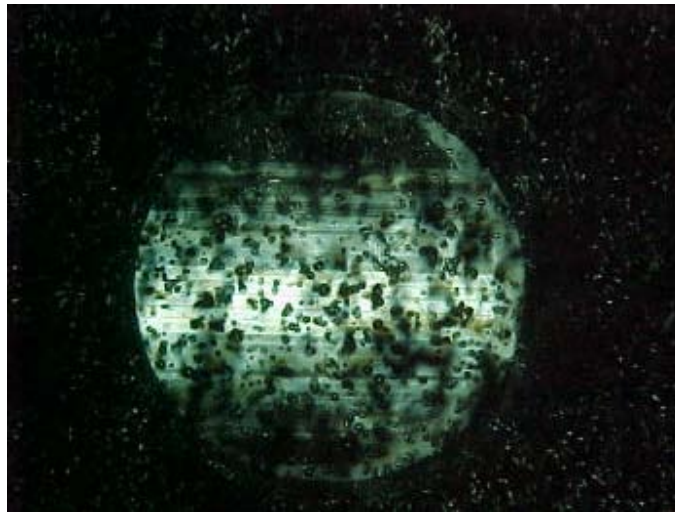


Implantación de ozonización 100%
en las piscinas de la Universitat Autònoma de Barcelona

(Informe de una instalación efectuada en unas piscinas de más de 10.000m³, los equipos caseros para menos de 1.000m³ son de pequeñas dimensiones y auto instalables)



Anton Gomà i Huguet

Servei d'Activitat Física

Universitat Autònoma de Barcelona

Bellaterra, octubre de 2001

1. Introducción

El sistema de depuración del agua utilizado por defecto en nuestras piscinas ha sido mayoritariamente hasta ahora el cloro.

Este sistema plantea numerosos inconvenientes de salud, ambientales, de mantenimiento y de confort.

Entre las alternativas existentes destaca la de la ozonización del agua. Se trata de un sistema que, si bien aquí de momento solo se ha implantado en piscinas mayoritariamente privadas de poco cubricaje –hasta 250 m³-o de mayor pero no ozonizando el 100% del agua, en los países europeos de nuestro entorno está funcionando prácticamente desde principios de siglo XX como sistema de depuración. Tal sistema se perfila como el ideal siempre que se pueda asumir el incremento de coste de implantación que supone. El coste de explotación es levemente menor que el de utilizar cloro.

El sistema de depuración basado en ozono del Servei d'Activitat Física de la Universitat Autònoma de Barcelona nace con el objetivo de servir de muestra de las posibilidades de ese sistema, de plataforma de análisis profundo del funcionamiento del mismo y de ensayo de mejoras que le sean aplicables.

2. Depuración convencional mediante cloro

Durante muchos años el cloro ha resuelto de forma económica la necesidad de disponer de agua desinfectada y desinfectante, salvando vidas y permitiendo que la humanidad pudiera extender sus asentamientos.

No obstante, el cloro supone añadir un nuevo elemento al agua. A partir de ese momento ese nuevo elemento reaccionara con los compuestos contenidos en la propia agua formando un número considerable de subproductos disueltos en el agua o evaporados al aire, la problemática de los cuales se pueden clasificar en:

2.a.- Riesgos sanitarios.

Una cantidad importante de esos subproductos consiste en las cloraminas y dicloraminas, formadas a partir de compuestos de nitrógeno presentes de forma natural en el agua o añadidos por el sudor y la urea de los bañistas. Ellas son las causantes de la conjuntivitis y otras irritaciones.

En ambientes cargados de cloro, deportistas que tienen tendencia a la hiperreactividad bronquial, es decir, que sus vías aéreas bronquiales reaccionen con un cerramiento por encima de lo normal ante un estímulo aunque en condiciones normales no manifiesten

ningún síntoma, sí que presentan problemas de tos o/ y broncoconstricción, , como respuesta a la inhalación de gases irritantes. Ese cerramiento es precisamente lo contrario de lo que el ejercicio físico requiere, a fin de captar el mayor volumen de aire posible. Para personas que más que una tendencia a la hiperreactividad bronquial, sufren claramente problemas de asma, esa reacción al ambiente clorado es aun más crítica. A la vez, tal como se ha estudiado en nadadores de alto nivel (Asunción Freixa, NTP 1994) los cuales durante años de entrenamiento sobre ventilan los bronquios en un ambiente irritante, se ha observado en algunos de ellos un efecto de irritación en las mucosas bronquiales que potencia el problema descrito.

De la misma forma que los deportistas, los socorristas y las personas que trabajan en el mantenimiento de la piscina y, entre ellos, especialmente los que tienen un contacto más directo con los equipos de cloración, la exposición continuada a lo largo de los años puede dejar irritaciones en las vías respiratorias.



Paralelamente a los trabajos de implantación del nuevo sistema de depuración se realizaron una serie de análisis tanto de la calidad química del agua como de la del aire. Estos análisis se repetiran durante la misma época del año con el nuevo sistema funcionando a fin de poder evaluar la bondad del mismo.

Otros compuestos que se forman, no deseados desde un punto de vista sanitario, son los trihalometanos, como el cloroformo, surgido de la combinación del cloro y el ácido fúmico proveniente tanto de la degradación química y biológica de residuos animales y vegetales como también de la actividad metabólica de microorganismos. Estas sustancias organocloradas están catalogadas como tóxicas o muy tóxicas y existe practicamente unanimidad en decir que son cancerígenas.

Finalmente, la cloración del agua actúa como sistema precursor de la formación del cloro gas Cl_2 presente en el ambiente de la piscina, gas que es conocidamente tóxico.

2.b.- Riesgos ambientales

Sea cual sea el compuesto de cloro elegido para la depuración, en su proceso de

fabricación habitualmente se partirá de la producción previa de gas cloro, lo que constituye realmente el problema. La obtención por electrolisis directa del cloruro de sodio (sal común) no es un método generalizado ya que el rendimiento del proceso es bajo.

Además, el proceso más comúnmente utilizado para generar este gas se basa en la electrolisis mediante cátodo de mercurio. El uso de ese metal añade un importante riesgo ambiental.

Por otro lado, el hecho de que la producción se realice lejos del punto de consumo va acompañado de un incremento del coste ambiental originado por el mismo transporte.

Otro problema ambiental añadido que provocan los sistemas de depuración basados en cloro es que muchos de los compuestos de los que ya se ha descrito su formación y su peligrosidad para la salud, como los policlorometanos, son además difíciles de degradar, llegando a las capas altas de la atmósfera y actuando allí como catalizadores en el proceso de destrucción de la capa de ozono.

Finalmente cabe también mencionar la dificultad que supone para las plantas de depuración trabajar con la gran cantidad de cloruros que se encuentran contenidos en el agua de entrada, que es consecuencia a su vez de los vertidos altamente clorados que se producen a lo largo de la cuenca, y a los que se suman los de las piscinas desinfectadas con cloro.

Por todo ello empiezan a existir Directivas dentro de la UE, como la 2000/60/CE, que invitan a la reducción del contenido de cloro en los vertidos de aguas residuales

2.c.- Problemas de mantenimiento

Los costos de mantenimiento también están condicionados por la existencia de un sistema de depuración con cloro.

El ambiente clorado no sólo es perjudicial para las personas sino que resulta muy agresivo para las estructuras de la instalación. En el caso de la piscina de la UAB, donde el hierro fue un material muy utilizado en su construcción, este problema ha aumentado claramente los costes de mantenimiento.



En estas dos imágenes se puede apreciar el efecto del ambiente oxidante del cloro en el ambiente sobre una placa de acero (no inoxidable). Entre la segunda imagen y la primera hay apenas un plazo de 4 días de exposición.

Además a menudo a causa de una mayor agitación del agua, como cuando un grupo de escolares entra a la vez en la piscina, el nivel de cloro evaporado al ambiente aumenta notablemente. Ello lleva a que haya que aumentar el número de renovaciones de aire, no ya para evitar que tal ambiente corrosione las estructuras sino simplemente para garantizar la no toxicidad del mismo. Ese aumento de la ventilación repercute, especialmente en invierno, en el coste de la climatización.

2.d.- Falta de confort

Las cloraminas y los clorofenoles –inherentes a un sistema de depuración basado en el cloro- son los causantes del molesto olor en el ambiente y del mal sabor típicos del agua de muchas de nuestras piscinas, lo que provoca una de las quejas más repetida entre los usuarios.

3. Sistemas alternativos

Naturalmente existen otras formas de depurar el agua, entre las que destacan para el caso de agua de piscinas:

Electrolisis de sal

Es equivalente a la convencional de cloro, pero en ella éste se produce en la propia instalación a medida que se necesita. Padece pues la misma problemática de subproductos del cloro. Su implantación es más económica que la de un sistema de ozonización.

Lámparas de UV

No se añade ningún componente al agua pero la depuración mediante UV no es tan exhaustiva como la realizada mediante ozono. Va hacer falta seguir dosificando una cierta cantidad de cloro. También resulta menos costosa su implantación que la de un sistema de ozonización.

4. Ozonización

4.1.- Qué es el ozono

El ozono, O_3 , es un gas inestable que rápidamente se recombina a O_2 , altamente oxidante, incoloro e invisible pero detectable fácilmente por su olor característico – su nombre proviene del griego “olor”- que es el que se respira, por ejemplo, después de una tempestad con abundante fenómeno eléctrico.

En las mayores cantidades se genera de forma espontánea fotoquímicamente en la estratosfera, formando dos capas – a 25 Km, la de concentración mayor, y a 55 Km- las cuales absorben los rayos ultravioleta, el exceso de los cuales sería nocivo especialmente para los seres humanos.



INSTALACIÓN INDUSTRIAL PARA PISCINAS DE MAS DE 10.000m³ (Poli deportivos, ayuntamientos, etc.) En primer plano el reactor de ozono abierto mostrando los tubos de cristal en los que se produce el gas a partir del aire. En segundo término se observan los diferentes sistemas de medición. **Los equipos para piscinas caseras de menos de 1.000m³ son pequeños y auto instalables.**

A nivel de troposfera, donde se encuentra en concentraciones muy menores, el ozono constituye un contaminante ya que por su poder oxidante causa irritaciones. Las fuentes de ozono contaminante son, por ejemplo, las emanaciones de tubos de escape cuando se combinan con una fuerte radiación solar, el funcionamiento de fotocopiadoras y faxes, aparatos de soldadura, antiguos sistemas de proyección de cine, etc. En otras palabras, se formará ozono siempre que se dé la combinación de una intensa radiación con oxígeno o con otros compuestos de él, como son ciertos contaminantes primarios, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) o los compuestos orgánicos volátiles (COV), como los que contienen algunos disolventes.

4.2.- Principio de desinfección

Los sistemas de depuración de agua por ozono se basan, precisamente, en esta alta capacidad de oxidación –mayor que la del cloro-, que elimina de forma muy rápida microorganismos, incluso virus. En medio ácido, solo el fluor y ciertos radicales libres tienen una capacidad de oxidación mayor.

La acción bactericida del ozono se basa principalmente en la oxidación de los enlaces disulfuro que mantienen el plegamiento de las proteínas. Esta oxidación comporta la destrucción de las proteínas estructurales de los microorganismos y la inactivación de los enzimas necesarios para su supervivencia. De manera similar, el ozono tiene también la capacidad de inactivar virus.

En otros compuestos orgánicos el ozono convierte enlaces covalentes dobles entre los átomos de carbono, en simples, destruyendo así su estructura molecular. En general, los compuestos orgánicos son oxidados dependiendo de su funcionalización. Así por ejemplo, las olefinas pueden llegar a romperse, los grupos amina se oxidan a grupos nitro (destrucción de las cloraminas), etc. En menor medida, compuestos aromáticos como los clorofenoles son también destruidos por ozonólisis.

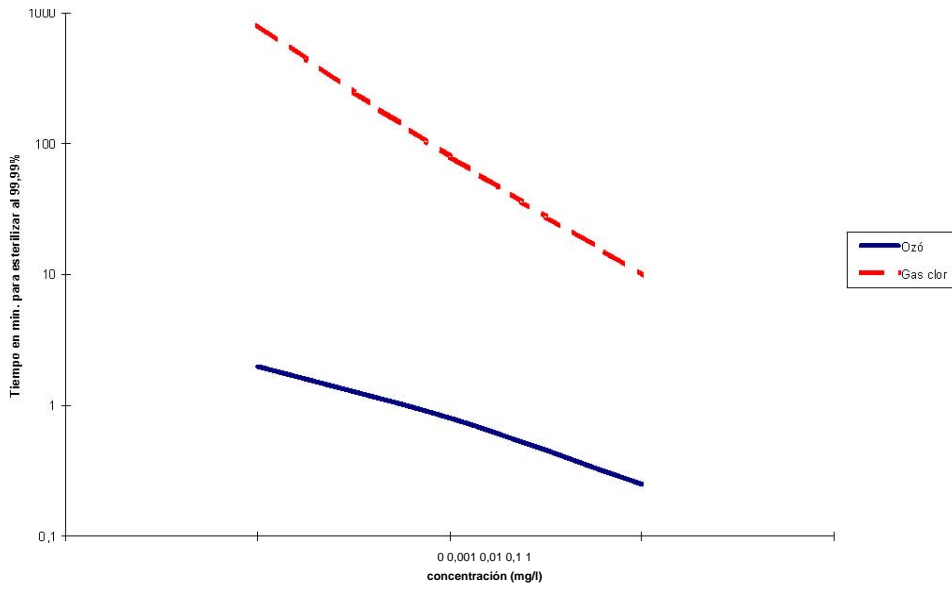
Otros compuestos inorgánicos contaminantes son también oxidados por efecto del ozono.

Estos mecanismos son los propios de una oxidación, de la misma manera que sucedería si se utilizará el cloro. Las diferencias consisten en:

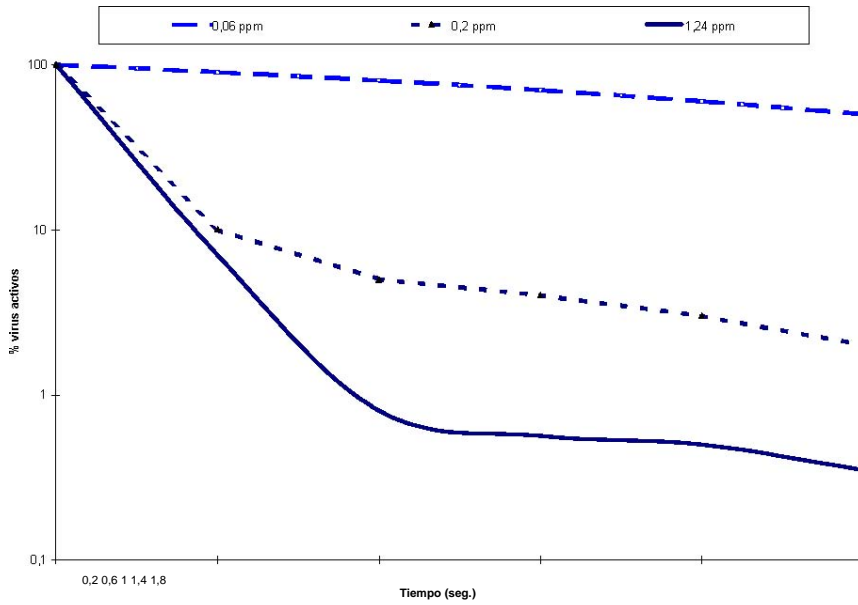
- 1) la mayor capacidad del ozono para llevarlas a cabo, y
- 2) que una vez ha actuado, el ozono da como subproductos de las reacciones: oxígeno (O_2), agua, óxidos inertes procedentes de las partículas metálicas que pudiera haber en el agua y, en pequeñas cantidades también, anhídrido carbónico (CO_2). Todos ellos son compuestos mucho más inocuos que los derivados del cloro.

La escherichia coliform (E.coli) es destruida en 5 segundos por el ozono, mientras que el cloro necesita 15.000 seg para la misma concentración de oxidante ($1g/m^3$). En los siguientes gráficos se muestran otras comparaciones entre el potencial de oxidación del ozono y el del hipoclorito sobre bacterias así como la capacidad de desactivación del ozono sobre los virus.

Velocidad de esterilización de bacterias



Desactivación de virus de poliometitis mediante Ozono (Southeimer-Berlin 1977)



4.3.- Ozonización parcial y ozonización 100%.

En la primera de estas dos tendencias sólo una parte del agua es introducida al sistema de ozonización y, se supone, que con las continuas recirculaciones toda acabará pasando por tal sistema experimentando la depuración de las cloraminas.

La segunda es la que constituye el motivo del presente proyecto. No existe bypass del sistema de ozono, de forma que toda el agua se ve obligada a cruzarlo.

A favor del primer sistema juega una razón económica ya que el precio de implantación se ve reducido por no necesitar tanta capacidad de producción de ozono, de volumen de contacto o de carbón activo. El consumo del cloro es, no obstante, más elevado.

Por contra, esos primeros sistemas mixtos sólo eliminan una parte de los problemas del cloro. No tiene que suceder forzosamente que el agua recircule uniformemente y que la parte que le corresponde pasar a través de la ozonización sea siempre la que hace más tiempo que no recirculaba. De esta forma es posible percibir una mejora en la calidad del agua con una ozonización parcial, pero es posible también que en un momento dado aparezca cualquiera de los problemas de la depuración mediante cloro antes descritos.

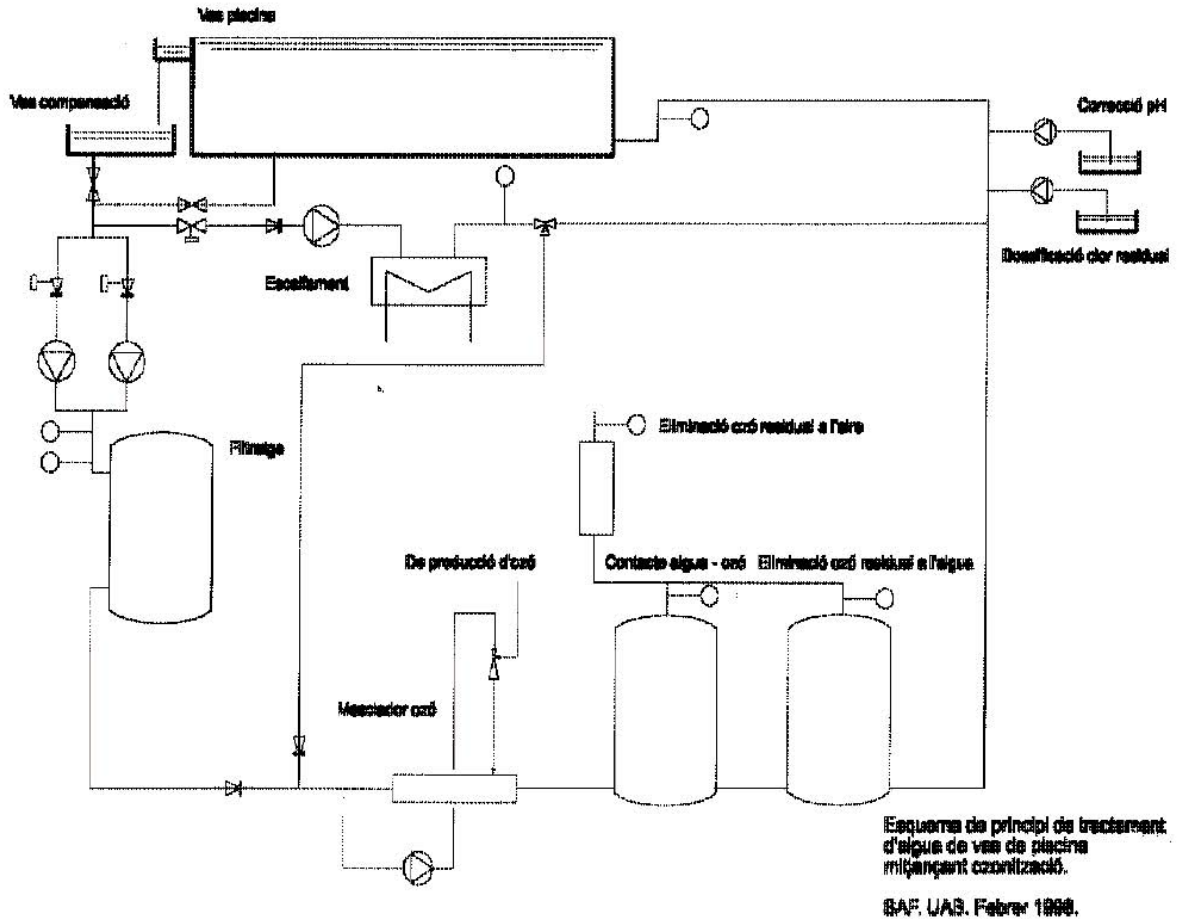
4.4.-Ozonización total. Principio de funcionamiento

El funcionamiento de un sistema de ozonización total puede resumirse como la intercalación de una nueva etapa de depuración entre la fase de filtraje mediante arenas y la fase de cloración. En esa etapa el agua se hace circular primero por las llamadas "torres de contacto", por ser ahí donde se produce el contacto entre el agua y el ozono, por consiguiente la oxidación y, en definitiva, la depuración. En segundo lugar ese agua se pasa por una fase de filtración mediante carbón activo a fin de eliminar el posible ozono que no se hubiera consumido en las torres de contacto. De esa forma se garantiza que no se introduce ozono al vaso de la piscina, donde la normativa fija una existencia máxima de 0,0 ppm.

La etapa final es la común con cualquier otra piscina, en la que se añade el desinfectante que realizará la desinfección residual.

Puede decirse que el ozono garantiza la desinfección del agua mientras que la adición final de, por ejemplo, cloro, garantiza que esa agua sea además desinfectante.

El esquema de principio general respondería al siguiente dibujo:



4.5.- Ozonización aplicada a una piscina ya construida

El proyecto de ozonización aplicada a la piscina del Servei d'Activitat Física de la Universitat Autònoma de Barcelona ilustra la posibilidad de implantación en una piscina en la que ese equipamiento no hubiera estado previsto de antemano.

Un aumento del número de conducciones hidráulicas, así como un cierto incremento de potencia instalada –sobre los 20 KW- son los otros dos aspectos más importantes del cambio experimentado.

4.6.- Aspectos de seguridad

El ciclo en el que se genera el ozono, se pone en contacto con el agua para depurarla y se elimina el residual tanto en el agua como en el aire empleado como medio de transporte del mismo, se realiza siempre sin contacto con el exterior, dentro de cámaras herméticas.

Los sistemas de generación se construyen de forma que ante la detección de una fuga se paren automáticamente.

No obstante, incluso en el supuesto más desfavorable de que todo el ozono generado se expulsara accidentalmente al aire, difícilmente se llegaría a concentraciones peligrosas, como la de 1.000 mgr/m³ fijada por la estadounidense Environment Protection Agency (EPA) como umbral de toxicidad. Una ventilación correcta de la sala de producción junto con el hecho de que el ozono es un gas muy inestable que tiende a recombinarse rápidamente en su forma de oxígeno habitual (O₂) juegan un papel importante a la hora de evitar un accidente.

Se añade a favor de la seguridad de la utilización de ese gas el que el ozono se perciba olfativamente a una concentración de 10 mg/m³, muy por debajo del valor de toxicidad referido antes. De hecho, Protección Civil no tiene constancia de ningún accidente mortal por causa del ozono.

5. Normativa relativa al ozono

La normativa que rige los parámetros del agua pretende asegurar que el tratamiento de depuración es eficaz y seguro, mientras que la que establece los parámetros del aire tiene como objetivo la seguridad ambiental.

5.1.- Ozono en el agua

La últimas normativas de **piscinas públicas** han contemplado ya desde hace tiempo la posibilidad de la depuración de agua mediante ozono. Concretamente la catalana – DOGC del 6.3.2000, Decreto 95/2000- establece que la cantidad de ozono antes de la desozonización del agua será de un mínimo de 0,4 ppm y en la piscina de un máximo de 0 ppm.

Ese mismo decreto, aunque en el artículo 20 prevé la posibilidad de que se modifiquen los parámetros y márgenes siempre que se pueda justificar bajo una mejora tecnológica, más adelante en el artículo 23 fija la necesidad de añadir un desinfectante residual cuando el proceso de depuración no lo incluya, como sería el caso del ozono. Es por ese motivo que, en principio, se hace necesario seguir dosificando cloro al final del proceso de depuración, aunque la cantidad añadida va a ser claramente menor (**solo para piscinas públicas**).

5.2.- Ozono en el aire

En España se ha adoptado la Directiva 72/92 de la UE incluyéndola en el RD 1454/1995. Dicha directiva, a diferencia de la propuesta por la EPA en Estados Unidos, no fija unas concentraciones máximas absolutas sino unas concentraciones medias durante unos ciertos periodos de tiempo. Además, según las concentraciones, fija orientativamente unos umbrales:

Umbral de protección para la salud.	$0,11 \text{ mg/m}^3$ valor medio durante 8 horas
Umbrales de protección para la vegetación	$0,2 \text{ mg/m}^3$ valor medio en 1 hora
	$0,065 \text{ mg/m}^3$ valor medio en 24 horas
Umbral de información a la población	$180 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ valor medio en 1 hora
Umbral de alerta a la población	$360 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ valor medio en 1 hora.

Estos niveles de ozono son controlados, por ejemplo en Cataluña, por la Red de Vigilancia y Previsión de la Contaminación Atmosférica.

El primer umbral de protección de la vegetación, $0,2 \text{ mg/m}^3$ durante 1 hora, coincide con el fijado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) como emisión máxima tolerable durante un tiempo corto. La Inspección de Trabajo tiene como referencia este organismo americano a la hora de fijar sus valores.

Por su parte la EPA fija el valor de 1.000 mg/m^3 como concentración límite a partir de la cual el ozono es tóxico.

6. Conclusiones

El coste de implantación de un sistema de ozonización es elevado **(EN PISCINAS PÚBLICAS y PRIVADAS –Poli deportivos, etc.- DE MÁS DE 10.000m3).**

De hecho se suma al de la implantación del sistema de cloración convencional. El coste de explotación es menor que el del cloro, aunque la larga amortización no justifica su implantación.



La implantación se justifica por el aumento de calidad del agua, sus condiciones sanitarias, de confort y la importante reducción de impacto ambiental que supone.