

Revisión de las Aplicaciones del Ozono y su Generación para el Uso en Mascarillas contra Patógenos. Versión Preliminar

Juan Manuel García-Chamizo¹, Sara Alcañiz-Lucas², Francisco Javier Ferrández-Pastor¹, José Joaquín Pérez Maciá¹, Diego Silveira Madrid¹, Marina García Pérez¹.

¹Grupo UCIE Ars Innovatio, Universidad de Alicante, España.

²Unidad de Experimentación Vegetal, Servicios Técnicos de Investigación (SSTI), Universidad de Alicante, España.

Keywords: ozono, generación de ozono, virucidas, sars, covid19

ÍNDICE

- 1. Introducción.**
- 2. Efecto del ozono sobre bacterias y virus.**
- 3. Ámbitos de aplicación.**
- 4. Precauciones en el uso.**
- 5. Tecnología de Generación de Ozono.**
- 6. Conclusiones.**
- 7. Bibliografía.**

1. Introducción

Desde el punto de vista químico, el ozono es una forma alotrópica del oxígeno, cuya molécula está formada por tres átomos de oxígeno (O₃). Es un gas de color azul pardo que cuando se líquida se convierte en un líquido azul oscuro y depende de variables como la temperatura, el pH, concentración y algunos solutos. Tiene un peso molecular de 48 g/mol., un punto de ebullición de -111,9 °C, y un punto de fusión de -192,7 °C a 1atm. Su potencial de oxidación es alto (-2.07 V) comparado con el ácido hipocloroso (-1.49 V) o cloro (-1.36 V) (Merck Index, 1989) convirtiéndole en un potente agente oxidante, lo que le confiere propiedades biocidas para ser utilizado como desinfectante

en ambientes interiores. De hecho, el ozono es el desinfectante más eficiente para todo tipo de microorganismos, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se puede decir, que el ozono no tiene límites en el número y especies de microorganismos que puede eliminar y al ser un gas, tiene la capacidad de penetrar y ocupar todo el espacio de difícil acceso por difusión representando una gran ventaja respecto a otros desinfectantes. Además, el ozono tiene la posibilidad de poder usarse disuelto en agua (agua ozonizada).

Se ha demostrado ampliamente que el ozono es eficaz en la eliminación de bacterias, virus, protozoos, nemátodos, hongos, agregados celulares y esporas debido a que ejerce su acción biológica por oxidación directa de la pared celular, vía radicales libres, formados en el proceso de peroxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y en el de oxidación de proteínas, aminas y tioles (Pryor et al., 1995). Asimismo, la producción de radicales hidroxilos como consecuencia de la desintegración del ozono en el agua provoca un efecto similar al expuesto.

2. Efecto del ozono sobre bacterias y virus

Con relación a su efectividad contra bacterias, se ha observado que cepas bacterianas de *Salmonella entérica* y *Escherichia coli* se redujeron un logaritmo en los primeros 60 segundos de contacto con ozono (0,24 mg/L) y casi cuatro unidades logarítmicas a los 10 min (Fernández-Torres et al., 2010). Recientemente, Zhou et al. (2018), registraron una disminución de población de diferentes bacterias, tanto en fruta fresca como congelada, al aplicar ozono al 6% durante 30 minutos (reducción de dos unidades logarítmicas para el caso de la *Salmonella*).

En referencia a los virus, su efectividad se basa en la alteración de varios de sus constituyentes como son proteínas, ácidos nucleicos y componentes de la cubierta vírica (Kim et al., 1999). Hudson et al. (2009) observaron la inactividad de 12 virus que testaron con un generador de ozono portátil, obteniendo el mayor poder antiviral del ozono en habitaciones con una humedad relativa mayor del 90% y una concentración de ozono gaseoso de 20 a 25 ppm. Recientemente, se ha observado la inactivación total de dos tipos de norovirus (TV y MNV-1) tanto mediante la aplicación de ozono disuelto como

gaseoso, viéndose reducciones de 4,1 log desde los 10 minutos y la total inactivación a los 40 minutos, siendo la cantidad de reducción viral dependiente de las propiedades específicas de cada virus (Predmore et al., 2015). Brié et al. (2018) corroboraron esa eficacia, viendo la destrucción del norovirus MNV-1 en la superficie de frambuesas en menor tiempo a concentraciones mayores de ozono gaseoso (4ppm en 2 minutos). Además, demostraron que el ozono no afectaba la apariencia de dicha fruta, ni siquiera con exposiciones duraderas (40 minutos) a concentraciones mayores de ozono gaseoso (5 ppm), convirtiéndose en una buena alternativa para desinfectar comida sin alterarla. En este sentido, Chen et. al. (2020) estudiaron los efectos de diferentes dosis de ozono en la calidad postcosecha de melones durante el almacenamiento, puesto que los melones son propensos a la descomposición y presentan posibles vehículos para la transmisión de enfermedades. Sus resultados revelaron que dosis a de ozono de 15.008 mg/m³ redujeron la tasa de respiración, la tasa de producción de etileno y la cantidad de microorganismos, así como, aportaron niveles más altos de firmeza, contenido de pectina, reducción de azúcar y acidez titulable. En relación, a la destrucción del etileno, Bataller et al. (2010) consiguieron, bombeando el ozono hacia el interior del local de almacenamiento, un retraso de la maduración en un 20 a 30%, prolongando, así, el tiempo de almacenaje. Sin embargo, también se pueden hacer tratamientos puntuales realizados en tiempos muy cortos y bajo elevadas concentraciones, respecto a las empleadas durante el almacenamiento, asegurándose que no haya presencia de personal. Según la OMS, con concentraciones de ozono de 0,1-0,2 mg/L·min, se consigue una inactivación del 99% de rotavirus y polio-virus, pertenecientes al grupo 4 de los Coronavirus (WHO, 2000). Referente a este tipo de virus, los bacteriófagos (como el pX174) han sido ampliamente utilizados como indicadores de poliovirus, enterovirus, virus envueltos y Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH), debido a que son seguros y fáciles de manejar y se ha observado una supervivencia del mismo de 0,1% con concentraciones de 0,04 ppm de ozono gaseoso durante 480 segundo (de Mik et al., 1977) y de 0,00001% para el virus de la Hepatitis A con 1,66 ppm de ozono acuoso durante 5 segundos (Hall and Sobbey, 1993). Tanaka et al. (2009) demostraron una inactividad del 99,99% del virus de la gripe A con una concentración de 20 ppm de ozono en forma de gas durante 150 minutos y necesitaron 2010 minutos al utilizar una concentración de 10 ppm.

Asimismo, la eficiencia del ozono como insecticida se ha evaluado mediante diferentes estudios. Se encontró que el ozono era un insecticida eficaz para cuatro especies de insectos comunes en productos alimentarios de importancia económica (Xinyi et al., 2017). Estos autores testaron la aplicación de ozono gaseoso en escarabajos y gorgojos resistentes a la fosfina y otras cepas susceptibles a la misma. En general, encontraron que, tras la exposición de ozono a una concentración de $0,42 \text{ g/m}^3$ (200 ppm aprox.) durante 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10 y 12 h con 0 y 10 g de trigo, los porcentajes de mortalidad, después de 1 y 5 días, oscilaban entre números muy elevados (82 al 100%) y que el ozono suprimió efectivamente la producción de progenie adulta de las cuatro especies, siendo un fumigante alternativo viable para controlar las cepas resistentes a la fosfina. Aunque la concentración y el tiempo de exposición al ozono, dependerá de la etapa fenológica de la plaga como observaron Pandiselvam et al. (2019) en la eliminación del escarabajo *Callosobruchus maculatus*, que afecta a las legumbres almacenadas. Estos autores determinaron los porcentajes de mortalidad para las diferentes etapas de dicho insecto, observando que aumentaba con el incremento de la concentración de ozono y el tiempo de exposición. Se documentó que la etapa adulta es menos tolerante al ozono, ya que requiere una concentración de 500 ppm durante 274,40 min para matar al 90% de la población, mientras que la etapa pupa necesita 1816,54. Muchas veces, los insectos no están expuestos libremente, sino que están protegidos dentro de los granos. Hansen et al. (2012) calcularon las dosis de ozono necesarias para el control total de las etapas libremente expuestas e internas de once especies de plagas de productos almacenados. Sus resultados revelaron que las etapas libremente expuestas (con algunas excepciones) se controlaron con 35 ppm de ozono durante 6 días y la mortalidad total de las etapas internas dentro de los granos requirió exposición a 135 ppm durante 8 días.

3. Ámbitos de aplicación

En la figura 1 se muestra el ámbito de aplicación del Ozono que propone la revisión del estado del arte de este documento. Como se ha mencionado anteriormente, por su alto poder desinfectante se ha utilizado con éxito en diversos campos tanto en forma gaseosa como acuosa. En el campo de la medicina y la odontología se ha

observado la eficacia de su aplicación. En este sentido, se comprobó una disminución significativa de la inmunoreactividad del receptor H3 de histamina, cuya expresión está asociada a las enfermedades alérgicas de las vías respiratorias, problema de salud común y creciente en niños, cuando se expuso a durante 5 meses a infantes de monos rhesus a los ácaros del polvo doméstico con ozono (Sekizawa et al., 2010). Referente a la odontología, Malik et al. (2018), han observado la efectividad de la aplicación de ozono gaseoso en: implantes, debido a que reduce bacterias como *Porphyromonas gingivalis* and *Streptococcus sanguis* sobre Titanio y Zirconia; el tratamiento de caries; prostodoncia y periodontitis, por su acción antimicrobiana y antifúngica. Y de la aplicación de agua y aceite ionizados en la medicina oral para solucionar lesiones como herpes, aftas, queilitis exfoliativa, candidiasis y estomatitis.

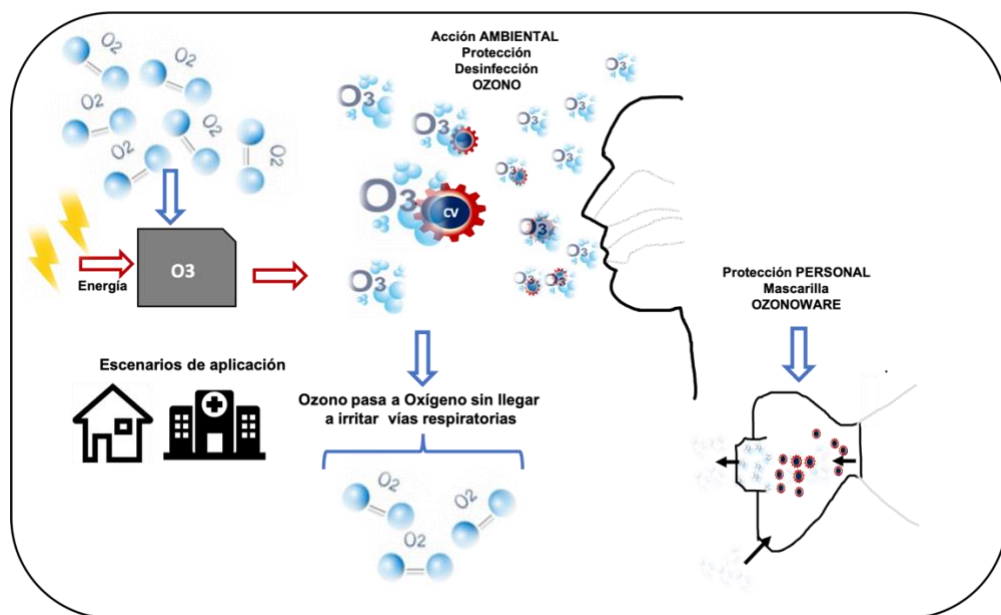


Fig. 1. Ámbito de aplicación del Ozono frente a virus

Al ser un gas, tiene alto poder penetrante que permite desinfectar estancias y todo el mobiliario interior de forma más completa que haciéndolo manualmente mediante la aplicación de aerosoles o espray líquido (Barker et al., 2004; Malik et al., 2006; Hudson et al., 2007). En forma acuosa se ha usado el ozono en muchas aplicaciones comerciales como la potabilización y desinfección de aguas, lavanderías, desodorización de ambientes, blanqueado de la pulpa de papel, procesado de alimentos, síntesis de

sabores, fragancias y perfumes, de iniciadores de polimerización, perácidos y algunos fármacos, etc. (Kim et al., 1999; Shin and Sobsey, 2003; Naito and Takahara, 2006, 2008; Cardis et al., 2007).

4. Precauciones en el uso del ozono

El ozono en la estratosfera es beneficioso para la vida porque protege a los seres vivos del daño de las radiaciones UV. Sin embargo, a nivel troposférico, según recomendaciones de la OMS, empieza a tener efectos nocivos para la salud humana a partir de concentraciones superiores a 0,05 ppm durante ocho horas diarias. La peligrosidad de su exposición en personas, animales y plantas (Palomares et al., 2010) se debe a la reacción del ozono y sus reactivos intermediarios con las macromoléculas celulares. Cuando el ozono se disuelve en los fluidos biológicos, se descompone y reacciona con los ácidos grasos insaturados de las membranas celulares generando reactivos intermediarios como el agua oxigenada y ozónidos, entre otros. (Pryor, 1994 y 1995). Se ha encontrado que el ozono daña los leucocitos humanos cuando aplicaron ozono y agua oxigenada a los leucocitos de la sangre humana (Díaz-LLera et al., 2002) y que el agua oxigenada daña el ADN vía reacción de Fenton (Linn, 1998). Por todo ello, se han establecido los límites ambientales de exposición al ozono dependiendo de la actividad realizada y la duración de la exposición. Los valores de dichos límites en ppm para 8 horas de exposición son de: 0.05 para trabajo pesado, 0.08 para trabajo moderado, 0.1 para trabajo ligero y 0.2 para trabajo pesado, moderado o ligero con una exposición inferior o igual a 2 horas. También se ha observado el envejecimiento de materiales como el caucho natural en exposiciones prolongadas (Maloney Technical Products, 2013) y el nylon (Graco Inc., 2013).

Sin embargo, el ozono tiende a recombinarse en oxígeno, por lo que no deja residuos, ya que su vida media a temperatura ambiente suele ser de unos minutos (Rüütel et al., 1999; McClurkin et al., 2013). Su vida media, en general, puede alcanzar desde semanas en la troposfera (Bermejo et al., 2009), donde la temperatura llega a ser de hasta -60°C, hasta fracciones de segundo a altas temperaturas (250 °C). No obstante, la vida media del ozono depende de diferentes variables como la temperatura, humedad, interacción con otras sustancias, etc. En agua, es fácilmente eliminable

debido a la propia autodescomposición que es tanto más rápida cuanto mayor es el pH. En fase gas existen tres posibilidades para su descomposición: térmica, fotoquímica y catalítica. La descomposición térmica es muy lenta a temperaturas inferiores a 250 °C y a esta temperatura, sería muy costosa energéticamente, por lo que no se suele utilizar. La descomposición fotoquímica consiste en irradiar el ozono con radiación UV para que forme oxígeno y un radical peróxido. La más utilizada es la descomposición catalítica por sus ventajas (rápida y con recuperación sencilla del catalizador y los productos). Los materiales más utilizados para la descomposición catalítica del ozono en fase gas tienen como fase activa metales nobles como Pt, Rh o Pd u óxidos de metales de transición, como Mn (Sánchez et al., 2015), Co, Cu, Fe, Ni o Ag.

5. Tecnología de Generación de Ozono

La elevada capacidad oxidante del ozono, de la que hemos hablado, hace interesante la utilización industrial del ozono en múltiples campos y, por tanto, el impulso en el desarrollo de tecnologías para su generación. De forma natural, el ozono estratosférico se forma cuando la radiación ultravioleta proveniente del sol rompe las moléculas de oxígeno (que se encuentran en la atmósfera), dando como resultado átomos de oxígeno libres que unen con moléculas de oxígeno formando moléculas triatómicas (ozono). En estas condiciones naturales se genera a una temperatura de -50° C y a una presión atmosférica de 30 mm Hg. También se forma naturalmente en la atmósfera, gracias al oxígeno atmosférico y las tormentas eléctricas. Sin embargo, para generar ozono de forma industrial se requiere una tecnología que, generalmente, se usa en el lugar en el que se va a utilizar, debido a la inestabilidad de este gas. Se produce a partir de oxígeno, el cual se encuentra presente en el medio ambiente en una concentración aproximada del 20%, aunque se recomienda usar una mayor concentración de oxígeno pues, a mayor concentración de oxígeno, mayor será la producción de ozono. Por ello, muchos generadores de ozono implementan un concentrador de oxígeno para aumentar los niveles de concentración de oxígeno y aumentar la producción general de ozono. Tanto si se emplea aire como si se emplea oxígeno, es importante que esté perfectamente limpio y seco para eliminar la posibilidad de crear subproductos peligrosos durante la producción de ozono. Dentro

de los múltiples métodos existentes para la generación del ozono, los más empleados son mediante luz ultravioleta y descarga eléctrica.

En primer lugar, hablaremos de la generación de ozono por medio de radiación UV y principalmente, debemos entender que el espectro UV se divide en 4 intervalos de longitud de onda (A, B, C y UV de vacío), siendo el correspondiente a la luz UV de vacío el que interesa para producir ozono. Dicha radiación interactúa con moléculas de O_2 , dividiéndolas en dos átomos de oxígeno y haciendo que estos átomos desapareados se unan en moléculas de tres átomos de oxígeno, generando moléculas de ozono, aunque también puede destruirlas (Summerfelt, 2003). Lograr la creación o destrucción del ozono con radiación electromagnética UV depende de la longitud de onda de la fuente de luz UV y, por tanto, la cantidad de energía transmitida. La radiación UV crea ozono a partir de longitudes de onda cortas de menos de 240 nm (concretamente de 100 a 240 nm), destruyéndolo a partir de dicha cantidad y hasta 315 nm. A partir de longitudes de onda de aproximadamente 315 y hasta 380 nm, no se genera ningún tipo de interacción con el ozono, llegando la radiación UV a la superficie terrestre (Erickson et al., 2015). La longitud de onda que se ha estipulado para las lámparas generadoras de ozono es de 185 nm como cantidad óptima para no aproximarse tampoco a la franja de destrucción de éste, lo cual significa que, fijándola en un rango cercano a ese valor, se podría controlar la generación de ozono. La ventaja que presentan las lámparas actuales más comerciales que utilizan filtros de radiación UV, frente a otros métodos, es el bajo coste debido a su simple construcción (lámpara UV, transformador para alimentar y ventilador para mover el aire). El mayor contra generalmente es la baja producción de ozono. Aunque no es un gran inconveniente en la eliminación de virus y bacterias, puesto que se necesitan concentraciones de ozono muy bajas, como se ha visto anteriormente. En el caso de las lámparas de baja presión estas concentraciones son típicamente 0.5% utilizando aire y 1% si se utiliza oxígeno.

Los métodos de generación de ozono por descarga eléctrica son muy utilizados porque proporcionan niveles de concentración muy altos. En concreto, estos métodos se dividen en dos tipos: descarga por el método Corona y descarga de Barrera Dieléctrica (DBD) (Silva, 2014). En ambos métodos, el ozono se produce a partir de una descarga eléctrica de alta tensión que es capaz de dividir una molécula de oxígeno (O_2) que se

encuentra en el medio ambiente en oxígeno elemental (O) que se une rápidamente a otra molécula de oxígeno (O₂), formando así ozono (O₃) (Shrestha et al., 2015).

El método corona, o efecto corona, es un fenómeno eléctrico que se produce por la ionización del gas que rodea a un conductor cargado. Ocurre de forma espontánea en líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso. Como estos conductores suelen ser de sección circular, el halo adopta una forma de corona, de ahí su nombre. Está causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a las heterogeneidades del campo eléctrico en las superficies de los conductores que se producen a altas tensiones, generando diferencias de potenciales localmente altas. Al momento que las moléculas que componen el aire se ionizan, estas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire. Tal circulación producirá un incremento de temperatura en el gas, que se tornará de color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos.

En un generador de ozono de descarga de corona, la descarga eléctrica tendrá lugar en un hueco de aire dentro de la célula de la corona diseñado para dividir la molécula de oxígeno y producir ozono. Sin embargo, el método Corona suele ser bastante inestable, por ello, se utiliza un dieléctrico para distribuir el flujo de electrones de manera uniforme a través del hueco de aire para repartir el flujo de electrones a un volumen de oxígeno lo más grande posible. En esto último es en lo que se basa el método de Descarga de Barrera Dieléctrica (DBD) (Oxidation Technologies). Para empujar la descarga eléctrica a través del material dieléctrico se requiere un voltaje más alto. Por lo tanto, un generador de ozono implementará algún tipo de transformador para aumentar el voltaje de la línea hasta 600 – 20.000 voltios dependiendo del dieléctrico, y el espacio de aire entre el ánodo y el cátodo.

Por otro lado, la creación de una descarga de corona con altos voltajes y grandes cantidades de energía para empujar a través de una barrera dieléctrica genera grandes cantidades de calor. En cada descarga de corona se crea calor en el generador de ozono que debe ser eliminado del mismo. Los generadores de ozono de descarga de corona pueden ser enfriados por medio de aire o de agua. En cualquier de los casos, el exceso de calor debe ser eliminado con seguridad, ya que cuanto mayor sea la temperatura,

menor será la producción de ozono debido a la disminución de la vida media del ozono a medida que la temperatura aumenta (Brüggemann et al., 2017).

6. Conclusiones

El estado del arte muestra que el Ozono ha demostrado su efectividad como agente virucida y bactericida. La tecnología de obtención y posterior eliminación, basada en la aplicación de energía eléctrica a partir de aire forzado en el punto de generación, lo convierte en una tecnología madura, sostenible, libre de componentes químicos añadidos, de fácil tratamiento y control. Si se dosifica en tiempo y concentración (ppm) puede actuar tanto de forma intensa en desinfección puntual (sin personas) como de forma continua, realizando una función de protección en entornos cerrados y en presencia de personas, siempre respetando las recomendaciones y límites fijados por las agencias sanitarias y de homologación.

7. Bibliografía

- Barker, J.; Vipond, I.B. and Bloomfield, S.F. 2004. Effects of Cleaning and Disinfection in Reducing the Spread of Norovirus Contamination via Environmental Surfaces. *J. Hosp. Infect.* 58: 42–49.
- Bataller-Venta, M.; Santa Cruz-Broche, S. and García-Pérez, M.A. 2010. El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas.* 41 (3): 155-164.
- Bermejo, V.; Rocío, A.; Elvira, S.; Isaura, R. and García-Vivanco, M. 2009. El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Madrid, España, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM) y el Centro de Investigaciones, Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
- Brüggemann, N.; Puehmeier, T.; Fiekens, R.; Richardt, F.J. and Salvermoser, M. 2017. Cooling Conditions of Ozone Generators. *Ozone: Science & Engineering.* 39(3): 196-201.

- Brié,A.; Boudaud,N.; Mssihid ,A.; Loutreoul, J.; Bertrand, I. and Gantzer, C. 2018. Inactivation of murine norovirus and hepatitis A virus on fresh raspberries by gaseous ozone treatment. *Food Microbiology*. 70: 1-6.
- Cardis, D.; Tapp, C.; DeBrum, M. and Rice, R.G. 2007. Ozone in the Laundry Industry- Practical Experiences in the United Kingdom. *Ozone: Sci. Eng.* 29: 85–99.
- Chen, C.; Zhang, H.; Zhang, X.; Dong, C.; Xue, W. and Xu, W. 2020. The effect of different doses of ozone treatments on the postharvest quality and biodiversity of cantaloupes. *Postharvest Biol Technol.* 163.
- Díaz-Llera, S.; González-Hernández, Y.; Prieto-González, E.A. and Azoya, A. 2002. Genotoxic effect of ozone in human peripheral blood leukocytes. *Mutation Research*. 517: 13–20.
- Erickson, D. J.; Sulzberger, B.; Zeppc R.G. and Austind, A.T. 2015. Effects of stratospheric ozone depletion, solar UV radiation, and climate change on biogeochemical cycling: interactions and feedbacks. *Photochem. Photobiol. Sci.* 14, 127-148.
- Fernández-Torres, I.; Bataller-Venta, M.; Hernández-Castro, C.; Sánchez-Urrutia, E. and Morales-Chacón, Y. 2010. Actividad antimicrobiana de los subproductos generados por la reacción del ozono con los microorganismos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas.* 41: 121-125.
- Graco Inc. 2013. Chemical Compatibility Guide. (https://www.graco.com/content/dam/graco/ipd/literature/misc/chemical-compatibility-guide/Graco_ChemCompGuideEN-B.pdf).
- Hall, R.M. and Sobsey, M.D. 1993. Inactivation of hepatitis A virus and MS2 by ozone and ozone-hydrogen peroxide in buffered water. *Water Sci. Technol.* 27: 371–378
- Hansen, L.S.; Hansen, P.; Jensen, KM. V. 2012. Lethal doses of ozone for control of all stages of internal and external feeders in stored products. *Pest Manag Sci.* 68:1311–1316.
- Hudson, J.B.; Sharma, M. and Petric, M. 2007. Inactivation of Norovirus by Ozone Gas in Conditions Relevant to Healthcare. *J. Hosp. Infect.* 66: 40–45.
- Kim, J.G.; Yousef, A.E. and Dave, S. 1999. Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *J. Food Prot.* 62: 1071–1087.

- Linn, S. 1998. DNA damage by iron and hydrogen peroxide in vitro and in vivo. *Drug Metab. Rev.* 30: 313–326.
- de Mik, G.; de Groot, I. and Gerbrandy, J.L.F. 1977. Survival of aerosolized bacteriophage α X174 in air containing ozone–olefin mixtures. *J Hyg.* 78: 189–198
- Maloney Technical Products. 2013. Texas, USA. (<https://www.maloneytech.com>)
- Naito, S. and Takahara, H. 2006. Ozone Contribution in Food Industry in Japan. *Ozone Sci. Eng.* 28: 425–429.
- Naito, S. and Takahara, H. 2008. Recent Developments in Food and Agricultural uses of Ozone as an Antimicrobial Agent-Food Packaging Film Sterilizing Machine using Ozone. *Ozone Sci. Eng.* 30: 81–87.
- Malik, Y.S.; Allwood, P.B.; Hedberg, C.W. and Goyal, S.M. 2006. Disinfection of Fabrics and Carpets Artificially Contaminated with Calicivirus: Relevance in Institutional and Healthcare Centres. *J. Hosp. Infect.* 63: 205–210.
- Malik, U.; Gulzar, A.; Sunil, M.K. and Anjali. 2018. Ozone therapy in dentistry.. *TMU J Dent.* 5(3): 17-19.
- McClurkin, J.D.; Maier, D.E. and Ileleji, K.E. 2013. Half-life time of ozone as a function of air movement and conditions in a sealed container. 55,: 41-47.
- O'Neil, MJ , (Ed.) 1989 . *The Merck Index : Una Enciclopedia de químicos, drogas y productos biológicos.* New Jersey: Merck.
- Oxidation Technologies. Ozone production from Corona Discharge. <https://www.oxidationtech.com/ozone/ozone-production/corona-discharge.html> (accessed on 30 March 2020).
- Palomares, A.; Estornell, J.; Calatayud, V. 2010. Niveles de ozono y riesgos para la vegetación en la Comunidad Valenciana. Universitat Politecnica de Valencia. Trabajo Final de Carrera.
- Pandiselvam, R.; Thirupathi, V.; Mohan, S.; Vennila, P.; Uma, D. and Shahir, S. 2019. Gaseous ozone: A potent pest management strategy to control *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) infesting green gram. *J Appl Entomol.* 143 :451–459.

- Predmore, A.; Sanglay,G.; Li,J. and Lee, K. 2015. Control of human norovirus surrogates in fresh foods by gaseous ozone and a proposed mechanism of inactivation. *Food Microbiology*. 50: 118-125.
- Pryor, W.A. 1994. Mechanisms of radical formation from reactions of ozone with target molecules in the lung. *Free Radical Biol. Med.* 17: 451–465.
- Pryor, W.A.; Squadrito, G.L. and Friedaman, M. 1995. The cascade mechanism to explain ozone toxicity: the role of lipid ozonization products. *Free Radical Biol. Med.* 19: 935–941.
- Rüütel, P. I.L.; Griffiths, J.; Xiong, F. and Barratt, P. 1999. Ozone - technical aspects of its generation and use. Surrey University, Imperial College, University of Poitiers (France). Air Products PLC, Knowledge Paper No.3
- Sánchez, A.R.; Lara, A.C.; Laboulais, J.N. and Gimeno, E. P. 2015. Estudio cinético de la descomposición catalítica del ozono. Trabajo de final de máster, Universidad Politécnica de Valencia.
- Sekizawa S ichi, Bechtold AG, Tham RC, Kott KS, Hyde DM, Joad JP, et al. 2010. House-dust mite allergen and ozone exposure decreases histamine H3 receptors in the brainstem respiratory nuclei. *Toxicol Appl Pharmacol.* 247: 204–210.
- Silva, P.M. 2014.Un nuevo método para desinfectar el agua: Ozono. *Hypatia*, 28.
- Shrestha, R.; Joshi, U.M. and Subedi, D.P. 2015. Experimental Study of Ozone Generation by Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge. *IJRRR*, VIII (4): 24-29.
- Shin, G.A. and Sobsey, M.D. 2003. Reduction of Norwalk Virus, Poliovirus 1, and Bacteriophage MS2 by Ozone Disinfection in Water. *Appl. Environ. Microbiol.* 69: 3975–3978.
- Summerfelt, S.T. 2003. Ozonation and UV irradiation/an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering*. 28: 21-36.
- World Health Organization. Water, Sanitation and Health Team. (2000). WHO guidelines for drinking water quality : training pack. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66218>

- Xinyi, E.; Subramanyam, B. and Li, B. 2017. Efficacy of ozone against phosphine susceptible and resistant strains of four stored-product insect species. *Insects*.8 (2): 42.
- Zhou, Z.; Zuber, S.; Cantergiani, F.; Sampers, I.; Devlieghere, F. and Uyttendaele, M. (2018) Inactivation of Foodborne Pathogens and Their Surrogates on Fresh and Frozen Strawberries Using Gaseous Ozone. *Front. Sustain. Food Syst.* 2: 51.