

TRATAMIENTOS CON OZONO



AGUA POTABLE
Para espacios saludables

Índice

1. INTRODUCCIÓN.	2
2.- TRATAMIENTOS DE AGUA CON OZONO	3
Potabilización del agua _____	3
El problema: contaminación de agua de conductos _____	4
Potabilización de agua de pozos y veneros _____	4
3. QUÉ ES EL OZONO	5
Ficha descriptiva _____	5
Caracterización _____	6
Mecanismo de acción _____	7
Higienización de conductos _____	9
Espectro de acción _____	10
3.6. El ozono como biocida seguro _____	11
4. VENTAJAS Y UTILIDADES	12
5. DATOS TOXICOLÓGICOS	14

1. Introducción

Entre las múltiples funciones del agua, muy pocas veces se hace destacar que esta materia privilegiada (que representa casi las dos terceras partes del peso de los seres humanos) es simultáneamente el vehículo de la mayor parte de las demás sustancias, ya que este líquido, aunque mal electrolito, posee la propiedad de disolver e ionizar numerosos compuestos

El agua es un medio que se transforma sin cesar, un medio vivo, por lo que a pesar de salir de las ETAP (Estaciones de Tratamiento de Agua Potable) en condiciones de potabilidad, durante su desplazamiento a través de las redes de distribución puede contaminarse debido a la presencia de diferentes organismos en la película biológica que suele formarse en los conductos, así como en los mismos conductos, acometidas, etc.; sin mencionar la facilidad que tiene todo tipo de microorganismos de proliferar en los depósitos de agua, donde encuentran protección y alimento, o el agua de los pozos, generalmente muy contaminada, aún a pesar del residual de cloro que las estaciones de potabilización añaden al agua de salida

Desde un punto de vista teórico, resulta complicado que un ligero residual de cloro (que existe generalmente en forma combinada y, en consecuencia con una eficacia menor) sea capaz de compensar los efectos de una contaminación accidental.

La tecnología del ozono, poderoso desinfectante, resuelve eficazmente los problemas de contaminación del agua, sin dejar olores ni sabores extraños ni residuales de ningún tipo.

Riesgos

- 1. Contaminación biológica**
Proliferación en conductos y depósitos de bacterias (entre ellas la *Legionella*), hongos y virus, así como formación de película biológica.
- 2. Contaminación química**
Debida a compuestos procedentes de la desinfección, así como moléculas aromáticas que pueden interferir con los caracteres organolépticos del agua.



Consecuencias

- 1. Infecciones**
De usuarios y trabajadores de las instalaciones debidas a la contaminación del agua y de las conducciones de las mismas
- 2. Brotes de Legionelosis** Entre las consecuencias más graves de la contaminación biológica del agua, se encuentran la declaración de un brote de legionelosis.
- 3. Quejas y reclamaciones**
Por olores o sabores extraños en el agua potable.
- 4. Devaluación de imagen**
Además de los problemas humanos que acarrear las infecciones alimentarias, una vez determinado el foco de la intoxicación, las consecuencias económicas y de imagen son irreparables.

2. Tratamientos de agua con ozono

El ozono es un potente oxidante utilizado desde hace décadas en muy diversos campos, tanto en agua como en aire. Sus propiedades como desinfectante lo hacen ideal o para su uso en los tratamientos de potabilización de agua, así como en la recuperación de todo tipo de aguas de pozo contaminadas.

Potabilización de agua

Se llama potabilización al proceso por el cual se convierte un agua más o menos contaminada en agua apta para el consumo humano. El agua al salir de la planta potabilizadora reúne unas características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, reguladas por ley, que permiten el consumo público y que garantizan un agua potable de calidad.

Esta necesidad de tratamiento de las aguas se conoce desde hace mucho tiempo, al relacionarse la calidad del agua con la salud de la población. Se observó que la dotación de una localidad con un abastecimiento de agua en condiciones sanitarias aceptables coincidía con un brusco descenso de la tasa de mortalidad.

El agua potable, por lo tanto, debe cumplir una exigencia fundamental: ausencia de microorganismos patógenos y de sustancias tóxicas. Pero también debe cumplir otra exigencia: ausencia de sabores, olores, colores o turbiedades desagradables, (propiedades organolépticas) que provocarían el rechazo de los consumidores.

Las **técnicas de ozonización**, por su **gran eficacia desinfectante** y escasa residualidad, son utilizadas en el **tratamiento de aguas potables** desde hace mucho tiempo y han sufrido un importante desarrollo durante los últimos 30 años, particularmente en Francia, Alemania y Suiza, aunque también están presentes en España. De hecho, las ETAP de los embalses de Valmayor y Santillana, del Canal de Isabel II de Madrid, utilizan la ozonización en una de sus etapas de potabilización.

2.2 El problema: la contaminación del agua de conductos

Con el término de micro-contaminación, los especialistas, se refieren a las sustancias cuyos efectos organolépticos y sanitarios son seguros o, como mínimo, probables.

Dentro de esta denominación entran contaminantes de naturaleza metálica, microorganismos de todo tipo (sobre todo los virus que, al ser de tamaño tan reducido, atraviesan los filtros sin dificultad y son asombrosamente resistentes en medios exteriores), residuos plaguicidas, etc.

Los factores que favorecen la colonización de los conductos por ciertos organismos (entre ellos algunos microorganismos patógenos como *Legionella*) son el estancamiento de aguas, la película biológica (“biocapa” o “biofilm”, compuesta por



microorganismos, materia orgánica, residuos y materia inerte, que actúa como reservorio de microorganismos, además de favorecer el proceso de corrosión de las tuberías y aparatos metálicos) y las incrustaciones y sedimentos, donde los microbios encuentran fácilmente su alimento.

En efecto, como el agua potable es únicamente un elemento entre muchos otros en la ingesta, se deben eliminar lo mejor posible los micro-contaminantes cuyo exceso puede ocasionar trastornos sanitarios, de forma que se eviten todas las posibilidades de efecto acumulativo para el consumidor.

2.3. Potabilización de agua de pozos y veneros

En muchas ocasiones, cuando es posible por la existencia de aguas subterráneas, la población recurre al agua disponible en pozos, arroyos, lagunas o vertientes. El problema es que esas aguas, frecuentemente, no cumplen con los requisitos mínimos de higiene para su consumo, pudiendo dar lugar a epidemias por su alta carga microbiológica.

En estos casos también el ozono puede resolver el problema, pudiendo instalarse pequeñas estaciones de desinfección tras una serie de filtros eficientes. De esta manera se asegura la calidad higiénico-sanitaria del agua antes de su consumo.

3. Qué es el Ozono

El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas.

Ficha descriptiva del ozono

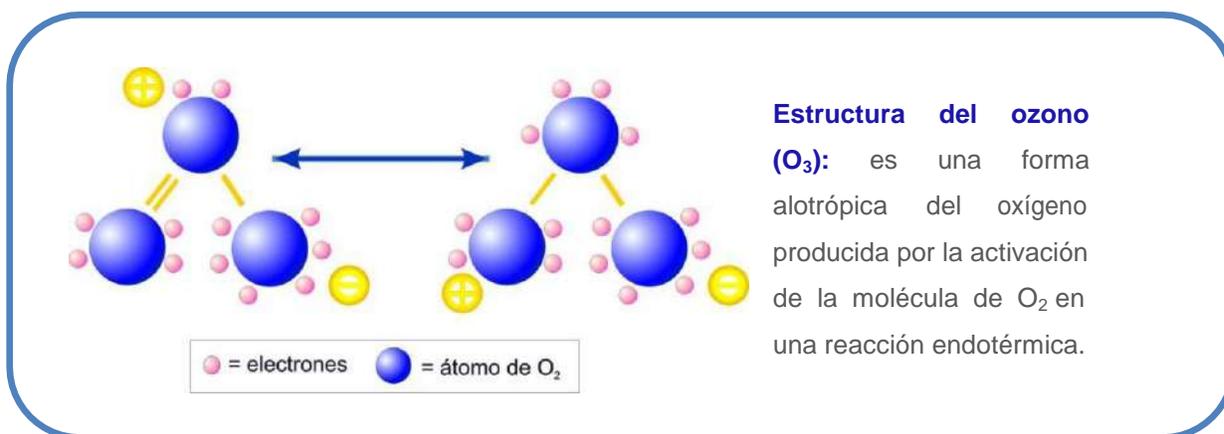
Identificación	
Nombre químico	ozono
Masa molecular relativa	48 g/L
Volumen molar	22,4 m ³ PTN/Kmol
Fórmula empírica	O ₃
Número de registro CAS	10028-15-6
Referencia EINECS	233-069-2
Densidad (gas)	2,144 g/L a 0°C
Densidad (líquido)	1,574 g/cm ³ a - 183°C
Temperatura de condensación a 100kPa	-112°C
Temperatura de fusión	-196°C
Punto de ebullición	-110,5°C
Punto de fusión	-251,4°C
Temperatura crítica	-12°C
Presión crítica	54 atms.
Densidad relativa frente al aire	1,3 veces más pesado que el aire
Inestable y susceptible de explosionar fácilmente	Líquido -112°C Sólido -192°C
Equivalencia	1 ppm = 2 mg/m ³

Caracterización

Como decíamos, el ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas.

Se trata de un gas azul pálido e inestable, que a temperatura ambiente se caracteriza por un olor picante, perceptible a menudo durante las tormentas eléctricas, así como en la proximidad de equipos eléctricos, según evidenció el filósofo holandés Van Marun en el año 1785. A una temperatura de -112°C condensa a un líquido azul intenso. En condiciones normales de presión y temperatura, el ozono es trece veces más soluble en agua que el oxígeno, pero debido a la mayor concentración de oxígeno en aire, éste se encuentra disuelto en el agua en mayor medida que el ozono.

La molécula presenta una estructura angular, con una longitud de enlace oxígeno-oxígeno de $1,28 \text{ \AA}$; se puede representar de la siguiente manera:



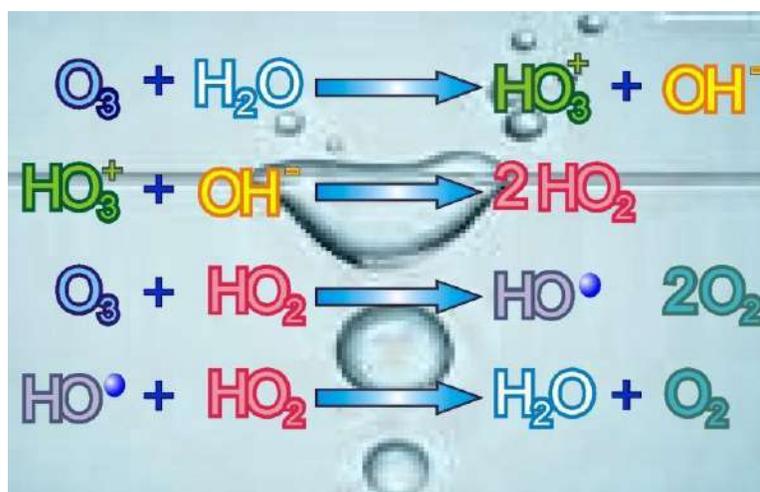
Debido a la inestabilidad del compuesto, en este tipo de aplicaciones, éste debe ser producido en el sitio de aplicación mediante unos generadores. El funcionamiento de estos aparatos es sencillo: pasan una corriente de oxígeno a través de dos electrodos. De esta manera, al aplicar un voltaje determinado, se provoca una corriente de electrones en el espacio delimitado por los electrodos, que es por el cual circula el gas. Estos electrones provocarán la disociación de las moléculas de oxígeno que posteriormente formarán el ozono.

Mecanismo de acción

Cuando este gas es inyectado en el **agua**, puede ejercer su poder oxidante mediante dos mecanismos de acción:

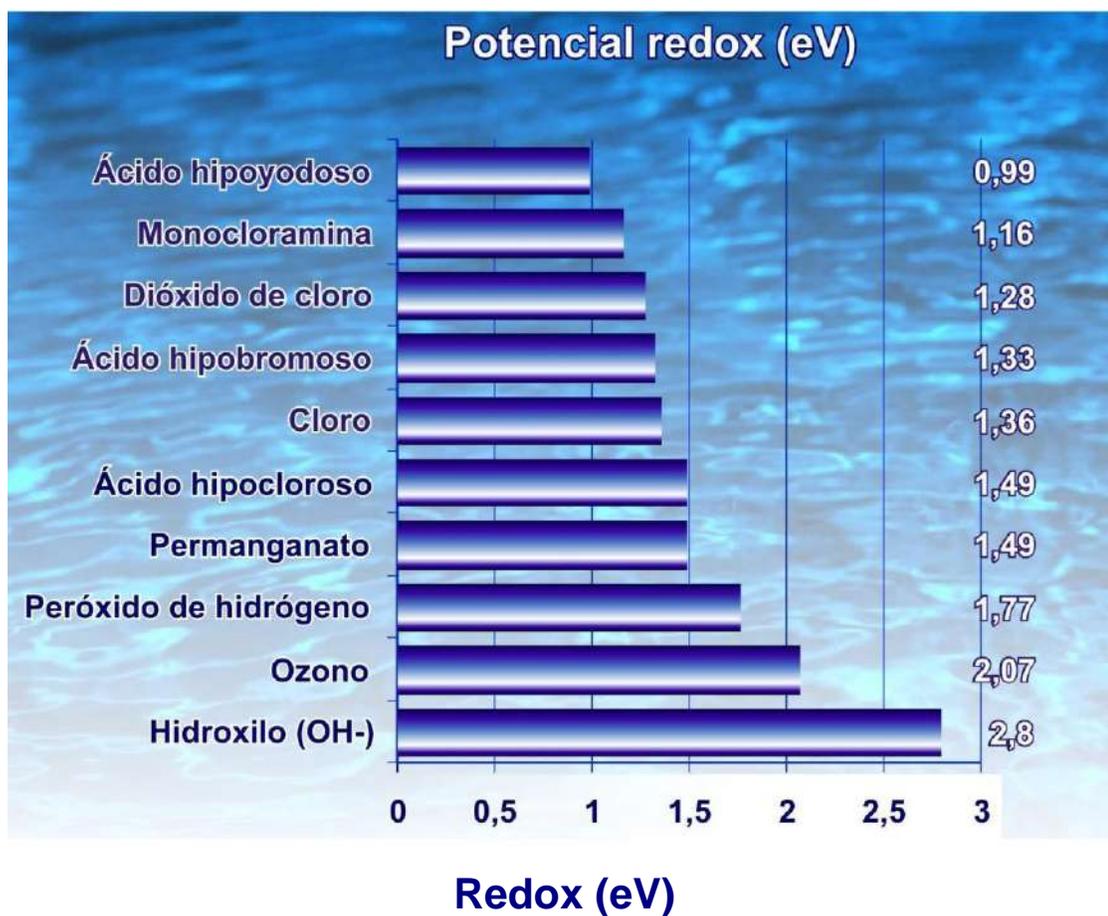
1. Oxidación directa de los compuestos mediante el ozono molecular.
2. Oxidación por radicales libres hidroxilo.

Los radicales libres hidroxilo, (OH^\bullet), se generan en el agua como a continuación se expone:



Los radicales libres así generados, constituyen uno de los más potentes oxidantes en agua, con un potencial de 2,80 V. No obstante, presentan el inconveniente de que su vida media es del orden de microsegundos, aunque la oxidación que llevan a cabo es mucho más rápida que la oxidación directa por moléculas de ozono.

De los oxidantes más utilizados en el tratamiento de aguas, los radicales libres de hidroxilo y el ozono tienen el potencial más alto, como se puede observar en la siguiente tabla:



Así, dependiendo de las condiciones del medio, puede predominar una u otra vía de oxidación:

- En condiciones de bajo pH, predomina la oxidación molecular.
- Bajo condiciones que favorecen la producción de radicales hidroxilos, como es el caso de un elevado pH, exposición a radiación ultra-violeta, o por adición de peróxido de hidrógeno, empieza a dominar la oxidación mediante hidroxilos. (EPA Guidance Manual, 1999).

Higienización de conductos

El agua de uso general, tanto para consumo humano como para las tareas diarias de limpieza, o el llenado de vasos de piscina, debe estar perfectamente desinfectada, además de no presentar restos químicos perjudiciales para la salud de los usuarios.

A fin de asegurar una correcta higienización del agua, resulta imprescindible controlar la concentración de agente bactericida o **potencial redox** del agua, garantía de la calidad total. Es de vital importancia que el biocida utilizado no deje residuos tóxicos, así como su perfecta mezcla en el líquido.

Un **alto potencial redox** en agua, garantiza su **pureza**, al constituir éste un valor que determina el nivel de eficacia de ese agua en la eliminación de los microorganismos presentes en ella. También se debe al alto nivel de potencial redox la escasa presencia de materia orgánica que, de esta manera, no puede servir de sustrato a los microbios.

Por lo tanto, un aspecto importante del **potencial redox** es su interrelación con el concepto de

esterilización,

habiéndose establecido el efecto esterilizante a

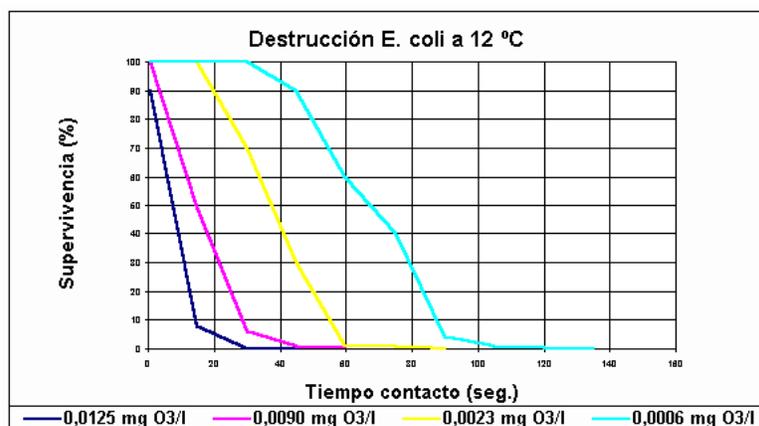
750 mV. Así, el potencial redox es un indicador del grado de

contaminación de un agua y del poder germicida de la misma. Un potencial redox de 200 mV, indica que toda la gama de gérmenes posibles está presente en dicho

agua. Sin embargo, simplemente

pasando de 200 a 300 mV, los gérmenes se reducen del 90% al 10%. Si se aumenta el potencial a 400 mV, únicamente el 1% de los gérmenes originales estará presente.

Las redes urbanas de agua potable trabajan, por ley, con valores superiores a 700 mV.



El ozono, como agente oxidante, constituye uno de los más eficaces desinfectantes, al ser su potencial de oxidación de 2.070 mV frente a los 1.360 mV del cloro.



Espectro de acción

Se puede decir que el ozono no tiene límites en el número y especies de microorganismos que puede eliminar, dado que actúa sobre estos a varios niveles.

La **oxidación directa de la pared celular** constituye su principal modo de acción. Esta oxidación provoca la rotura de dicha pared, propiciando así que los constituyentes celulares salgan al exterior de la célula. Asimismo, la producción de radicales hidroxilo como consecuencia de la desintegración del ozono en el agua, provoca un efecto similar al expuesto.

Los daños producidos sobre los microorganismos no se limitan a la oxidación de su pared: el ozono también causa daños a los constituyentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), provocando la ruptura de enlaces carbono-nitrógeno, lo que da lugar a una **despolimerización**. Los microorganismos, por tanto, no son capaces de desarrollar inmunidad al ozono como hacen frente a otros compuestos.

El ozono es eficaz, pues, en la **eliminación de bacterias, virus, protozoos, nemátodos, hongos, agregados celulares, esporas y quistes** (Rice, 1984; Owens, 2000; Lezcano, 1999).

Por otra parte, **actúa a menor concentración y con menor tiempo de contacto** que otros desinfectantes como el cloro, dióxido de cloro y monoclóraminas.

Además el ozono, como indicábamos previamente, **oxida sustancias citoplasmáticas**, mientras que el cloro únicamente produce una destrucción de centros vitales de la célula, que en ocasiones no llega a ser efectiva por lo que los microorganismos logran recuperarse (Bitton, 1994).

3.6. El Ozono como biocida seguro

Por sus singulares características, el ozono cumpliría con gran parte de los ideales de un biocida como:

- Ser efectivo frente a un amplio rango de microorganismos.
- Tener un alto poder desinfectante, por lo que destruye los microorganismos del agua y del aire.
- Descomponerse fácilmente sin dejar sustancias peligrosas que puedan perjudicar la salud ni el medio.
- Actuar rápidamente y ser efectivo a bajas concentraciones en un amplio rango de pH.
- No causar deterioro de materiales.
- Tener un bajo coste, ser seguro y fácil de manejar y aplicar.
- Eliminación de contaminación química.
- Único sistema de desinfección en continuo.
- Mejora la salud de los usuarios de las instalaciones al permitir eliminar el exceso de cloro en el agua.
- Aumenta la satisfacción de los clientes al propiciar un ambiente limpio y libre de olores.
- Único biocida cuyo empleo no está prohibido en presencia de personas y alimentos.

Este sistema puede, además, utilizarse tanto como **tratamiento de choque** como en pequeñas concentraciones de **manera continua**. Un tratamiento continuo asegura no sólo la ausencia de microorganismos patógenos: también elimina aquellos microorganismos que forman parte de la película biológica que se forma en los conductos de aire y agua, y que se presenta como un reservorio de patógenos a eliminar si se quiere prevenir una constante re-contaminación de las instalaciones

4. Ventajas y utilidades

A la hora de asesorar sobre un tratamiento de descontaminación de agua, se deben considerar los siguientes aspectos sobre el biocida a utilizar: amplia eficacia, cambios en la microflora, potencial para la introducción de otros elementos peligrosos, potencial de peligrosidad para los usuarios y trabajadores, impacto sobre el medio ambiente y percepción por parte del consumidor del biocida.

Además de las ventajas que a lo largo del presente informe se han expuesto, y que responden a algunos de esos aspectos a considerar, queremos remarcar las que les pueden resultar a ustedes especialmente interesantes:

- **El O₃ es el biocida ideal para ser utilizado dentro de un programa APPCC**

Tanto en la descontaminación de agua como de conductos y pozos. Con un adecuado diseño del tratamiento se puede evitar el deterioro y contaminación de conductos por parte de microorganismos, así como proteger contra cualquier foco de infección tanto a los usuarios como a los trabajadores de las instalaciones tratadas, lo que redundará en una mayor seguridad de los mismos.

- **Su uso está autorizado en presencia de personas y alimentos**

Así como en aire de cámaras frigoríficas (Norma española UNE 400-201-94, *recomendaciones de seguridad en generadores de ozono para tratamiento de aire*; Real Decreto 168/1985, de 6 de febrero, *por el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria sobre condiciones generales de almacenamiento frigorífico de alimentos y productos alimentarios*; Real Decreto 140/2003, de 7 de Febrero, *por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano*; FDA -Administración Americana de Alimentos y Medicamentos-). Asimismo el ozono está incluido en la Directiva 98/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de febrero de 1998, *relativa a la comercialización de biocidas*.

Ofrece, de esta manera, la posibilidad de desinfectar agua y las superficies lavadas con esta agua.



Además, con la instalación de un sistema eficaz de desinfección y desodorización de aire como el que Cosemar Ozono ofrece, se garantiza la existencia de un ambiente libre de microorganismos entre los que puede haber agentes patógenos de diversa naturaleza capaces de recontaminar las instalaciones.

- **Prevención de aparición de brotes de *Legionella***

La legionelosis es, desgraciadamente, una de las enfermedades “urbanas” más conocida: prácticamente todos los veranos se declara en España algún brote de legionelosis que provoca no pocas víctimas.

La *Legionella* se encuentra en varios ambientes naturales y artificiales, a partir de los cuales puede llegar a infectar instalaciones como torres de refrigeración, agua sanitaria, fuentes ornamentales, **depósitos de agua, piscinas climatizadas**, etc., lugares susceptibles de ofrecer el hábitat apropiado para el desarrollo de la bacteria. Este ambiente, junto con la producción de aerosoles que pueden propiciar dichas instalaciones, son los principales causantes de los brotes de legionelosis.

Como respuesta al problema de Salud Pública que esta bacteria constituye, en 2003 se publicó el **Real Decreto 865** con el fin de prevenir la aparición de nuevos brotes en las instalaciones proclives a ello, y que el RD denomina “de riesgo”. **Los tratamientos físico-químicos como la ozonización, son contemplados en el 865**, teniendo Cosemar ozono una amplia experiencia en la desinfección de agua, tanto en torres de refrigeración como en el resto de instalaciones susceptibles de propagar *Legionella*.

- **Sin residuos y con plazos de seguridad cortos**

El ozono se descompone sin dejar rastro en el aire o el agua de elementos que puedan ser perjudiciales para la salud o el medio, además de no ceder ningún sabor al agua.

Por otra parte, al ser su vida media tan corta por su alta reactividad, los plazos de seguridad para su aplicación sólo son necesarios en el caso de tratamientos de aire con altas concentraciones del gas (tratamientos de choque), siendo del orden de media hora.

5. Datos toxicológicos

En cuanto a su ficha toxicológica, el ozono está clasificado únicamente como AGENTE IRRITANTE X_i en aire, no estando clasificado como carcinogénico.

Esta clasificación como agente irritante se refiere **exclusivamente a sus concentraciones en aire**, es decir, a los problemas derivados de su inhalación, que dependen de la concentración a la cual las personas están expuestas, así como del tiempo de dicha exposición.

La normativa emitida por la OMS recomienda una concentración máxima de ozono en aire, para el público en general, de 0,05 ppm (0,1 mg/m³).

Datos de toxicidad por inhalación

- TLV: 0,1 ppm
 - Recomendaciones de seguridad de la norma UNE 400-201-94: <100 µg/m³
 - Los Valores Límite Ambientales (VLA) (año 2014), establecen para el ozono límites de exposición en función de la actividad realizada, siendo el valor más restrictivo 0,05 ppm (exposiciones de 8 horas) y 0,2 ppm para periodos inferiores a 2 horas. La EPA establece un estándar de 0,12 ppm para 1 hora de exposición y la OMS propone un valor de referencia de 120 µg/m³ ó 0,06 ppm para un periodo máximo de 8 horas
-

Por otra parte, salvo que se almacene líquido a altas presiones, el ozono es generado *in situ*, no pudiendo existir escapes superiores a la producción programada en los generadores, ya que estos únicamente producen el gas, no lo acumulan. Los valores para producir efectos agudos letales son muy altos, de 15 ppm, concentraciones prácticamente inalcanzables en tratamientos convencionales.

Disuelto **en agua, el ozono resulta completamente inocuo**, dado que su acción sobre la materia orgánica provoca su rápida descomposición. De hecho, **el ozono se encuentra autorizado como coadyuvante en el tratamiento de aguas potables** según la resolución de 23 de Abril de 1984 del Ministerio de Sanidad y Consumo (BOE Núm. 111 de 9 de Mayo del mismo año), estando asimismo reconocido como desinfectante en la potabilización de aguas por la norma UNE-EN 1278:1999.

En palabras textuales de la norma española:

El ozono se auto-descompone en el agua. Por tanto, a las dosis habitualmente aplicadas, no se requiere generalmente ningún proceso de eliminación. [...]

Asimismo, el real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, incluye el ozono como *sustancia para el tratamiento del agua*, ya que cumple con la norma UNE-EN correspondiente y en vigencia (incluida en el Anexo II del RD, *normas UNE-EN de sustancias utilizadas en el tratamiento del agua de consumo humano*: UNE-EN 1278:1999- Ozono).

En el *Codex Alimentarius*, el ozono viene definido por tener un uso funcional en alimentos como agente antimicrobiano y desinfectante, tanto del agua destinada a consumo directo, del hielo, o de sustancias de consumo indirecto, como es el caso del agua utilizada en el tratamiento o presentación del pescado, productos agrícolas y otros alimentos perecederos.

María del Mar Pérez Calvo
Dr. en CC. Biológicas
Director Técnico de Cosemar Ozono