control de la calidad del agua dentro de los sistemas de distribución y a buscar nuevos tratamientos.

Las disposiciones legislativas en vigor sobre el nivel de THMs en el agua de consumo humano son las siguientes:

- **Directiva Europea 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998** relativa a la calidad del agua de consumo humano, según ésta no pueden superar los 100 µg/l.
- **Real Decreto 140/2003, de 7 de Febrero**, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, establece un límite máximo de THMs totales de 100 µg/l.
- **Orden SSI/304/2013, de 19 de Febrero**, sobre sustancias para el tratamiento del agua

destinada a la producción de agua de consumo humano. Cualquier sustancia o preparado que se añada al agua deberá cumplir la norma UNE-EN. La orden también regula la actualización de las sustancias.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido niveles guía para cada uno de los THMs tal como se muestra en la **Tabla nº2** (ver **Anexo I**).

Es importante tener en cuenta, tal como indica la OMS, que "*los intentos por alcanzar los valores de referencia para los trihalometanos nunca deben impedir una desinfección adecuada*" (30). Son muchas las técnicas de tratamiento de agua bruta pero se agrupan en tres:

- ✚ Tratamientos físicos: Decantación, adsorbentes, filtros de carbón activo, de arena, ultravioletas y resinas de intercambio iónico.
- ✚ Tratamientos químicos: Coagulación - floculación, oxidación y desinfección.
- ✚ Tratamientos biológicos: Biofiltros.

El esquema más común de tratamiento de potabilización del agua es:

- **Coagulación y Floculación**: Remueven impurezas por procesos de coagulación y floculación.
- **Sedimentación- Decantación.**
- **Filtración**: Los filtros más empleados son los filtros rápidos de arena.
- **Desinfección**: Los compuestos químicos más comunes son cloro molecular, hipoclorito sódico o cálcico, cloraminas, dióxido de cloro y ozono. De entre todos ellos el más empleado es el hipoclorito de sodio, seguido del ozono. La eficiencia bactericida en los tratamientos de agua quedaría: **Ozono> dióxido de cloro> cloro libre > cloraminas**

A continuación, se describen las principales técnicas de desinfección y las ventajas e inconvenientes para su control:

Las cloraminas generan menos THMs y presentan más efectividad, persistencia y estabilidad, pero apenas se usan en España a diferencia de lo que sucede en Estados Unidos y Canadá (31). El **dióxido**

de cloro como pre-oxidante y **el cloro** como desinfectante secundario parece que reducen considerablemente la producción de THMs (14). Los resultados encontrados en una planta de potabilización de Barcelona demostraron que el proceso de filtración con carbón activo y la adición temporal de determinadas cantidades de agua subterránea reduce significativamente la formación de THMs (32).

Otra alternativa, es agregar **Ozono** en el agua ablandada y sedimentada, antes de la filtración, de esta forma, se necesita la mitad de la dosis que requeriría el agua sin tratar y la ozonización del agua final es ligeramente más económica, pero el material orgánico biodegradable puede causar problemas de crecimiento bacteriano en el sistema de distribución. Agregar ozono al agua sedimentada mejora el sabor de ésta y no crea subproductos excesivos. De forma alternativa, también se podría extraer inicialmente parte del material biodegradable mediante filtros y así la dosis necesaria es menor a la vez que se cumplen todos los requisitos de desinfección. El **ozono** como desinfectante primario y las **cloraminas** como desinfectante secundario producen niveles muy bajos de subproductos de la desinfección y reducen los niveles de los compuestos orgánicos biodegradables. La ozonización con un pH de 8,0 aparece como la alternativa más económica (33).

Una segunda etapa con **ozono** a salida de filtros de arena, combinado con **filtros de carbón activo**, para evitar los problemas que ocasiona la preozonización, es una de las técnicas que mejores resultados está generando en cuanto a los bajos niveles de THMs que origina. El proceso se conoce como "*ozonización intermedia*" (34).

Las disposiciones legislativas en vigor sobre el nivel de THMs en el **agua de piscinas** no establecen niveles guía.

Las técnicas de tratamiento del **agua de piscinas de uso colectivo** también emplean la combinación de distintos métodos físicos y químicos.

1 - Métodos físicos:

* **Filtración**: Eliminación de partículas de materia orgánica dejadas por los usuarios, de algas y de partículas traídas por el viento que suelen ser de arena y de sílice (20).

2 – Métodos químicos:

* **Desinfectantes:** Los más usados son cloro (gas), hipoclorito sódico, ácido tricloroisocianúrico y ozono, cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes (20).

* **Reguladores de pH.**

* **Electrolisis salina:** Disminuye los SPD como THMs (35).

Los valores de THMs reportados en piscinas son altamente variables, un trabajo realizado en instalaciones cubiertas de Italia en 2001 encontró valores que oscilaban entre 17.8–70.8 µg/l (36). En un estudio de 2002, en 8 piscinas en Londres, encontraron un valor medio de THMs totales de 125.2 µg/l y de cloroformo de 113.3 µg/l, hallando una correlación positiva entre el número de bañistas y los valores de THMs (37). Por otro lado, indicar que los THMs son altamente volátiles y se difunden por todos los habitáculos de las instalaciones acuáticas, por ejemplo, se encontró en la recepción valores de 26.1 ± 24.3 µg/l (36), lo que sugiere que es muy importante una ventilación adecuada en instalaciones cubiertas.

Los datos sobre niveles de THMs procedentes de piscinas descubiertas son más escasos y se han hallados niveles más altos en estas que en las cubiertas (16), las causas indicadas podrían ser un mayor aporte de materia orgánica o una mayor cloración. Aunque la concentración de THMs en el agua de piscinas exteriores puede ser mayor, la incorporación de estos compuestos por vía respiratoria es menos importante debido a que se dispersan en el aire, sin embargo, hay que tener en cuenta los posibles efectos perjudiciales sobre piel y mucosas en piscinas exteriores, sobre todo en lugares como en España (16), donde la asistencia de personas a estas instalaciones en verano es muy elevada.

4.4. Efectos sobre la salud.

Según "*Guías para la calidad del agua potable*" de la OMS, las vías de exposición de las personas a los THMs son: ingestión de agua y alimentos, inhalación y exposición cutánea (30).

En primer lugar, y en referencia a los efectos sobre la salud derivados de la ingesta de **agua de consumo humano**, en la década de los 80 algunos informes epidemiológicos apuntan a un aumento del riesgo de padecer cáncer por el consumo de agua desinfectada con cloro (38). Los estudios epidemiológicos evalúan el riesgo asociado al tiempo de exposición y a la aparición de los efectos adversos. De ahí, que en general, diferenciamos:

- ***Toxicidad Aguda***: Los efectos aparecen de forma inmediata o en horas.
- ***Toxicidad Subaguda***: Los efectos aparecen en 28 días.
- ***Toxicidad Subcrónica***: Los efectos se producen cerca de los 90 días.
- ***Toxicidad Crónica***: La exposición es continuada y las manifestaciones se presentan a partir de los 2 años (38).

Los THMs han sido considerados por la USEPA como potenciales agentes cancerígenos y mutágenos. De entre ellos, los predominantes son el clorofomo y el bromodichloroetano, compuestos que son considerados cancerígenos potenciales por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) (39).

Todos los THMs tienen en común su acción genotóxica, y aunque hay diferentes vías de absorción, el tracto gastrointestinal es la vía más importante, si bien, el cloroformo también es absorbido por los pulmones. Debido a su elevada lipofilidad, la acumulación de los THMs es mayor en los tejidos con alto contenido lipídico: grasas corporales, el hígado y los riñones. La excreción de los compuestos no metabolizados tiene lugar fundamentalmente a través del aire exhalado y por la orina (8).

Los efectos tóxicos del cloroformo que con más frecuencia han sido observados son los daños en la región centrolobular del hígado. La importancia de los efectos por dosis administrada depende de la especie química, vía y método por el cual el cloroformo es administrado (38).

El bromodichlorometano ha sido clasificado por la IARC en el Grupo 2A (como probablemente cancerígeno para los humanos), con resultados positivos y negativos en algunos

estudios sobre su genotoxicidad (38). Los efectos de exposición prolongada o repetida a dicho compuesto pueden afectar al riñón y al hígado, por ingestión, dando lugar a alteraciones funcionales y es posiblemente carcinógeno para los seres humanos (40).

En cuanto a los efectos sobre la población infantil y prenatal, un estudio realizado en Granada sobre un grupo de 700 niños, proyecto INMA-Infancia y medioambiente, para conocer las variaciones a la exposición a THMs de los niños de la zona, pone de manifiesto que, a pesar de las variaciones geográficas, de tipo de agua y estacionales en los niveles de THMs que encontraron, los valores de exposición eran inferiores a los límites legales (no superaron en ninguno de los compuestos medidos los 10 µg/l), resaltando que el riesgo para la salud asociado a estos contaminantes puede considerarse pequeño (41,42).

Los efectos para la salud más investigados derivados de exposición prenatal a THMs se refieren a retraso del crecimiento (bajo peso al nacer, talla pequeña para la edad gestacional y retraso del crecimiento intrauterino) y defectos del tubo neural. También se ha evaluado la asociación con el riesgo de muerte fetal tardía, parto prematuro, aborto espontáneo, muerte neonatal y malformaciones congénitas (42). La exposición a SPD en agua de grifo sobre el **aborto espontáneo** ha puesto de manifiesto que existe una asociación positiva entre ambos. También se ha encontrado una asociación positiva con el **bajo peso al nacer** (7). Un estudio en tres zonas de Inglaterra entre los años 1992-1998 revela que hay una relación significativa entre muerte intrauterina y la exposición a altos niveles de THMs (se consideraron como altos los niveles superiores a 60 µg/l de THMs en el agua) (43).

En 2004 se investigó en Canadá la relación entre la exposición a SPD con la muerte intrauterina. El estudio se hizo considerando los niveles de THMs del agua de grifo, calculando una exposición total, que incluye la ingestión y otras actividades que entrañen exposición, como bañarse, regar etc. Los resultados concluyeron que niveles iguales o superiores a 80 µg/l de THMs en el agua incrementan en dos veces el riesgo de **partos prematuros** (44).

Durante el embarazo y la lactancia se produce un aumento de los requerimientos de ingesta

de agua, una revisión bibliográfica sobre el consumo de agua en el embarazo y la lactancia del 2013 señala resultados contradictorios sobre la presencia de SPD y problemas reproductivos, por una parte hace referencia a la posibilidad de la existencia de una relación causal entre ambas variables y por otra indica que hay estudios que no encuentran evidencias que asocien la presencia de SPD en el agua de consumo y problemas reproductivos, concluyendo que es necesario realizar más estudios en los que se controlen variables que podrían tener influencia como el tabaquismo o la ingesta de alcohol (45). Un estudio del año 2006 encontró que las principales vías de exposición a THMs durante el embarazo son la absorción dérmica y la inhalación, y la ingestión es una vía poco relevante (46).

Por otra parte, una revisión bibliográfica sistemática y posterior metaanálisis del año 2010, en la que se valora la exposición a SPD y los efectos sobre el crecimiento fetal y los nacimientos prematuros, revisa 37 artículos de los cuales fueron seleccionados 15 para la extracción de riesgos relativos, encontrando poca o ninguna evidencia para las asociaciones entre la presencia de THMs totales y el crecimiento fetal o la presencia de prematuros, sin embargo, si observó evidencia limitada en la asociación de THMs con un menor desarrollo físico al esperado para la edad gestacional (47).

La USEPA en 1998, estima que de un 2 a un 17% de los **cánceres de vejiga** se pueden atribuir a la exposición a THMs (48). En España, Villanueva *et al.* (2001) evalúan los niveles de THMs en 4 áreas para calcular el riesgo de cáncer de vejiga atribuible a los mismos, los resultados indicaron un riesgo de entre un 0 - 28.9% dependiendo de la concentración de THMs presentes en el agua de abastecimiento público (49).

Estudios epidemiológicos disponibles han demostrado que los cánceres de colon y recto son los segundos más asociados a la exposición a SPD (IARC, 2004), aunque los resultados no son estadísticamente concluyentes. Un estudio realizado en el año 1999 en Nueva Zelanda sobre el riesgo de cáncer colorectal y efectos reproductivos concluyó que alrededor del 25% de estos efectos podrían ser atribuibles a la exposición a los SPD (50).

Un estudio realizado en Canadá en el año 2000 analizó la relación entre la exposición a SPD

y el riesgo de padecer cáncer de colon y recto en hombres y mujeres. Los resultados describen un riesgo de cáncer de colon en hombres asociado a exposición acumulada a THMs y para una exposición de más de 35 años, pero no en mujeres. Respecto al cáncer de recto no se observó asociación ni en hombres ni en mujeres. En otros estudios, citados en el mismo trabajo, y referidos a otros tipos de cánceres, los resultados son poco concluyentes (38).

En varios municipios de Colombia en el 2016 se realizó un análisis de riesgos del consumo de agua de grifo y la posibilidad de padecer cáncer, los autores señalan que existe una probabilidad de riesgo entre media y baja de que se produzca cáncer por exposición oral a THMs, sin embargo, los problemas de distribución llevan a la población a almacenar agua en depósitos, lo que incrementa el riesgo de bajo a alto, los autores aconsejan tomar medidas de prevención por exposición oral (51).

En 2011 un estudio en España analizó los niveles de THMs de diferentes ciudades, evaluando si la temperatura y precipitaciones influyen sobre ellos, a la vez que valoraba la posible asociación de los THMs con los cánceres de estómago y vejiga. No se encontró relación significativa entre los valores de THMs y los cánceres de estómago y vejiga, aunque sí se encontró relación entre el cáncer de estómago y la clasificación climática de Köppen (en hombres en los tres años de estudio y en mujeres solo en uno). Sin embargo, estos resultados parecen poco concluyentes, indicando los propios autores la necesidad de futuros estudios para esclarecer esta relación, pues podrían estar interviniendo otros factores de confusión (52).

Sánchez Zafra en 2008 hace una revisión de los efectos tóxicos de los THMs sobre la salud asociados al consumo de agua clorada, señalando que los estudios de casos-contróles indican la existencia de riesgo de cáncer de vejiga y en menor grado de colon. Este riesgo es mayor en personas con antecedentes genéticos y mayores de 60 años de edad (39).

En 2001 se llevó a cabo en 4 áreas de España un estudio que analizaba los niveles de THMs en 111 muestras de agua potable y los relacionaba con estudios epidemiológicos que evaluaban el riesgo de cáncer de vejiga asociado a la exposición de SPD, para posteriormente calcular riesgo atribuible de cáncer de vejiga. Los resultados muestran que en las áreas con niveles altos de THMs

el riesgo de cáncer de vejiga atribuible a los SPD puede ser, en promedio, de un 20%. En las áreas de exposición alta, la cloración del agua puede dar lugar a un número considerable de casos de cáncer de vejiga. Estas estimaciones, según los autores, se tienen que interpretar con cautela y verificarse con estudios más extensos (49).

Resumiendo este apartado, los estudios indican la existencia de una evidencia epidemiológica de la relación entre riesgo de cáncer de vejiga y, en menor grado, de colon, y el consumo de agua clorada (THMs). Este riesgo es mayor en personas con antecedentes genéticos y mayores de 60 años de edad. En las áreas con niveles altos de THMs el riesgo de cáncer de vejiga atribuible a los SPD puede ser, en promedio, de un 20%. Los niveles de THMs identificados en España son altos en comparación con otros países de la Unión Europea. Estas estimaciones se tienen que interpretar con cautela y verificarse con estudios más extensos. Sin embargo, en otros tipos de cáncer, incluido el colorectal, las evidencias son inconsistentes y contradictorias. Hay una tendencia en los datos observados que indica una relación entre la presencia de SPD y trastornos en la gestación y nacimiento, como retraso en el crecimiento intrauterino y alumbramiento prematuro.

En cuanto al riesgo de los **THMs en las piscinas de uso colectivo**, se estima que la vía principal de incorporación sería la respiratoria, superior en las cubiertas, ya que éstos se acumulan en el aire por ser altamente volátiles (30,18). La exposición dérmica en las piscinas exteriores podría ser relevante sobre todo en época estival (16). Hay que resaltar que la mayoría de los trabajos que valoran los efectos de los THMs sobre la salud lo han hecho en piscinas interiores, ya que, como se indicó anteriormente, los THMs se acumulan en el aire y es la vía respiratoria la principal fuente de riesgo.

En general, la concentración en el aire de THMs en piscinas cubiertas es de unos de 100 µg/l o más, hasta incluso 300 µg/l, mientras que en descubiertas no suele superar los 10 µg/l, siendo el cloroformo el más representativo. Como estos compuestos se liberan al aire ambiental, son inhalados, no sólo por los bañistas, sino por cualquier usuario o trabajador. En cuanto a su concentración, ésta no es homogénea, si no que se establece un gradiente, de manera que la mayor concentración se da

en la superficie y decrece progresivamente a medida que se incrementa la distancia de la lámina de agua. Se ha demostrado, utilizando como indicadores los niveles de concentración en sangre y aire alveolar, que después de una hora de nado, la absorción de THMs es 7 veces superior a los valores registrados en reposo (19,35) (**Anexo I. Figura nº3**).

En 2010 un estudio sobre los posibles efectos respiratorios sufridos por 430 niños como consecuencia de su asistencia a piscinas belgas, encontró que la asistencia a estas instalaciones suponía un mayor riesgo de padecer bronquiolitis y riesgos derivados de esta dolencia, asma y alergia (53). También se ha reportado un porcentaje relativamente más alto de padecimiento de infecciones respiratorias y auditivas en niños que habían asistido durante la lactancia a piscinas con respecto a los que no (20). También se ha hallado un mayor índice de infecciones en las vías aéreas de bebés nadadores con menos de un año y una mayor probabilidad de padecer asma a los 6 años (hipótesis del cloro) (35,54).

La exposición al cloroformo en el agua de las piscinas cubiertas después de una hora nadando suponía una dosis de cloroformo de 65 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$, unas 141 veces la dosis de una ducha de 10 minutos, y 93 veces mayor que la exposición por ingestión de agua corriente (37). Los nadadores de las cubiertas experimentan una mayor frecuencia de síntomas irritativos en los ojos y vías respiratorias altas y asma que otros deportistas (55).

Los síntomas respiratorios y la irritación de los ojos y de la piel han sido referidos simultáneamente por un alto porcentaje de trabajadores de piscinas cubiertas. Comparando los trabajadores a pie de piscina con poblaciones no asistentes, los primeros suelen presentar un mayor número de síntomas de asma, dificultad para respirar, opresión en el pecho y flemas en las vías respiratorias. Así mismo, se ha demostrado que exposiciones cortas al agua de piscinas cloradas aumenta la proteína celular clara CC16, un biomarcador de daño del epitelio pulmonar en el suero sanguíneo, lo que muestra que puede producirse una mayor sensibilidad pulmonar tras una exposición crónica (p. ej., asistiendo a la piscina desde una edad temprana). La xerosis se ha identificado como el tercer problema dermatológico en los trabajadores a pie de piscina

(específicamente en hidroterapeutas) además, el porcentaje de socorristas y monitores que perciben sequedad de piel es mayor (20).

En un estudio comparativo entre deportes, los niños que practican natación perciben significativamente más síntomas de enfermedades respiratorias que niños que practican fútbol. Por otra parte, varios estudios epidemiológicos en adultos que evaluaron los síntomas respiratorios asociados al asma en nadadores ocasionales encontraron que una mayor asistencia en horas conllevaba el padecimiento de un número mayor de síntomas respiratorios.

Un estudio longitudinal establece unos mayores índices de hiper-reactividad bronquial y de eosinofilos y linfocitos (indicadores de la inflamación de las vías respiratorias) en nadadores activos respecto a retirados, volviendo a valores normales tras un periodo de inactividad. Los socorristas, monitores y entrenadores pueden padecer problemas respiratorios sin sumergirse en el agua. A pesar de que esta inhalación no es tan intensa como la que se da en nadadores de rendimiento, una exposición prolongada diaria puede desembocar también en incomodidad y/o problemas de salud en las vías respiratorias (54).

4.5. Situación en Extremadura.

Un estudio en Extremadura, de correlación ecológica entre códigos postales de las residencias de los pacientes y el grado de exposición a aguas de consumo, detectó un número muy elevado de incumplimientos paramétricos (THMs) a lo largo del tiempo en el abastecimiento de estas poblaciones. En algunos códigos postales concretos, con altos valores de THMs, se encontraron tasas muy elevadas de neoplasias malignas de colon, de cáncer de vejiga, de bajo peso al nacer y de abortos con respecto a la media autonómica. (56) (Ver **Anexo I. Tabla n°3**).

Se ha encontrado una sola cita de valores comparativos de THMs en agua de consumo entre provincias españolas que haga referencia a Extremadura, en ella, la región aparece entre las que tienen los valores más elevados en los 3 años de estudio (50-100 µg/l, en los años 2002 y en 2005 valores > 100 µg/l), si bien, los resultados no fueron significativos (52) (Ver **Anexo I. Figura n°4**).

5. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES.

- La concentración de THMs en el agua es muy variable por depender de numerosos factores.
- Entre las técnicas más eficientes y utilizadas para la eliminación de los THMs está el uso combinado de ozonización y/o filtros de carbón activo. En piscinas cubiertas es esencial controlar los niveles de concentración en el aire mediante una adecuada gestión de la ventilación.
- La técnica de determinación más utilizada es Cromatografía de gases en combinación una extracción en fase de vapor mediante espacio de cabeza estático y espectroscopía de masas: **HS/GC/MS.**
- La relación entre los niveles de SPD en el agua de consumo y el cáncer de vejiga es el efecto sobre la salud con mayor evidencia científica. No obstante, dado la gran diversidad de diseños experimentales empleados, el gran número de factores que afectan a los niveles de THMs, su volatilidad, etc., es necesaria una mayor estandarización de los estudios que faciliten la comparación y la determinación causa- efecto asociada a concentraciones, tiempo de exposición, edad, sexo, etc.,
- Un porcentaje alto de los trabajos revisados muestran una tendencia que relaciona la exposición a SPD con trastornos en la gestación y nacimiento, como retraso en el crecimiento intrauterino y alumbramiento prematuro.
- La relación entre la presencia de SPD en el agua de consumo y otros tipos de cánceres y otras patologías es débil, existiendo trabajos contradictorios que no permiten establecer la existencia de dicha asociación.
- Hay un gran número de hallazgos científicos que indican la existencia de problemas de salud (irritaciones de piel y mucosas, problemas respiratorios), tanto en bañistas como en trabajadores, derivados de la utilización de las piscinas cubiertas.

- No se ha encontrado suficiente bibliografía sobre la situación de los niveles de THMs en Extremadura y su relación con la aparición de efectos adversos como el cáncer de vejiga y afecciones respiratorias en personal que frecuenta piscinas cubiertas de uso colectivo. Siendo esta la principal limitación de este trabajo.
- La gran cantidad de trabajos publicados y la enorme diversidad de diseños experimentales empleados ha dificultado la obtención de datos concluyentes y limitado la capacidad de comparación para obtener conclusiones.

6. ANEXO I. FIGURAS Y TABLAS

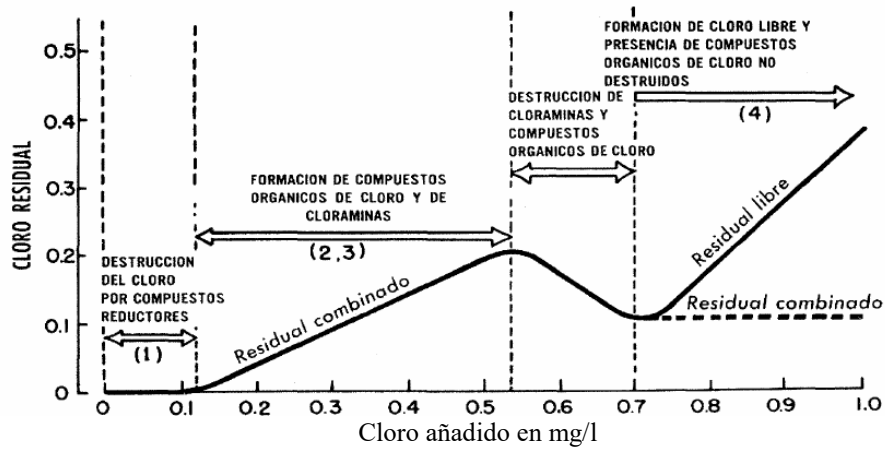


Figura n° 1: Etapas del proceso de desinfección (11).

Tipos de SPD	Porcentaje (%) respecto al total SPD
THM	40 - 50
Haloacéticos	28 - 35
Haloacetónitrilos	9 - 15
Resto de SPD	> 23

Tabla n° 1. Tipos y % de SPD que se forman en el agua (12).

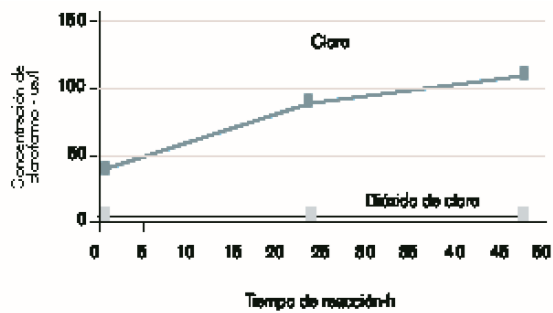


Figura n° 2: Formación de TMHs (cloroformo) con el tiempo (14).

THM	U.S. EPA MCL (µg/l)	Valor Guía OMS (µg/l)
Cloroformo	80	300
Bromodiclorometano	80	60
Dibromoclorometano	80	100
Bromoformo	80	100

Tabla n° 2. Concentración permitida de THMs. (MCL: Nivel Máximo de Contaminación)

(12)

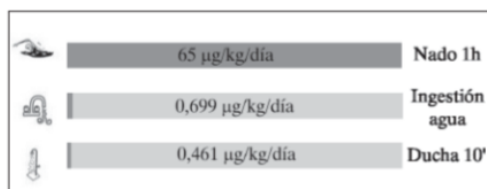


Figura n° 3. Niveles de exposición al cloroformo en diferentes actividades (35)

TRIHALOMETANOS	
CIE - 9	CIE - 10
188: Tumor Maligno de vejiga	C67: Cáncer de vejiga (evidencia alta)
637.9: Aborto	P96.4: Aborto
765.1: Bajo peso al nacer	P07.3: Bajo peso al nacer
153: Cáncer de colon	C18: Cáncer de colon
154.1: Neoplasia maligna de recto	C20: Tumor maligno del recto
154: Neoplasia Maligna recto y ano	C19-C21: Tumor maligno de la unión rectosigmoidea

Tabla n° 3. Códigos CIE asociados a enfermedades (56)

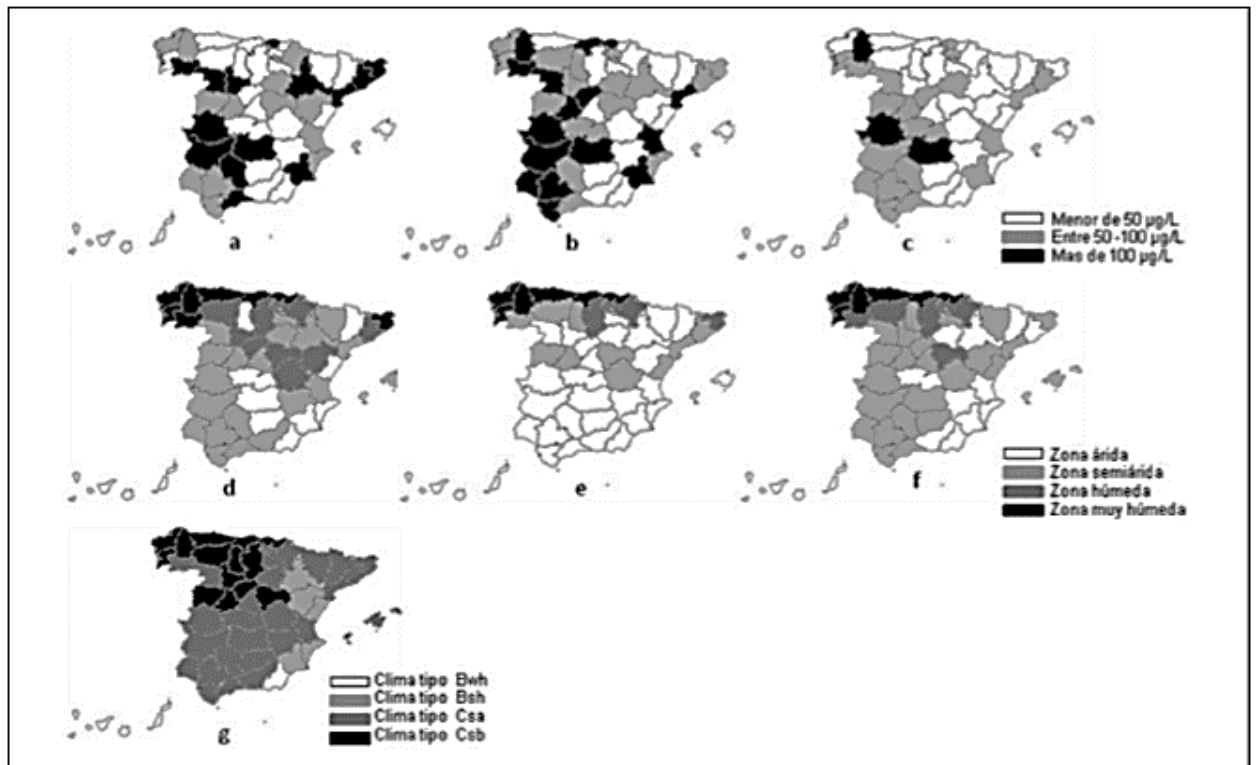


Figura nº 4. Distribución por provincias en los años 2002, 2005, 2006 de; a, b, c: Niveles de THM. d, e, f: zonas climáticas según el índice de Lang. g: zonas climáticas según clasificación de Köppen. (52)

7. ABREVIATURAS.

THMs	Trihalometanos
SPD	Subproductos de desinfección
USEPA	Agencia de protección ambiental de Estados Unidos
OMS	Organización Mundial de la Salud
IARC	Agencia de investigación internacional sobre el cáncer
NOM	Materia orgánica natural
GrC	Grifo del consumidor
GC	Cromatografía de gases

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Guimarães JR, Ibáñez J, Litter MI, Pizarro RE. Tratamientos. Desinfección del agua [Internet]. Estructplan online [citado 5 de abril de 2018]. Disponible en:
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2983>
2. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE 45/2003, de 21 feb.).
3. Programa de Vigilancia de aguas de consumo de la Comunidad Autónoma de Extremadura. Disponible en: www.areasaludplasencia.es/wasp/pdfs/7/715030.pdf
4. Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas. (BOE Viernes 11 de octubre de 2013) Sec. I. p. 83123.
5. Decreto 102/2012, de 8 de junio, por el que se regulan las condiciones técnico-sanitarias de las piscinas de uso colectivo de la Comunidad Autónoma de Extremadura (2012 04 nº112).
6. Orden SSI/304/2013, de 19 de febrero, sobre sustancias para tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano (BOE Miércoles 27 de febrero de 2013 Sec. I. p. 15867).

7. Rodríguez MJ, Rodríguez G, Serodes J, Sadiq R. Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. INCI [Internet]. 2007 nov [citado 2018 abril 17];32 (11): 749-756. Disponible en:
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007&lng=es

8. Olmedo Sánchez MT. Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. Área Gestión Sanitaria Sur de Granada. Farmacéutica IISS. Granada. España. Higiene y Sanidad Ambiental, 8:335-342 (2008). P. 335. Disponible en:
[http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018bc59c356_Hig.Sanid.Ambient.8.335-342\(2008\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018bc59c356_Hig.Sanid.Ambient.8.335-342(2008).pdf)

9. López Jiménez EV, Flores R (dir). Subproductos de la cloración del agua, su formación, reglamentación y riesgos para la salud humana [trabajo de titulación en Internet]. [Quito]: Universidad Central de Ecuador; 2016 [citado 12 abril 2018]. Disponible en:
www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15002/1/T-UCE-0008-QF042-2018.pdf

10. Macizo M. La desinfección del agua con cloro. Gestión de la calidad del agua 2006- 2007. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambienta. ETS de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona 2007. p. 17-22. Disponible en:
<http://ambientonline.es/Ediciones%20de%20AMBIENT/0%20Edici%C3%B3n%20GQA%202006-07.pdf#page=23>

11. Domínguez Tello A, Arias Borrego A (dir), García Barrera T (dir), Gómez Ariza JL (dir).
Desarrollo de métodos de análisis y control de subproductos de desinfección en aguas de abastecimiento público [tesis doctoral en Internet]. [Huelva]: Universidad de Huelva; 2017
[citado el 16 de junio]. Disponible en:
http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/14597/Desarrollo_de_metodos.pdf?sequence=2

12. Hernández Sánchez C, Luis González G, Rubio Armendáriz C, Caballero Mesa JM, Ben-Charki El-Mousati N, Hardisson de la Torre A. Trihalometanos en aguas de consumo humano. Revista de Toxicología, vol. 28, núm. 2, 2011, p. 109-114. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91922431001>

13. López Jiménez PA, Martínez Solano FJ, López Patiño G, Fuertes Miquel VS. Panorámica sobre la problemática de la calidad de los suministros de agua en España. En: VI SEREA –Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua:5 a 7 junio 2006, João Pessoa (Brasil), 2006. Disponible en:
www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoP.pdf

14. Ramírez Quirós F. Subproductos generados en la desinfección del agua. Técnica Industrial. 2010; 290: 36-45. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-3052-subproductos-generados-desinfeccion-agua.aspx>

15. Jaramillo Cazco C N, Silva Salazar M (dir). Desinfección del agua para uso humano [proyecto previo a título en Internet]. [Quito]: Escuela Politécnica Nacional; 2010 [citado 7 mayo 2018]. Disponible en: <http://docplayer.es/45835188-Escuela-politecnica-nacional.html>
16. Font-Ribera L, Esplugues A, Ballester F, Martínez-Arguelles B, Tardón A, Freire C, Marina F. Fernández M F, Carrasco G, Cases A, Sunyer Jy Villanueva C M. Trihalometanos en el agua de piscinas en cuatro zonas de España participantes en el proyecto INMA. Gac. Sanit. 2010;24(6):483–486. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112010000600008
17. Reyes López MG, Vicencio de la Rosa MG (dir). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: desinfección y formación de subproductos [tesis final de grado en internet]. [Durango]: CIIDIR - Instituto Politécnico Nacional; 2016 [citado 8 mayo 2018]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>
18. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2, Swimming pools and similar environments. World Health Organization [recurso electrónico] 2006. p. 68-70. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/safe-recreational-water-guidelines-2/en/

19. Freixa Blanxart A. Piscinas de uso público (III): riesgos asociados a los reductores del pH y subproductos de desinfección. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP788. INSHT. Barcelona 2008. Disponible en:
<http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/786a820/788.pdf>
20. Fernández-Luna A, Burillo P, Felipe JL, Gallardo L, Tamaral FM. Concentración de cloro en el aire de las piscinas cubiertas y sus efectos en la salud de los trabajadores a pie de piscina. Gac. Sanit. [Internet]. 2013 Oct [citado 13 julio 2018];27(5): 411-417. Disponible en:
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112013000500006&lng=es
21. Montesinos González MI, Gallego Fernández M (dir). Innovaciones en el control de subproductos de desinfección volátiles [tesis doctoral en Internet]. [Córdoba]: Universidad de Córdoba; 2015 [citado 18 mayo 2018]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=67714>
22. Cortada Cortés C, Mora Pastor J (dir). Nuevas metodologías y aplicaciones de las técnicas de microextracción líquido-líquido para la determinación de contaminantes orgánicos [tesis doctoral en Internet]. [Alicante]: Universidad de Alicante; 2012 [citado 25 mayo 2018]. Disponible en:
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/24657/6/Tesis_Cortada_Cortes.pdf

23. Vallejo-Vargas OI, Beltrán L, Franco P, Montoya-Navarrete CH, Alzate-Rodríguez E J, Reyes H. (2015). Determination of trihalomethanes in drinking water by solid phase microextraction-gas chromatography in Pereira, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44(1), 23-29.
- Disponible en:
- http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012028042015000100004&script=sci_arttext&tlng=en
24. Bastidas Montaña J, Castaño Nieto M, Beltrán L. Estandarización del método para la determinación de trihalometanos en aguas de piscinas por cromatografía de gases con detector de microcaptura de electrones. *Scientia et Technica* Año XVIII, N° XX Mes XX de Año XX. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. Disponible en:
- <https://core.ac.uk/download/pdf/84108352.pdf>
25. Olguín Pérez LP, Rodríguez Magadán HM, Stock Silberman RP (dir). "Métodos físico-químicos en Biotecnología" *Cromatografía de gases*. México: Universidad Autónoma Nacional de México. Instituto de Biotecnología; 2004. Disponible en:
- www.ibt.unam.mx/server/PRG.base?alterno:0,clase:doc,tit:Temas_Metodos...dir
26. Gutiérrez M C, Droguet M. Identificación de compuestos volátiles por CG-MS. *Boletín INTEXTER (U.P.C.)* 2002. N.º 122 p. 35. Disponible en:
- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2733/5CROMGASES.pdf>

27. Ordás Naise S, Morillo Aguado J (dir), Usero García J (dir). Estudio de las técnicas para el análisis de las sustancias prioritarias orgánicas de la Directiva Marco de aguas 2000/60/CE [trabajo fin de carrera en Internet]. [Sevilla]. Universidad de Sevilla, 2006 [citado 24 de mayo 2018]. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4166/fichero/PFC+Versi%C3%B3n+5.pdf>
28. Nikolaou AD, Lekkas TD, Golfinopoulos SK, Kostopoulou MN, Talanta 56 (2002) 717–726. PMID: 18968548. Application of different analytical methods for determination of volatile chlorination by-products in drinking water. Talanta. 2002; 56(4):717-26 Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18968548>
29. Carrera G, Vázquez L, Boleda MR, Paraira M. Estudio de validación analítica de un método para la determinación *on-line* de trihalometanos aplicado al control de la calidad del agua de consumo humano. Técnicas de laboratorio. N° 383 septiembre 2013. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/313770985>
30. Guías para la calidad del agua potable Primer apéndice a la tercera edición Volumen 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud [recurso electrónico]: tercera edición. Versión electrónica para la Web. Disponible en:
www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
31. Ramírez Quirós F. Desinfección del agua con cloro y cloraminas: Técnica industrial 2005; 260 (55-63). Disponible en: <https://www.micof.es/bd/archivos/archivo2022.pdf>

32. Yordanov Platikanov S, Tauler Ferré R (dir). Application of chemometric methods to water quality studies [tesis doctoral en Internet]. [Barcelona]: Universidad de Barcelona; 2016 [citado 27 abril 2018]. Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/106629>
33. Rolf A. Deininger. Facultad de Salud Pública Universidad de Michigan, EUA. Skadsen J, Sanford L. Planta de Tratamiento de Agua de Ann Arbor 919 Sunset Road Ann Arbor, Michigan, EUA Anthony G. Myers CH2MHILL 310 W. Wisconsin Avenue Milwaukee, Wisconsin, EUA. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/365588041/Utilizacion-de-Ozono-para-Limpieza>
34. Ortiz Mingo J, Cortacans Torre JA (dir), Castillo del Gonzalez I (dir). Tratamientos avanzados de agua potable para eliminación de materia orgánica disuelta: aplicación del BAC [tesis doctoral en Internet]. [Madrid]: Universidad Politécnica de Madrid; 2015 [citado 31 mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.scribd.com/mobile/document/370251528/Jesus-Ortiz-Mingo-pdf>
35. Llana S, Zarzoso M, Pérez Soriano P. Riesgos para la salud de la natación en piscinas cloradas(I). Archivos de medicina del deporte. Volumen XXVI Número 130. 2009 (130-137). Revisión N° 212. Disponible en: http://www.jmebages.cat/pdf/ponenecies_10/1_1-2.pdf
36. Fantuzzi G, Righi E, Predieri G, Ceppelli G, Gobba F, Aggazzotti G. Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. Science of the Total Environment. 2001; 17: 257–265. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/12118554_Occupational_exposure_to_trihalomethanes_in_indoor_swimming_pools

37. H Chu, M J Nieuwenhuijsen. Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occup EnvironMed*. 2002; 59:243–247. Disponible en: <https://oem.bmj.com/content/oemed/59/4/243.full.pdf>
38. Oliveira Dantas Leite MV, García-Villanova Ruiz RJ (dir), Toruño Fonseca IM (dir). Subproductos de Cloración Inorgánicos y Orgánicos en las Aguas de Castilla y León. Estado Actual y Perspectivas ante la Revisión de la Directiva Europea [tesis doctoral en Internet] [Salamanca]: Universidad de Salamanca; 2011 [citado 5 de junio de 2018]. Disponible en: https://gedos.usal.es/jspui/bitstream/10366/110550/1/DQANB_Dantas_Leite_MV_EstadoActual.pdf
39. Sánchez Zafra A. Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8:280-290 (2008). Disponible en: [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290\(2008\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290(2008).pdf)
40. Montero-Campos V, Chinchilla-Montero R, Coy-Herrera R, Agüero-Hernández A L, Jiménez-Antillón J. Evaluación en el agua para consumo humano de subproductos de cloración y su relación como inductores de mutagénesis (mutaciones celulares). *Tecnología en marcha* N° especial (2014) p. 22-29. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Dialnet-EvaluacionEnElAguaParaConsumoHumanoDeSubproductosD-4835895%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Dialnet-EvaluacionEnElAguaParaConsumoHumanoDeSubproductosD-4835895%20(1).pdf)

41. Freire C, Solera R, Fernández MF, Villanueva CM, Grimaltc JO, Olea N. Valores de trihalometanos en agua de consumo de la provincia de Granada, España. Gac. Sanit. diciembre 2008;22(6):520-526. Disponible en:
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112008000600004
42. Freire Warden, Olea Serrano N (dir), Fernández Cabrera M (dir), Pedraza Muriel V (dir). Exposición infantil a contaminantes ambientales en Granada y posibles efectos en salud [tesis doctoral en Internet]. [Granada]: Universidad de Granada; 2009 [citado 7 junio de 2018].
Disponible en: <https://hera.ugr.es/tesisugr/17989310.pdf>
43. Toledano MB, Nieuwenhuijsen MJ, Best N, Whitaker H, Hambly P, de Hoogh C, Fawell J, Jarup L, Elliott P (2005). Relation of trihalomethane concentrations in public water supplies to stillbirth and birth weight in three water regions in England. *Env. Health Persp.* 113: 225-232.
Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15687062>
44. Dodds L; King W; Allen AC, Armson BA; Fell DB, Nimrod C. Trihalomethanes in Public Water Supplies and Risk of Stillbirth. *Epidemiology* 2004;15 (2): 179-186. Disponible en:
https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2004/03000/Trihalomethanes_in_Public_Water_Supplies_and_Risk.10.aspx
45. Figueroa-Damián R, Beltrán-Montoya J, Espino y Sosa, Reyes E, Segura-Cervantes E. Consumo de agua en el embarazo y la lactancia. *Acta Pediátrica de México* [Internet] 2013;34(2):102-108.
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423640341012>

46. Villanueva CM, Grimalt JO, Ballester F, Ibarluzea J, Sala M, Tardón A, Romero-Aliagag E, Fernández M, Ribas-Fitó N, Kogevinasa M. Medida de contaminantes del agua y usos del agua durante el embarazo en un estudio de cohortes en España. *Gac. Sanit.* 2006;20(Supl 3):1-9. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/248255799_Medida_de_contaminantes_del_agua_y_usos_del_agua_durante_el_embarazo_en_un_estudio_de_cohortes_en_Espana
47. Grellier J, Bennett J, Patelarou V, Smith RB, Toledano MB, Rushton L, Briggs DJ, Nieuwenhuijsena MJ. Exposure to Disinfection By-products, Fetal Growth and Prematurity: A Systematic Review and Meta-analysis. *Epidemiology.* 2010; 21 (3): 300-313. Disponible en:
<https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/6357/1/Smith-RB-2011-PhD-Thesis.pdf#page=255>
48. Ground water and drinking water. National primary drinking water regulation [Internet]. United States Environmental Protection Agency [citado el 3 de julio de 2018]. Recuperado a partir de:
<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#Byproducts>
49. Villanueva CM, Kogevinas M, Grimalt JO. Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gac. Sanit.* 2001; 15 (1): 48-53. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213911101715178>

50. Villanueva CM, Cantor Kp, Grimalt JO, Malats N, Silverman D, Tardon A, García-Closas R, Serra C, Carrato A, Castaño-Vinyals G, Marcos R, Rothman N, Real FX, Dosemeci M, Kogevinas M. Bladder Cancer and Exposure to Water Disinfection By-Products through Ingestion, Bathing, Showering, and Swimming in Pools. *American Journal of Epidemiology*. 2006; 165 (2): 148-156. Disponible en: <https://academic.oup.com/aje/article/165/2/148/98015>
51. Hernández Cogollo ME, Marrugo Negre JL. Trihalometanos y arsénico en el agua de consumo en los municipios de Chinú y Corozal de Colombia: evaluación del riesgo a la salud. *Ingeniería y desarrollo*. Universidad del Norte. Volumen 34, N°1 Enero-junio, 2016: 2145-9371 [Internet]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.34.1.7949>
52. Jiménez Restrepo P, Llopis González A, Morales Suárez-Varela M. Influencia de los trihalometanos según la clasificación climatológica de Koppén y el índice de Lang, sobre la mortalidad asociada al cáncer de estómago y vejiga por áreas geográficas en España. *Rev. Saludambient*. 2011;11(1-2): 64-69. Disponible en: <http://www.sanidadambiental.com/wp-content/uploads/revista/rsa.11.1-2.2011/rsa.11.1-2.2011.64-69.pdf>
53. Voisin C, Sardella A, Marcucci F, Bernard A. Infant swimming in chlorinated pools and the risks of bronchiolitis, asthma and allergy. *European Respiratory Journal* 2010 36: 41-47; DOI:10.1183/09031936.00118009. Disponible en: <http://erj.ersjournals.com/content/erj/36/1/41.full.pdf>

54. Fernández-Luna A, Gallardo L (dir), Burillo P (dir), Ara I (dir). Los tratamientos químicos del agua en piscinas cubiertas como elemento clave en la gestión de la instalación y la salud de nadadores y trabajadores [tesis doctoral en internet][Toledo]: Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo; 2012 [citado 23 de junio de 2018]. Disponible en:
http://www.investigacionengestiondeportiva.es/Tesis/Tesis_AlvaroFernandezLuna.pdf
55. Santa Marina L, Ayerdi M, Lertxundi A, Basterretxea M, Goñi F, Alvarez J I. Concentración de trihalometanos y de ácidos haloacéticos en el agua de consumo y estimación de su ingesta durante el embarazo en la cohorte INMA-Guipúzcoa (España). Gac. Sanit. [Internet]. Agosto 2010 [citado 29 junio de 2018]; 24 (4): 321-328. Disponible en:
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112010000400010&lng=es
56. Serrano Peláez A. Enfermedades asociadas al consumo de agua potable como indicador en control oficial. Trabajo práctico de Diplomado Salud Pública 2017. Disponible en:
http://escuelasalud.gobex.es/filescms/web/uploaded_files/Trabajos_dsp_2017/FAR_Serrano_Pelaez_AG.pdf