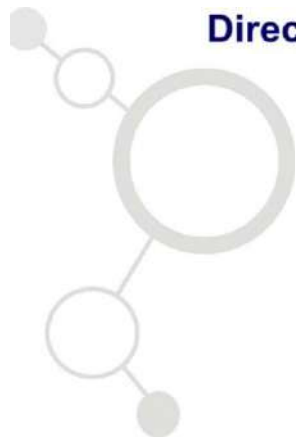


# TRATAMIENTOS CON OZONO



**RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**  
Para espacios saludables



## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2. TRATAMIENTOS DE AGUA CON OZONO</b>	<b>3</b>
2.1 Recuperación de aguas residuales _____	3
2.1.a.- Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales _ _ _ _ _	3
2.1.b.- Recuperación de aguas de vertido _ _ _ _ _	4
<b>3.- QUÉ ES EL OZONO</b>	<b>5</b>
Ficha descriptiva del ozono _____	5
Caracterización _ _ _ _ _	6
Mecanismo de acción _____	7
Espectro de acción desinfectante _____	9
Oxidación de compuestos químicos _____	10
<b>4. VENTAJAS QUE OFRECEN LOS TRATAMIENTOS CON O<sub>3</sub></b>	<b>11</b>
<b>5. DATOS TOXICOLÓGICOS</b>	<b>12</b>

# 1. Introducción

Resulta evidente, y más en países que se enfrentan a una creciente escasez de agua, la necesidad de enfoques globales respecto a su uso.

Una buena medida para la disminución de su consumo indiscriminado consiste en recurrir a la **recuperación de los recursos hídricos**, minimizando los efectos adversos que la sobreexplotación y el aumento de población en regiones urbanas significan en cuanto a consumo de agua potable e incremento en la generación de aguas residuales, así como actuando en regiones rurales, recuperando el agua contaminada de veneros, lagunas y pozos mediante un sistema eficaz de desinfección del agua que la haga apta para el consumo humano. Al diseñar puntualmente estas medidas, es imprescindible contar con un arma eficaz en cuanto a desinfección del agua para su potabilización y/o recuperación de aguas residuales para otros usos (riego, recreativos, ornamentales, etc.)

El **ozono**, potente desinfectante, destaca como arma eficaz en el tratamiento de agua, tanto en los últimos pasos de su **potabilización**, como en la **recuperación de aguas residuales**, al ser también capaz de descomponer numerosos compuestos químicos nocivos. Asimismo, el ozono es un excelente aliado en la **industria** textil, ya que su uso supone un importante ahorro de agua y una mejora sustancial de las aguas de vertido.

## La crisis del agua

El acceso al agua está reconocido por la ONU como un derecho económico, social y cultural, y conseguir la mejor calidad de agua posible para el suministro de poblaciones es una de las principales demandas de las sociedades más avanzadas.



Además, en la actualidad, los filtros naturales no tienen la capacidad suficiente para eliminar todos los contaminantes incluidos en los vertidos de origen antropogénico.

El **ozono** ayuda a paliar el consumo indiscriminado de agua, interviniendo en:

- **Potabilización**
- **Reutilización**
- **Recuperación de aguas residuales,**

**desinfectándolas y eliminado compuestos químicos** nocivos para la salud y el medio, gracias a su gran poder oxidante.

## 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 residuales.

### Recuperación de aguas residuales

El origen, composición y cantidad de desechos está relacionado con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual. Pueden definirse las aguas residuales como el conjunto de aguas que llevan elementos extraños bien por causas naturales, bien provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana.

El Saneamiento tiene por objeto la evacuación y depuración, hasta niveles aceptables para el medio ambiente, de las aguas residuales urbanas (domésticas e industriales) y de las aguas de escorrentía pluvial.

La fase final del saneamiento es la depuración de aguas residuales y su posterior vertido en condiciones ambientales aceptables, lo que se comprueba mediante diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH.

La depuración conlleva la realización de dos actividades adicionales muy importantes, que pueden ser objeto de sendos servicios diferenciados. Una es el tratamiento y disposición o utilización última de los fangos, y otra es la reutilización de las aguas residuales, previo su acondicionamiento al uso destinado.

### Estaciones Depuradoras de Agua Residual

Una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), es una instalación en la cual, con el auxilio de diversos equipos mecánicos, eléctricos e hidráulicos, se llevan a cabo en menor tiempo y en un espacio más reducido, procesos similares a los realizados naturalmente, liberando el agua residual de los elementos extraños que lleva incorporados hasta alcanzar un determinado nivel de pureza. Este tratamiento comprende varios procesos básicos:

1. **Pre-tratamiento:** tiene como objetivo eliminar de las aguas residuales todos aquellos elementos de diferente tamaño, que por su acción mecánica, pueden afectar al funcionamiento del sistema depurador, así como las arenas y elementos minerales que pueden originar sedimentaciones y/o abrasiones a lo largo de las conducciones o elementos mecánicos de la instalación.
2. **Tratamiento Primario:** tiene como objetivo la eliminación, por medios físicos, de los sólidos en suspensión no eliminados en el pre – tratamiento
3. **Tratamiento Secundario:** reduce la cantidad de materia orgánica no biodegradable que no se ha conseguido eliminar en el tratamiento anterior; esto se logra mediante el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar dicha materia orgánica.
4. **Tratamiento Terciario:** el efluente de un tratamiento secundario puede estar todavía insuficientemente depurado para determinados usos, siendo preciso una serie de procesos que se agrupan bajo el nombre de tratamiento terciario. Este se lleva a cabo para eliminar fundamentalmente la materia orgánica que no ha sido retenida en el tratamiento biológico, o bien que no es biodegradable, y las sales inorgánicas disueltas, entre las que destacan el nitrógeno y el fósforo, que son dos de los máximos responsables de la eutrofización de los cursos y depósitos de agua.

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un **grado de tratamiento mayor** que el que puede aportar el proceso terciario **porque el efluente va a reutilizarse**, es necesario un **tratamiento avanzado** de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo.

El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse básicamente, como hemos indicado, para eliminar sales inorgánicas, mientras que **el tratamiento avanzado incluye pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes**. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. **Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable.**

## 2.2.b.- Recuperación de aguas de vertido

En lo que respecta a los vertidos industriales, el ozono es asimismo capaz de mejorar la composición de las aguas de vertido, al ser capaz de oxidar, descomponiéndolos, gran número de agentes químicos de diversa naturaleza, convirtiéndolos en compuestos menos o nada tóxicos, **incluidos los compuestos resultantes de tintes de la industria textil.**

## 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.

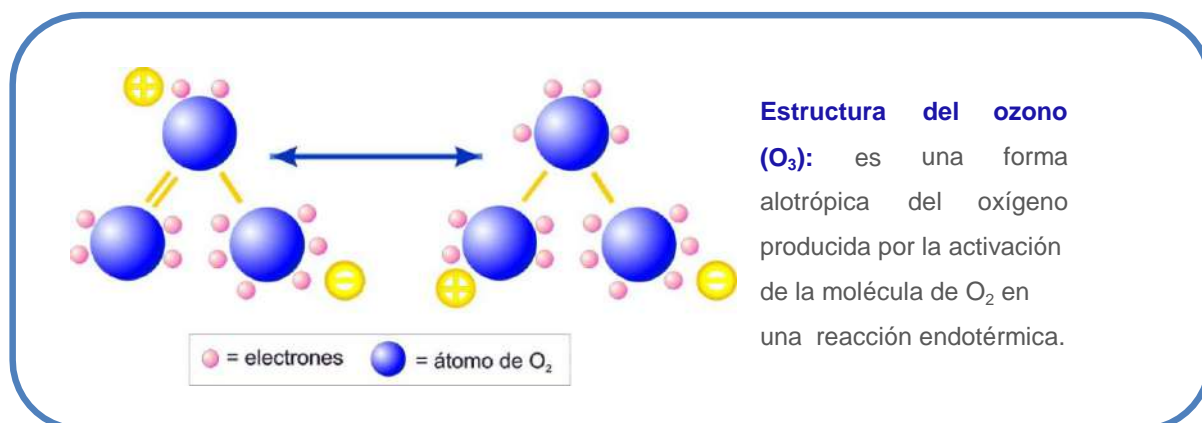
### Ficha descriptiva del ozono

Identificación	
Nombre químico	ozono
Masa molecular relativa	48 g/L
Volumen molar	22,4 m <sup>3</sup> PTN/Kmol
Fórmula empírica	O <sub>3</sub>
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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>

## Caracterización

El ozono es 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  $-112^{\circ}\text{C}$  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 molecular angular, con una longitud de enlace oxígeno-oxígeno de  $1,28 \text{ \AA}$ ; se puede representar de la siguiente manera:



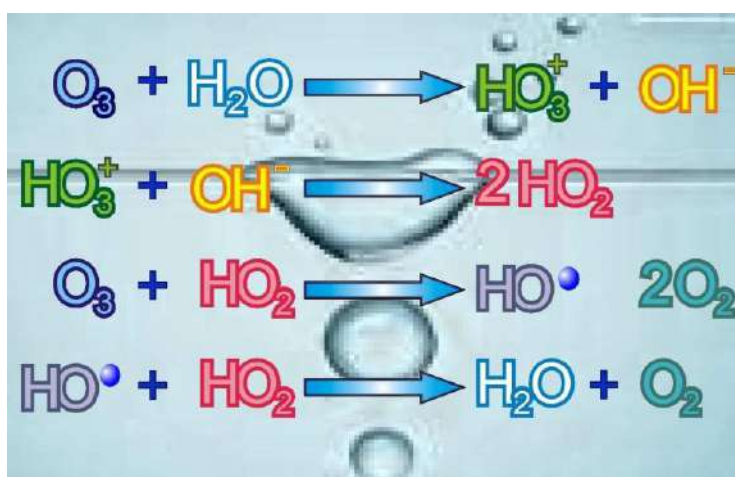
Debido a la inestabilidad del compuesto, en este tipo de aplicaciones, éste debe ser producido en el sitio de aplicación mediante unos generadores. El funcionamiento de estos aparatos es sencillo: pasar una corriente de oxígeno a través de dos electrodos. De esta manera, al aplicar un voltaje determinado,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

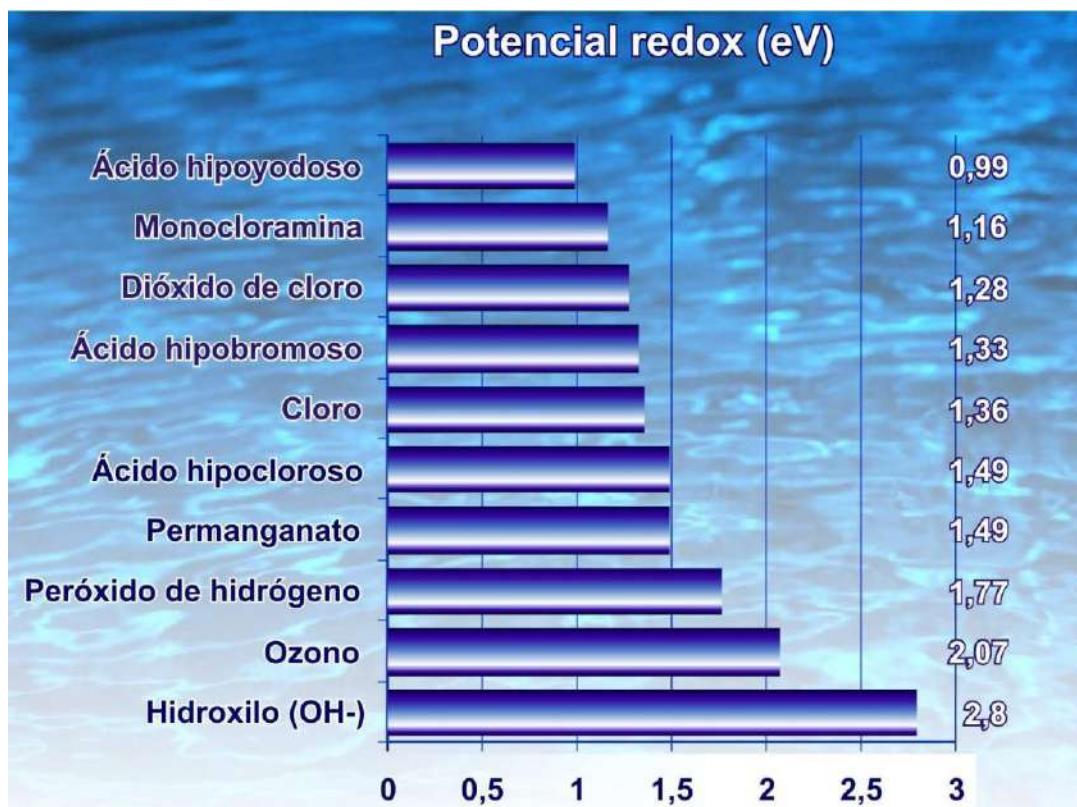
Los radicales libres hidroxilo, ( $\text{OH}^\bullet$ ), se generan en el agua como a continuación se expone:



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).

## Espectro de acción desinfectante

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 monocloramias.

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).

## Oxidación de compuestos químicos

En lo que respecta a la contaminación química del agua, el ozono, por su alto poder oxidante, posee un amplio espectro de acción, siendo capaz de interaccionar, desactivándolos, con compuestos orgánicos e inorgánicos. Debido a su estructura, los **átomos del ozono necesitan fuertemente captar electrones, lo que hace que reaccione rápidamente con cualquier molécula, especialmente aquellas que poseen dobles enlaces o anillos aromáticos:** aldehídos, cetonas, derivados nitrogenados, derivados del azufre, hidrocarburos, ácidos, etc. Esta interacción, se traduce en una mejora a nivel de compuestos que:

- Son nocivos para la salud
- Producen malos olores
- Pueden llegar a producir irritaciones, reacciones alérgicas, etc.

EL ozono es eficaz en la eliminación de compuestos inorgánicos como amonio o nitritos, que oxida con rapidez. La eliminación de IONES FERROSOS Y MANGANOSOS es de especial importancia en el caso de la potabilización de aguas y la recuperación de lagos o corrientes de agua con problemas de eutrofización.

*El ozono oxida, entre otros compuestos, sulfuros, NOx y cianuros*

En lo que respecta al manganeso, cuando un agua bruta contiene este elemento, suele ser en presencia de hierro. Pero los procesos de desferrización habituales (mediante cloración), generalmente son insuficientes para la eliminación eficaz del manganeso: la precipitación en forma de hidróxido o la oxidación con oxígeno sólo serían posibles en el caso de un pH demasiado alcalino (9 a 9,5 como mínimo); a veces es posible la oxidación con cloro, pero en presencia de un fuerte exceso de cloro, que debe neutralizarse seguidamente.

Por el contrario, se obtiene una oxidación suficientemente rápida con ozono, que lleva el manganeso bivalente al estado de oxidación +4 y lo precipita en forma de dióxido de manganeso.

El **ozono** se revela también como oxidante de otros productos químicos muy tóxicos, como compuestos orgánicos, que oxida parcialmente a compuestos biodegradables. Asimismo el gas **oxida cetonas, aldehidos, compuestos alifáticos, hierro, manganeso, sulfuros, sulfitos, fenoles, NOx, cianuros, etc.**

## 4. Ventajas que ofrecen los tratamientos con O<sub>3</sub>

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

- Ser un desinfectante efectivo frente a un amplio rango de microorganismos.
- Descomponer compuestos recalcitrantes como los restos de tintes de los efluentes de industria textil.
- 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 transportar, manejar y aplicar.
- Asegurar la calidad y potabilidad del agua resultante de los procesos de potabilización.
- Permitir la utilización del agua disponible en pozos y veneros como agua potable.
- Purificación del agua procedente de EDAR para su posterior reutilización en riegos, fuentes, actividades recreativas, etc., con el ahorro que dicha reutilización supone, tanto en términos de agua potable como económicos.
- Recuperación de aguas de vertido industrial, lo que supone asimismo una ventaja económica además de ambiental.

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 y que se presenta como un reservorio de patógenos a eliminar si se quiere prevenir una constante re-contaminación de las instalaciones

## 5. Datos toxicológicos

En cuanto a su ficha toxicológica, el ozono está clasificado únicamente como AGENTE IRRITANTE X<sub>i</sub> 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/m<sup>3</sup>).

### Datos de toxicidad por inhalación

- TLV: 0,1 ppm
- Recomendaciones de seguridad de la norma UNE 400-201-94: <100 µg/m<sup>3</sup>
- Los Valores Límite Ambientales (VLA) (año 2000), 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/m<sup>3</sup> 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.