



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---



## **FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

EFICACIA ANTIMICROBIANA DEL OZONO. REVISIÓN DE  
LA LITERATURA.

**T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**C I R U J A N A   D E N T I S T A**

P R E S E N T A:

MARÍA ADELA RODRÍGUEZ RAMÍREZ

TUTOR: Esp. DANIEL QUEZADA RIVERA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

*Hoy agradezco a Dios por todas las cosas buenas que han pasado en mi vida, por todas las experiencias que he tenido y que me han servido para ser cada día un poquito mejor que ayer.*

*A mi Mamá por su amor incondicional.*

*A mi sobrina por el simple hecho de existir.*

*A mis hermanas por su apoyo.*

*Al Dr. Daniel Quezada por guiarme en la realización de esta tesis y al mismo tiempo darme libertad en la elaboración de la misma.*

## ÍNDICE

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	6
1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	7
2. OZONO	9
3. FORMACIÓN DEL OZONO	10
4. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL OZONO	11
5. TOXICIDAD DEL OZONO	14
6. MECANISMO DE ACCIÓN	18
6.1. En las bacterias	18
6.2. En los hongos	21
6.3. En los virus	21
7. APLICACIONES DEL OZONO	24
7.1. Industria de alimentos	24
7.2. Industria química	24
7.3. Otros usos industriales	24
7.4. Medicina	25
7.5. Odontología	27
7.5.1. Selladores	29
7.5.2. Caries	29
7.5.3. Enfermedad periodontal	33
7.5.4. Irrigación de conductos en endodoncia	34
7.5.5. Cirugías y extracciones dentales	34
7.5.6. Cirugía de implantes	35
7.5.7. Hipersensibilidad dentinaria	35

7.5.8. Ortodoncia	35
7.5.9. Herpes labial	36
7.5.10. Estomatitis aftosa recurrente	36
8. VÍAS DE ADMINISTRACIÓN DEL OZONO	37
9. CONCLUSIONES	43
10. GLOSARIO	44
11. FIGURAS	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

## RESUMEN

Se hizo una revisión de la literatura acerca del uso del ozono en odontología. El ozono debe ser usado por personal capacitado ya que, si bien puede ser una herramienta útil, también puede ser tóxico para el paciente al no ser usado adecuadamente, ya que es principalmente tóxico para el sistema respiratorio porque este tiene una mínima cantidad de antioxidantes.

El ozono induce destrucción en la pared celular y membrana citoplasmática de las bacterias, lo que hace que la permeabilidad incremente y las moléculas de ozono entren fácilmente a la célula. El ozono afecta la permeabilidad de *E. coli*, *S. mutans*, *S. aureus* meticilín resistente, entre otros.

El agua ozonizada disminuye la adhesión de *Candida albicans* a las superficies acrílicas siempre y cuando se utilice en combinación con un método de ultrasonido; aunque no está descrito el mecanismo de acción del ozono con los hongos.

El ozono tiene mayor efecto en los virus con envoltura, los virus sin envoltura son más resistentes al tratamiento del ozono.

El ozono no tiene la capacidad de inactivar endotoxinas.

Por su alto poder oxidante puede ser funcional en odontología para tratar el virus herpes 1, estomatitis aftosa recurrente, previo a la colocación de selladores, cirugías, extracciones; en cuanto a la reversión de la caries no hay muchos estudios que lo avalen.

En odontología se utiliza el método subatmosférico (HealOzone), gas directo (PrimoLogO<sub>3</sub>), disuelto en agua, disuelto en aceite. También se puede hacer una combinación de las diferentes métodos.

## INTRODUCCIÓN

Durante la Primera Guerra Mundial, el ozono fue usado por vez primera con fines terapéuticos.

El ozono es un gas controversial porque, mientras que es muy útil en la estratósfera para absorber la peligrosa radiación ultravioleta, es tóxico para el tracto respiratorio en la tropósfera, particularmente mezclado con monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O).

El ozono en odontología no ha sido descrito ampliamente, sin embargo se puede utilizar en diferentes áreas como la cirugía oral, la periodoncia, la endodoncia y la estética dental, principalmente. Además se ha planteado que esta técnica tiene excelentes resultados en el tratamiento de conductos radiculares, la desinfección de bolsas periodontales, como astringente en cirugía oral, como gas oxidante en el blanqueamiento de superficies dentales.

Además de que posee propiedades microbiológicas del ozono, ya sea en gas o fase acuosa, ha demostrado ser un poderoso y confiable agente antimicrobiano contra bacterias, hongos, protozoarios, y virus

Usado apropiadamente, el ozono es un tratamiento seguro que los dentistas y doctores tienen alrededor del mundo.

## 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El ozono fue detectado por primera vez en 1775 por el físico alemán Martinus von Marum al notar un peculiar olor que se generaba en zonas cercanas a máquinas que funcionaban con electricidad. Sin embargo, 1840 es reconocido como el año en que Christian Friedrich Schomben descubrió y le da el nombre de ozono, el cual proviene del griego “ozein” (oloroso). <sup>(1 y 2)</sup>

La naturaleza química del ozono fue dada a conocer en 1872 por Sir Benjamín Collins Brodie (1817-1880) y alrededor de 1873, Fox descubrió la capacidad de este agente químico para la eliminación de microorganismos. En la década de 1880 a 1890 Frölich y Erlwein divulgaron el empleo del ozono para fines higiénicos, pero sin lograr éxitos comerciales. <sup>(1)</sup>

En el campo de la Medicina, durante la Primera Guerra Mundial, el ozono fue usado por vez primera con fines terapéuticos para tratar gangrena post-traumática, quemaduras, la curación de heridas y fístulas por Albert Wolff. <sup>(3)</sup>

A finales de la década de los cincuenta con la introducción de los materiales plásticos y el diseño del primer ozonizador con fines terapéuticos por el Dr. Joamich Hänslér en Alemania, se abrieron nuevos caminos para la aplicación y la extensión de la ozonoterapia. <sup>(1)</sup>

En los últimos 35 años la ozonoterapia ha venido extendiéndose a países como Austria, Suiza, Francia, Japón, Estados Unidos, Italia, España, Rusia y otros, por lo que existen actualmente sociedades nacionales de ozonoterapia en muchos países. <sup>(1)</sup>

Desdichadamente, el escaso y simple estudio de las bases biológicas de la ozonoterapia, la experiencia clínica, que aunque vasta, se ha mantenido limitada a la práctica de la medicina privada; las muchas anécdotas y modismos con escasa publicación, y finalmente, el conocimiento de que el ozono es uno de los peores contaminantes que pueden generar la formación de compuestos oxidantes, han originado comprensiblemente un fuerte prejuicio y rechazo acerca de su uso. <sup>(1)</sup>

## 2. OZONO

El ozono es una variedad alotrópica del elemento oxígeno y estructuralmente triangular, en donde el átomo de oxígeno central está implicado en un doble enlace covalente ;<sup>(2)</sup> contiene un átomo mas que el oxígeno atmosférico. Es particularmente inestable, se descompone de forma espontánea en oxígeno biatómico, lo que hace muy difícil en la práctica su transporte y almacenamiento, por lo que es necesario que su obtención se efectuó en el lugar y momento de su empleo. (Figura 1) <sup>(1)</sup>

Es un gas de color azul a concentraciones elevadas, de olor fuerte y penetrante. Su densidad es de 1,66 gramos por centímetro cúbico y sus puntos de fusión y ebullición se sitúan respectivamente en 193° y 112° respectivamente. Es poco soluble en agua (1,09 gramos por litro a 0°C), aunque su solubilidad es mayor que la del oxígeno, además es un gas estable a temperaturas elevadas. <sup>(2 y 4)</sup>

La principal propiedad del ozono es su fuerte carácter OXIDANTE, el mayor después del flúor. Como consecuencia, oxida en frío a casi todos los metales, especialmente al hierro, mercurio, plata y manganeso. <sup>(2)</sup>

### 3. FORMACIÓN DEL OZONO

El ozono existe en la Tierra, sobre su superficie, desde los inicios de la vida. El olor del ozono en el aire, durante las descargas y tormentas eléctricas, ha sido percibido desde tiempos ancestrales. En la estratósfera se encuentra formando la llamada capa de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta que emana el sol. (Figura 3) <sup>(1 y 2)</sup>

La formación de ozono se puede dar de dos maneras, una por la acción de descargas eléctricas durante tormentas y la otra por medio de la radiación ultravioleta. <sup>(2)</sup>

Las radiaciones de elevada energía que emanan del sol descomponen las moléculas de oxígeno presentes en el aire en átomos libres, algunos de los cuales se combinan con otras moléculas de oxígeno para constituir el ozono. Un 90% aproximadamente de todo el ozono atmosférico se forma por esta vía y se ubica en una franja situada entre los 15 y 55 km arriba de la superficie de la Tierra. Las moléculas del ozono son inestables y las radiaciones del sol no solo lo crean sino también lo descomponen, formándose nuevamente oxígeno molecular y átomos de oxígeno libre. (Figura 2) <sup>(1 y 3)</sup>

## 4. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL OZONO

El ozono que se emplea con fines útiles para la sociedad es generado en equipos llamados ozonizadores. <sup>(1)</sup>

Existen diferentes formas posibles para la obtención de este gas. Como son: la electrosíntesis, ya sea por chispa o descarga saliente; la irradiación con luz ultravioleta a determinada longitud de onda y la electrolisis. <sup>(1)</sup>

La descarga saliente por barrera dieléctrica, es el método en el cual se basan casi todos los equipos generadores de ozono. <sup>(1)</sup>

En este método se produce el ozono al hacer pasar oxígeno o aire, como gas materia prima, entre dos electrodos separados entre sí unos pocos milímetros y por un dieléctrico colocado en uno de los electrodos en la celda de generación, entre los cuales se aplica un alto voltaje de corriente alterna en el orden de 5 a 15 kV que excede un valor crítico determinado sin permitir la aparición de arcos o chispas eléctricas entre los electrodos. <sup>(1)</sup>

Esto permite que un cierto porcentaje de las moléculas de oxígeno que contiene el gas, materia prima empleada, se disocie recombinándose como ozono. Durante este proceso además se genera calor y luz. <sup>(1)</sup>

La descarga saliente, consiste en un gran número de microdescargas efímeras de corta duración distribuidas por todo el electrodo, las cuales disocian las moléculas de oxígeno en dos átomos, que se combinan posteriormente con las moléculas restantes, formando el ozono en cada una de esas microdescargas. <sup>(1)</sup>

Es importante poseer generadores de ozono confiables, los cuales sean periódicamente calibrados para estar seguros de la concentración de ozono que provean. (Figura 3)<sup>(1)</sup>

La ozonoterapia se basa en un concepto farmacológico que demuestra que el ozono actúa como una droga y como tal, la dosis a aplicar debe ser estrictamente calculada. <sup>(1)</sup>

A causa de los daños inherentes que tiene el gas ozono en la cavidad bucal, el diseño de cualquier equipo para uso en la cavidad oral debe por lo tanto ser seguro para evitar producir algún daño en el operador, en el equipo que lo genera, y lo más importante, la vida del paciente.(Figura 7) <sup>(5)</sup>

HealOzone, fabricado y registrado por Kavo GmbH en Alemania, es esencialmente un dispositivo independiente para la fabricación de gas ozono. Hay una gran variedad de dispositivos que pueden producir ozono, pero hay una producción incontrolada de ozono lo cual es inadecuado para usarse en la boca por la posibilidad de efectos secundarios. (Figura 5 y 6)<sup>(5)</sup>

HealOzone tiene una pieza de mano conectada a la unidad principal por medio de una manguera. Todas las partes se desarman rápidamente, y son autoclavables, excepto las copas de silicón. <sup>(5)</sup>

Debe verificarse regularmente el sellado de la pieza de mano y de la manguera, por ejemplo desgaste o daño en el sellado lo que puede causar un escape de aire y evitar la generación del ozono. <sup>(5)</sup>

La pieza de mano utiliza copas de silicón de un solo uso que son fácilmente reemplazables, las cuales se adaptan y dan sellado a la lesión o al diente a tratar. <sup>(5)</sup>

Usado apropiadamente, el ozono es un tratamiento seguro que los dentistas y doctores tienen alrededor del mundo. <sup>(5)</sup>

## 5. TOXICIDAD DEL OZONO

Como se menciona anteriormente, en la naturaleza el ozono se encuentra en la estratósfera, cuando se encuentra cerca de la superficie terrestre se convierte en un contaminante y elemento clave para la formación del smog, por esta razón denominamos a este tipo de ozono como “malo” siendo perjudicial para la vida; sin embargo hay una capa de ozono entre los 19 y 23 kilómetros sobre la superficie terrestre la cual rodea la tierra protegiéndola de los rayos ultravioleta y permitiendo así la vida en la tierra y constituyendo lo que llamamos ozono “bueno”.<sup>(2)</sup>

El ozono es un gas controversial porque, mientras que es muy útil en la estratósfera para absorber la peligrosa radiación ultravioleta, es tóxico para el tracto respiratorio en la tropósfera, particularmente mezclado con monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O).<sup>(5)</sup>

De todos es conocido que el ozono es un gas muy oxidante y tóxico para las vías respiratorias, por tanto no debe ser inhalado. Se han observado efectos de hipersensibilidad e hiperreactividad a los alérgenos en personas expuestas al ozono por vía inhalatoria y especialmente a aquellos que padecen asma alérgica.<sup>(1)</sup>

Los ojos y la mucosa respiratoria son extremadamente sensibles al ozono porque tienen una mínima cantidad de antioxidantes.<sup>(5)</sup>

La fase temprana ocurre en el período entre 2 y 24 h posteriores a la exposición al ozono por inhalación y se caracteriza por infiltración

de leucocitos polimorfonucleares. Las células epiteliales junto con otras células presentes pueden sintetizar y liberar factores quimiotácticos que inducen la activación y migración de los neutrófilos con la concomitante liberación de eicosanoides como el leucotrieno B<sub>4</sub> y la prostaglandina PGF.  
(1)

También se elevan las concentraciones de citocinas como consecuencia de la respuesta inflamatoria al ozono, entre ellas, la IL-1 y el TNF- $\alpha$ . También se elevan las concentraciones de citocinas como consecuencia de la respuesta inflamatoria al ozono, así como la proteína-2 inflamatoria del macrófago. (1)

Finalmente, durante este período la elastasa y la catepsina G también son liberadas. La elastasa del neutrófilo está elevada en los lavados bronquioalveolares de personas expuestas al ozono. La elastasa es un potente inductor de la secreción de mucus y de la formación de quimiocinas.  
(1)

La fase tardía se caracteriza por la infiltración de eosinófilos (importantes en el asma) y monocitos (importantes en la bronquitis). En esta fase se producen alteraciones evidentes en la transcripción de la IL-6, la IL-8 en las concentraciones de ARNm y en la síntesis de proteínas. (1)

También se liberan eicosanoides, citosinas, el factor de crecimiento- $\beta$  y el factor estimulante de colonia de granulocitos macrófagos. También se incrementa la síntesis de proteínas estructurales tales como la fibronectina y el colágeno que conducen al desarrollo de fibrosis pulmonar, así como de antiproteasas importantes en la reparación del tejido. (1)

Las alteraciones morfológicas que se producen en el pulmón como consecuencia de la respuesta a la exposición al ozono por vía inhalatoria, repercuten en la función respiratoria tanto de los animales como de los humanos y se caracterizan por las manifestaciones siguientes:

- 1) disminución del volumen expiratorio forzado,
- 2) incremento de la hiperreactividad bronquial (un evento característico del asma),
- 3) inflamación de las vías aéreas,
- 4) incremento de la tos y opresión torácica,
- 5) alteración del aclaramiento mucociliar con la subsiguiente acumulación de mucus en las vías aéreas, 6) incremento de la permeabilidad del epitelio pulmonar. <sup>(1)</sup>

Mientras los estudios de genotoxicidad y sobre la reproducción han demostrado que el ozono por vía inhalatoria produce efectos genotóxicos, embriotóxicos y fetotóxicos en los animales de experimentación. En estudios similares en que el ozono se ha administrado por vía intrarectal, intramuscular e intraperitoneal se ha demostrado la ausencia de esos efectos nocivos. <sup>(1)</sup>

Es importante recalcar que la ozonoterapia es una terapia que debe utilizarse a dosis controladas, usando vías de administración del gas correcta y adecuada. Se deben utilizar generadores de ozono seguros y que garanticen concentraciones del gas precisas. Además se deben conocer la dosis óptima para obtener un efecto terapéutico. <sup>(5)</sup>

Tanto el médico como el personal de enfermería que aplique el ozono deben estar debidamente capacitados y entrenados para ello. <sup>(1)</sup>El ozono presenta

grandes ventajas para ser utilizado en el consultorio como método de desodorización y desinfección, pero debe ser correctamente manipulado ya que la utilización indebida de este gas en grandes cantidades puede ser altamente tóxica disminuyendo la función respiratoria, empeorando el asma y causando inflamación de la pleura. <sup>(2)</sup>

## 6. MECANISMO DE ACCIÓN

Las propiedades microbiológicas del ozono, ya sea en gas o fase acuosa, ha demostrado ser un poderoso y confiable agente antimicrobiano contra bacterias, hongos, protozoarios, y virus. <sup>(3 y 6)</sup>

El mecanismo de acción del ozono sobre los microorganismos, consiste en una reacción con varios componentes de la pared celular, como evidencia hay una oxidación de lípidos; oxidación de los grupos sulfhídricos de las enzimas, péptidos y proteínas y ciertas lipoproteínas contenidas en las membranas citoplasmáticas de los microorganismos; esto provoca el aumento en la permeabilidad de las mismas (inhibición de la capacidad metabólica) lo que facilita la entrada del ozono, y la acumulación de otros productos intermedios como radicales libres y peróxido que inducen la muerte bacteriana. <sup>(3, 6 y 7)</sup>

### 6.1. En las bacterias

El potencial oxidante del ozono induce la destrucción de la pared celular y membrana citoplasmática de las bacterias. Después que la membrana es dañada por oxidación, la permeabilidad de la membrana incrementa, y las moléculas de ozono pueden entrar fácilmente en la célula. <sup>(8)</sup>

Durante este proceso el ozono ataca ácidos nucleicos, <sup>(7)</sup> la ozonolisis del ADN ha sido demostrada; <sup>(9)</sup> también ataca a las glucoproteínas, glucolípidos, y otros aminoácidos, inhibe y bloquea el sistema de control enzimático de la célula. Esto aumenta la permeabilidad de la célula, <sup>(3, 8 y 10)</sup> el elemento llave

de la viabilidad de la célula, conduciendo de inmediato al cese de sus funciones, <sup>(3, 4, 8 y 10)</sup> dependiendo de la extensión de la reacción. <sup>(7)</sup>

En la investigación de Cho, M. *et al*, en el que se evaluarón los mecanismos de inactivación de *Escherichia coli* con diferentes desinfectantes; la penetración del ozono a través de la barrera protectora de la célula es acompañada con varios componentes de la célula, como evidencia hay una liberación de proteínas, peroxidación de proteínas y cambios en la permeabilidad de la célula. El cambio en la morfología fue mayor con el ozono, comparado con cloro, radiación ultravioleta y dióxido de cloro. (Figura 9) <sup>(10)</sup>

En la investigación de Nagayoshi M., se estudio el efecto del agua ozonizada en la placa dentobacteriana, la cual mostró una actividad antibacterial contra bacterias en la placa dentobacteriana; al examinar al *S. mutans* por medio de microscopia electrónica por escaneo se observo que su morfología cambio. Se observó una ruptura del *S. mutans*. (Figura 8) <sup>(8)</sup>

La eficacia como desinfectante es usualmente evaluada en base a la disminución de microorganismos. El agua ozonizada fue altamente efectiva en eliminar a microorganismos orales, tanto grampositivos como gramnegativos. <sup>(7 y 8)</sup>

Muchos microorganismos, tales como bacterias y virus, no poseen antioxidantes, esto permite que el ozono penetre fácilmente en sus membranas celulares. Otros micoorganismos producen antioxidantes, lo que previene la reacción con el ozono. <sup>(5)</sup>

El estudio de Khadre MA, el ozono redujo las cuentas de los esporos, dependiendo del microorganismo examinado. La resistencia de las esporos al ozono fue alta para *B. stearothermophilus* y baja para *Bacillus cereus*. Al analizar el daño provocado por el ozono en los esporos el exosporium y la exina fueron las estructuras más dañadas, también afecto significativamente la intina y a la corteza no la afecto, pero con esto, la mayoría de las esporas pierden viabilidad. (Figura 10) <sup>(11)</sup>

Los endoesporos bacterianos son resistentes a una variedad de tratamientos intensos incluyendo calor, irradiación y químicos. Los esporos pueden sobrevivir por un largo período en la ausencia de humedad y nutrientes exógenos. Los esporos bacterianos sobreviven a tratamientos con esterilizantes y desinfectantes comerciales. Los esporos también poseen mecanismos eficientes para revertir a un estado vegetativo cuando están disponibles nutrientes y soluciones acuosas. <sup>(11)</sup>

El mecanismo preciso mediante el cual son inactivadas los esporos por el ozono o agentes oxidantes similares no está completamente entendido. Pero, probablemente los agentes oxidantes, incluyendo el peróxido de hidrógeno y el ozono probablemente matan al espora por degradación de sus componentes externos, y exposición del centro del espora a los desinfectantes. <sup>(11)</sup>

## 6.2. En los hongos

En la investigación realizada por Arita, se observó que la utilización de agua ozonizada durante un minuto sobre la zona afectada por *Candida albicans* disminuía la adhesión de microorganismos y mantenía la superficie acrílica limpia de estos, siempre y cuando se utilizara con un método combinado con ultrasonido. <sup>(12)</sup>

## 6.3. En los virus

El ozono ha sido investigado por su actividad con componentes insaturados que contienen doble cadena carbono-carbono. El ozono y el oxígeno son especies reactivas del oxígeno (ROS) junto con especies reactivas del nitrógeno (NOS) generadas en agua y soluciones salinas amortiguadas. Esto incluye un vasto número de ROS primario y NOS: oxígeno simple, radical superóxido, radical ozono, radicales hidroxilo, peróxido de hidrógeno, nitrito y peroxinitrito, entre otros radicales. <sup>(13)</sup>

El ROS secundario y NOS pueden ser generados por la oxidación de uniones en los lípidos, proteínas y aminoácidos. Por medio de la oxidación de las uniones dobles, el ozono es el único que posee la habilidad para destruir impurezas tóxicas o nocivas (fenoles, cianuro, y otros) y para inactivar contaminantes biológicos (viral, bacterial). <sup>(13)</sup>

Los hechos sugieren que la inactivación primaria de los virus por el ozono ocurre de dos formas: por peroxidación de lípidos y por peroxidación de proteínas. <sup>(13)</sup>

La peroxidación del lípidos, un mecanismo de daño tisular que inicia por una variedad de ROS, genera radicales libres que son responsables de muchas secuelas patológicas. Los componentes de los ácidos grasos de los fosfolípidos contienen muchos puntos de insaturación a lo largo de sus cadenas de hidrocarburos, y la oxidación de estas uniones conduce a un severo daño funcional y estructural de la doble capa de lípidos de la membrana plasmática. <sup>(13)</sup>

La peroxidación de proteínas esta definida como una modificación covalente de las proteínas o directamente a través de la interacción con el ROS o indirectamente por interacción con productos secundarios de estrés oxidativo. <sup>(13)</sup>

Varios mediadores del ozono incluyen  $H_2O_2$  que pueden interactuar con proteínas y causar cambios oxidativos que inhiben los mecanismos celulares normales. Esto incluye pérdida del control agregación y proteólisis, cambios en las actividades ligadas al sustrato de enzimas, y alteraciones en la inmunogenicidad. <sup>(13)</sup>

En particular, la peroxidación de proteínas puede ser la llave en la inactivación de virus no envueltos tales como los adenovirus, poliovirus y otros enterovirus. En estudios previos los virus con envoltura, tales como los virus de inmunodeficiencia humana tipo 1 ha demostrado sensibilidad al tratamiento del ozono siempre que no haya concentraciones tóxicas. <sup>(13)</sup>

En 1997 la investigación de Kekez y Sattar sugirieron una técnica de nebulización para inactivar virus con ozono. En este estudio, la nebulización

con ozono fue exitosa en la inactivación de virus en fluidos corporales (plasma, sangre) en un período de tiempo corto. <sup>(14)</sup>

Los componentes virales necesarios para producir infecciones, tal como los antireceptores asociados a la membrana y envoltura de lípidos, puede ser el primer blanco donde atacan los ROS. La sensibilidad de los virus que contienen lípidos al ozono sugiere que los virus envueltos pueden perder su poder infeccioso mediante la peroxidación de los lípidos. <sup>(13)</sup>

El estudio de Murray, B. *et al.* el ozono fue efectivo en la inactivación de los virus estudiados, virus herpes simple tipo 1 (HHV-1), vesicular stomatitis indiana virus (VSIV), vaccinia virus (VACV), adenovirus tipo 2 (HAdV-2) y virus de la influenza A (FLUAV). Los virus envueltos, tal como VSIV, HHV-1 y FLUAV, mostraron extrema sensibilidad al ozono. Sin embargo, el no envuelto HAdV-2 fue el más resistente al tratamiento del ozono. (Figura 11)<sup>(13)</sup>

Los resultados mostraron que la exposición al ozono redujo la infectividad viral por la peroxidación de lípidos y subsecuente daño a la cubierta de lípidos y a la cubierta de proteínas. <sup>(13)</sup>

## 7. APLICACIONES DEL OZONO

Son muchas las ventajas para usar ozono como un potente oxidante en alimentos y otras industrias. Es potencialmente útil para disminuir la carga microbiana y el nivel de componentes orgánicos tóxicos. Su alto poder oxidante y descomposición espontánea hacen al ozono útil para asegurar la calidad en los alimentos y que estén libres de microorganismos. <sup>(8)</sup>

### 7.1. Industria de alimentos

En esta industria se utiliza para la conservación de alimentos, extender el tiempo de vida, esterilización de equipo, agente desinfectante de comida en cámaras de almacenamiento, conservación de comida para el almacenamiento de carnes congeladas, prevenir el desarrollo de levaduras y moho en las frutas almacenadas. <sup>(3 y 8)</sup>

### 7.2. Industria química

Aquí es utilizado como un agente oxidante, blanqueamiento de harina, pulpa de papel, almidón, y azúcar. Procesamientos de ciertos perfumes, vainilla, y alcanfor. Producción de peróxidos, remoción de cloro y ácido nítrico. Oxidación de fenoles y cianuro. <sup>(3)</sup>

### 7.3. Otros usos Industriales

Las primeras aplicaciones del ozono, con fines socialmente útiles, se remontan a finales del siglo XIX, bajo la iniciativa del Dr. Müller se desarrollaron en Múnaco los primeros trabajos para el tratamiento de aguas,

atendiendo la capacidad desinfectante que este gas posee. Gradualmente y bajo este principio, se continuaron desarrollando otros sistemas de acueductos que empleaban ozono en diferentes ciudades de Alemania, hasta que este método se hizo extensivo y exitoso a nivel mundial.<sup>(1)</sup>

La ozonización ha sido usada como un método para el tratamiento de aguas en Europa.<sup>(7,8 y 15)</sup> La ozonización del agua es una práctica alternativa a la cloración, porque el ozono tiene una extraña acción oxidante. La materia orgánica es rápidamente oxidada por el ozono.<sup>(16)</sup>

Debido a su poder bactericida, se ha utilizado en muchos casos como sustituto del cloro en el tratamiento de potabilización de agua, ya que no introduce sustancias tóxicas a esta.<sup>(2)</sup>

#### 7.4. Medicina

En 1915 A. Wolf comienza a utilizar el ozono, teniendo en cuenta su carácter germicida, en el tratamiento local de fístulas, úlceras por decúbito, heridas infectadas, así como en la osteomielitis.

Posteriormente tras el descubrimiento de los materiales plásticos, se hizo posible el tratamiento local de extremidades sépticas con ozono gaseoso, introduciéndolas en bolsas plásticas de fácil producción y adquisición.

Con el progresivo desarrollo de la ozonoterapia, se introduce el tratamiento mediante sistemas de baja presión (subatmosférico) por Werkmeister en

1976. Esta variante permite, mediante dispositivos resistentes a la acción oxidante del ozono, el tratamiento local de lesiones sépticas. <sup>(1)</sup>

El ozono ha sido utilizado en la desinfección de heridas, para el mejoramiento del proceso de cicatrización, como bactericida y en el control de hemorragias, además en algunos casos se ha utilizado como desodorizante y astringente en los consultorios. <sup>(2)</sup>

Tashiro, en su estudio hace referencia al efecto desodorizante en cuartos de hotel, como método de desinfección en hospitales, habitaciones contaminadas con *Staphilococcus aureus* metilín-resistente salones de animales y otros sitios, debido a su alto poder oxidante, y asegura que este solo puede ser utilizado en concentraciones de 1ppm y en cortos periodos de tiempo. <sup>(17)</sup>

En las células humanas, (a excepción de las células del aparato respiratorio) tiene un efecto distinto, ya que a pesar de ejercer un efecto oxidante, la célula posee sistemas de amortiguación que reducen y neutralizan el daño potencial del ozono a la membrana (a dosis de ozono de hasta 100 MG/mL). <sup>(18)</sup>

Una vez en contacto con el medio tisular el ozono forma una reacción de peroxidación, formando así H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peróxido de hidrógeno) y una serie de lipoperóxidos. Estos reaccionan con distintos tejidos y células del organismo las cuales se vales de diversas sustancias antioxidantes como el ácido ascórbico, ácido úrico, cisteína, alfa tocoferol y glutatión para reducir la reacción del peróxido y evitar el daño celular, no sin antes ejercer efectos de estimulación y activación de diversas células.

Por ejemplo:

- Eritrocitos: se activa la glucólisis por la vía de las pentosas al aumentarse la actividad del adenosin trifosfato y se aumenta la actividad del 2,3 difosfoglicerato en la hemoglobina, lo cual favorece la liberación de oxígeno hacia los tejidos.

- Leucocitos: en ellos el ozono posee un efecto de inductor de citocinas como interleucina 6, interleucina 8, factor de necrosis tumoral y factor transformante de crecimiento beta, favoreciendo la función inmune.

- Plaquetas: en ellas el ozono ejerce un efecto de activación de la fosfolipasa c. ciclooxigenasa, lipoxigenasa y tromboxano A<sub>2</sub> favoreciendo así la agregación plaquetaria. <sup>(18)</sup>

De acuerdo con la clasificación establecida por la Oficina de Medicina Alternativa del Instituto Nacional de Salud (Bethesda MD, EE.UU.), en junio de 1995, se refieren más de 60 terapias no-convencionales, alternativas o complementarias. La ozonoterapia se enmarca dentro del subgrupo de tratamientos biológicos y farmacológicos, específicamente, dentro de los agentes oxidantes, junto con el peróxido de hidrógeno. <sup>(1)</sup>

## 7.5. Odontología

El uso de gases hiperoxidantes como el ozono en la odontología no ha sido descrito ampliamente, sin embargo podemos utilizar esta técnica en diferentes áreas como la cirugía oral, la periodoncia, la endodoncia y la estética dental, principalmente por tener efecto desodorizante y desinfectante. Además se ha planteado que esta técnica tiene excelentes

resultados en el tratamiento de conductos radiculares, la desinfección de bolsas periodontales, como astringente en cirugía oral como gas oxidante en el blanqueamiento de superficies dentales. <sup>(2)</sup>

Por ser una técnica novedosa en el campo odontológico presenta ciertas dificultades en su manejo y consecución ya que los generadores de ozono tienen altos costos y los parámetros de utilización en el ser humano son bastante estrictos y de cuidado ya que podrían representar un daño físico al paciente si no se utiliza correctamente. <sup>(2)</sup>

El ozono en odontología fue utilizado por primera vez por el dentista alemán E. A. Fisch por medio de agua ozonizada para efectos desinfectantes como antisépticos, previos a cirugías orales, para promover la homeostasis, refuerzo de aporte sanguíneo en heridas quirúrgicas, inhibir la proliferación de bacterias <sup>(2 y 3)</sup>, para tratar canales radiculares y alvéolos. <sup>(2 y 15)</sup>

También se utiliza en blanqueamientos dentales. <sup>(2)</sup> Como solución desinfectante para instrumentos dentales y dentaduras removibles. <sup>(6 y 7)</sup> En el sistema de liberación de agua de la unidad dental para reducir las cuentas bacterianas. <sup>(7 y 15)</sup>

El ozono en fase acuosa o gas tiene eficacia antimicrobiana, como un potente desinfectante removiendo biopelículas y microorganismos relacionados, tales como, *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium* spp., *Seudomonas aureginosa*, y *Candida* spp. del sistema de agua de la unidad dental y un efectivo agente bactericida para remover *S. mutans*, *Staphylococcus aureus* meticilin resistente, *Candida albicans*, y *E. faecalis* de dentaduras. <sup>(3)</sup>

### 7.5.1. Selladores

El ozono puede ser aplicado como un tratamiento profiláctico, anterior al grabado y a la colocación de selladores con un impacto no-negativo en las propiedades físicas del esmalte. <sup>(3)</sup>

Otra alternativa es utilizar primero la pistola de PROPHYflex (KAVO) para limpiar la superficie y remover la placa dentobacteriana que esta en fosetas y fisuras, se aplica ozono (HealOzone) y se coloca como sellador Fuji IX; para proteger al Fuji IX se debe colocar barniz Fuji antes y después de su colocación para prevenir su degradación. (Figura 12 y 13)<sup>(5)</sup>

La exposición al ozono tiene un fuerte efecto bactericida sobre microorganismos dentro de los túbulos dentinarios de cavidades profundas, con un impacto no-negativo en la adhesión de dentina y esmalte a las restauraciones adhesivas. <sup>(3)</sup>

### 7.5.2. Caries

Recientes investigaciones han demostrado que la exposición de caries dentinaria al ozono producida por un generador de ozono (Heal Ozone, CurOzone and Kavo) (produciendo 2100 ppm de ozono en un rango de 615 cc por minuto, por períodos de entre 10 y 20 segundos) redujo significativamente los niveles de microorganismos patógenos en estas muestras. Es más, redujo el número de colonias a menos del 1%; por lo que estos datos sugieren que el ozono penetra sucesivamente en la lesión y mata a la gran mayoría de los microorganismos. <sup>(5)</sup>

Muchas pruebas controladas clínicamente han demostrado la reversión de caries radicales así como de de fosetas y fisuras utilizando el sistema HealOzone.<sup>(5)</sup>

El ozono se aplica a la lesión cariosa por un 40 segundos, o más tiempo en caso de que se considere que el gas tiene dificultad de alcanzar una superficie con caries no cavitada, si la caries es profunda o si lesión es extensa.

El ozono penetra 2 mm dentro del tejido cariado, por lo que si se considera que la caries se extiende más allá de 2 mm es necesario eliminar el tejido enfermo para permitir que penetre el efecto del ozono.<sup>(5)</sup>

Preferentemente se deben dejar todas las lesiones cariosas expuestas a los remineralizantes por cuatro u ocho semanas antes de colocar una restauración estética o funcional.(Figura 14)<sup>(5)</sup>

Como no es posible dejar una lesión abierta, debido al impacto de la comida o una razón similar, se debe considerar el uso de ionómero de vidrio Fuji VII en cápsula color rosa, como restauración provisional, el cual tiene un alto contenido de fluoruro.<sup>(5)</sup>

También es necesario que el paciente cumpla a una dieta adecuada, higiene oral y que en casa siga las instrucciones de un estuche de HealOzone, el cual contiene pasta dental, enjuague bucal y spray con sustancias remineralizantes que contienen fluoruro, calcio, fosforo, zinc y xilitol. (Figura 15)<sup>(5)</sup>

El ozono no es la panacea de la vida. En algunos casos, el ozono no sustituye la salud dental tradicional. <sup>(5)</sup>

El ácido pirúvico producido por bacterias acidogénicas durante la cariogénesis, puede ser descarboxilado a ácido acético. Se ha demostrado que la remineralización de la caries incipiente puede ser fortalecida cuando la producción de ácido acético, u otro ácido con alto pKa se encuentra en restos de placa. <sup>(3)</sup>

Holmes muestra en su estudio que el ozono además de desinfectar y desodorizar puede influir en el tratamiento de caries radicular primaria. En este estudio se utilizó la corriente de ozono en superficies radiculares afectadas por caries no cavitadas en pacientes de 60 a 65 años con seguimiento de 12 a 18 meses, encontrando que es una alternativa convencional efectiva para caries radicular primaria, siempre y cuando se utilice el ozono acompañado de agentes remineralizantes para que la superficie radicular responda al tratamiento. <sup>(19)</sup>

Baysan observó que el ozono utilizado durante 10 segundos sobre la superficie dental (raíz) incidía en los tejidos dentales radiculares afectados por caries, ya que presentaban una disminución y muerte de algunos microorganismos que estaban presentes en caries no cavitadas y cavitadas, especialmente el *Streptococcus mutans* y el *Streptococcus sobrinus*. <sup>(20)</sup>

En la investigación de Knight GM, en el cual investigo el efecto de una formación de biofilm al aplicar primero gas ozono a la dentina. A la dentina se le aplico ozono por 40 segundos. Los frascos se llenaron con nutrientes, se

esterilizaron y se colocaron cultivos de *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus acidophilus* durante cuatro semanas. La aplicación de ozono en dentina no cariada previno la formación de biofilm *in vitro*.<sup>(21)</sup>

Es notable que no existió evidencia de colonización bacteriana en las superficies de la dentina. Al determinar los posibles mecanismos que han operado para crear esta situación, la corta vida del ozono hace altamente improbable que pudiera haber interferido con la síntesis de polisacáridos celulares producidos por *S. mutans* por una activación de la enzima glucosiltransferasa. Estas enzimas son responsables de la síntesis de glucanos solubles e insolubles que no solo contribuyen a la formación de la biopelícula sino que también juegan un papel importante en la adhesión del microorganismo a la superficie del diente.<sup>(21)</sup>

Un mecanismo más creíble puede ser que el tratamiento con ozono cambió la humectación de la superficie dentinaria, haciendo más difícil la colonización bacteriana.<sup>(21)</sup> Glantz ha demostrado que la reducción en la humectación de la dentina puede inhibir la formación de placa.<sup>(22)</sup> El ozono es un fuerte oxidante que puede reaccionar con casi toda la materia orgánica. En el caso de la superficie dentinaria, existe la posibilidad de que el tratamiento altere los constituyentes de la superficie orgánica, como el colágeno.<sup>(21)</sup>

La habilidad del tratamiento con ozono para prevenir la formación de la biopelícula por *S. mutans* y *L. acidophilus* sobre la dentina sugiere que puede ser un beneficio terapéutico la aplicación de ozono sobre superficies radiculares.<sup>(21)</sup>

Los protocolos para el tratamiento de caries en superficies radiculares sugiere que la remoción de cualquier biopelícula es necesaria antes de comenzar la terapia con ozono para tener un éxito clínico. <sup>(21)</sup>

### 7.5.3. Enfermedad periodontal

En base a los estudios de microbiología periodontal, inmunología y de la composición del fluido gingival crevicular, distintos autores, han presentado alternativas terapéuticas diferentes al tratamiento convencional del raspado y alisado radiculares en las bolsas periodontales, dando lugar a nuevos productos farmacológicos y terapéuticos que han permitido un avance significativo en este tipo de enfermedad. Estudios retrospectivos sobre terapias biooxidativas a nivel periodontal han demostrado que la actividad antimicrobiana de los agentes oxidantes entre ellos el ozono, es significativo en relación a los parámetros de: tiempo y concentración. (Figura16 y 17)<sup>(23)</sup>

El ozono presenta un alto nivel oxidativo a nivel periodontal, permitiendo una eficacia controlada en cuatro parámetros de microbiología patógena periodontal e inmunología (interleuquina 1-beta y factor de necrosis tumoral (TNF- alfa). <sup>(23)</sup>

Desde el punto de vista clínico hay una reducción estadísticamente significativa en el índice de sangrado gingival de Lindhe, con lo que se reduce la inflamación gingival. <sup>(23)</sup>

#### 7.5.4. Irrigación de conductos en endodoncia

Las endotoxinas representan uno de los agentes etiológicos involucrados en la patogenia y mantenimiento de la inflamación periapical, incluyendo reabsorción de hueso. Hay una correlación entre las endotoxinas y la patogénesis de la enfermedad pulpar. <sup>(7)</sup>

No solo es importante eliminar los microorganismos sino también inactivar las endotoxinas y otros productos tóxicos. Las bacterias gramnegativas tienen una endotoxina en la pared celular (lipopolisacárido) el cual representa un importante factor de virulencia. Las endotoxinas tienen efectos biológicos severos que son esenciales para el desarrollo de reabsorción periapical, involucrando hueso, cemento y dentina. <sup>(7)</sup>

El agua ozonizada, como irrigante, reduce significativamente el número de *C. albicans* y *E. faecalis* en los conductos radiculares, pero no tiene la capacidad de neutralizar endotoxinas. <sup>(7)</sup>

Ebensberger mostró que el momento de irrigar con agua ozonizada se presenta un efecto descontaminante de la raíz dental, además tiene un efecto positivo sobre los cementoblastos en el ligamento periodontal. (Figura 18, 19 y 20) <sup>(24)</sup>

#### 7.5.5. En cirugías y extracciones dentales

Ha sido reportado que el agua ozonizada sirve en cirugía dental para promover la homeostasis, aumenta el suministro de oxígeno local e inhibe la proliferación de bacterias. (Figura 21) <sup>(3)</sup>

El ozono también es benéfico para el tratamiento de la osteomielitis refractaria de cabeza y cuello en conjunto con el tratamiento con antibióticos, cirugía y oxígeno hiperbárico. <sup>(3)</sup>

#### 7.5.6. Cirugía de implantes

La aplicación de HealOzone antes y después de la cirugía, promueve la salud y estimula al sistema inmune. (Figura 22) <sup>(5)</sup>

#### 7.5.7. Hipersensibilidad dentinaria

El ozono penetra dentro de los túbulos expuestos, elimina la contaminación bacteriana, los túbulos primero permiten la entrada del mineral y posteriormente son sellados. Es necesario aplicar el ozono, en gas, por 40 segundos, aunque hay casos en los que se debe colocar por más tiempo. <sup>(5)</sup>

#### 7.5.8. Ortodoncia

Los brackets son una retención particular de nichos para la bioplaca cariogénica, agregando el problema de las manchas que existen alrededor de la anatomía dental, esto aumenta la necesidad de intensificar el cuidado mediante la profilaxis. Para eliminar el problema se aplica HealOzone alrededor del bracket, cada vez que se cambia el arco. (Figura 23)<sup>(5)</sup>

El ozono puede ser utilizado para limpiar las prótesis parciales removibles que tienen aleaciones, con un pequeño impacto sobre la calidad del reflejo, de la aleación, superficies ásperas y peso. <sup>(3)</sup>

### 7.5.9. Herpes labial

El herpes labial puede ser tratado con ozono (HealOzone). La copa de silicón se coloca en el sitio afectado y el ozono es aplicado de 40 a 60 segundos.

La experiencia clínica del Dr. Lynch es que la lesión sana en tres días, si HealOzone es aplicado en la fase inicial y diariamente, la infección del herpes desaparece después de tres días. (Figura 24 y 25)<sup>(5)</sup>

### 7.5.10. Estomatitis aftosa recurrente

La copa de silicón de HealOzone es colocada en el área de la mucosa afectada y expuesta por 40 segundos. La experiencia del Dr. Lynch mostró que una aplicación conduce a reducir en un 80% el dolor. Después de un día los pacientes están libres de dolor; después de esto, la úlcera sana rápidamente y sin complicaciones.(Figura 26) <sup>(5)</sup>

## 8. VÍAS DE ADMINISTRACIÓN DEL OZONO

Las vías de la administración del ozono son las siguientes:

Intravenosa, intrarterial, intramuscular, subcutánea, intraperitoneal, intrapleurales, intraarticular, periarticular, miofacial, intradiscal, intraforaminal, dentro de la lesión. <sup>(1)</sup>

Tópica (Ozyoil), nasal, auricular, oral, vaginal, uretral, rectal, cutánea, dental. <sup>(1)</sup>

El ozono puede ser usado como gas directo, disuelto en agua o en aceites vegetales ozonizados; también las aplicaciones del ozono pueden ser combinadas, la ozonoterapia sistémica y curaciones locales con agua y aceites vegetales ozonizados, sin el peligro de la resistencia de los microorganismos, ni de toxicidad o de efectos adversos y con la ventaja de resultados curativos más precoces en afecciones en las que la evolución puede ser de semanas o incluso meses. <sup>(1)</sup>

Además, la asociación del pretratamiento con ozono y diferentes antibióticos demuestra un aumento significativo en la efectividad de los antibióticos. <sup>(1)</sup>

El ozono puede ser usado como gas directo, disuelto en agua o en aceites vegetales ozonizados (Oleozone). <sup>(1)</sup>

Autohemoterapia mayor: se extrae un determinado volumen de sangre del

paciente, el cual se vierte en un frasco de vidrio con una sustancia anticoagulante, a continuación, se extrae del ozonizador el gas y el frasco se mezcla lentamente con la sangre previamente extraída, concluido esto, la sangre es transfundida nuevamente al paciente. <sup>(1)</sup>

Intravenosa: esta técnica esta prohibida en Alemania desde 1984 por el riesgo de embolismo pulmonar y muerte. <sup>(5)</sup>

Intraarterial: del generador de ozono se extrae el gas con una jeringa y luego se punciona la arteria femoral, debido a la presión positiva de esta arteria la sangre asciende al émbolo de la jeringa donde se mezcla con el oxígeno y ozono, y después lentamente se reintroduce la sangre nuevamente. <sup>(1)</sup>

Intramuscular: es utilizado, especialmente, en afecciones inflamatorias que involucran el sistema osteomioarticular (osteoartrosis). <sup>(1)</sup>

Intraarticular: se aplica a pacientes que presentan artropatías de rodilla (osteoartritis, artritis reumatoide, etc.). <sup>(1)</sup>

Subcutánea: es utilizada para el esclerosamiento de microvárices periféricas, previa asepsia de la zona se procede a canalizar la microvárice y después, se inyecta el gas lentamente. <sup>(1)</sup>

Intratonsilar: es usada en pacientes que tienen amigdalitis, se inyecta el gas directamente en la amígdala. <sup>(1)</sup>

Insuflación rectal: es una técnica no invasiva, tiene la ventaja de que puede

utilizarse sin riesgo alguno en pacientes pediátricos. El paciente se coloca decúbito lateral y ozono, se hace pasar el ozono lentamente a través del recto del enfermo mediante una sonda plástica, previamente lubricada y colocada vía anal. <sup>(1)</sup>

Aplicación subatmosférica: es una variante de las aplicaciones locales del gas (utilizando vacío). Este método permite la aplicación del gas en zonas de difícil acceso o no específicamente localizadas en las extremidades. El vacío aplicado favorece una vasodilatación localizada, con una más rápida curación. <sup>(1)</sup>

Para aplicar el ozono según este procedimiento es necesario disponer de un conjunto de aditamentos plásticos, de diferentes formas y tamaños, así como dos orificios: uno para la aplicación del vacío que permita una adecuada fijación del dispositivo a la piel cercana a la zona dañada y otro por donde entre la corriente de ozono, ambos funcionando al mismo tiempo. <sup>(1)</sup>

El método subatmosférico se utiliza en Estomatología, para el tratamiento con ozono en caries y lesiones bucales.(Figura 27)

Actualmente, el equipo utilizado para las aplicaciones intraorales (HealOzone) es producido por Kavo GMBH de Alemania y trabaja a una concentración fija de 2 100 ppm y a una velocidad de flujo de 615 mL/min. Las copillas son de silicona, de diferentes tamaños y se ajustan alrededor de la lesión o de la pieza dental a tratar. El ozono se crea a partir de aire seco y el equipo consta de un destructor de ozono catalítico. Los tiempos de tratamiento varían entre 10 y 60 s. <sup>(1)</sup>

Agua ozonizada: según se conoce, la utilización del agua ozonizada fue la primera experiencia relacionada con el ozono en el campo de las aplicaciones médicas. <sup>(1)</sup>

El hecho tuvo lugar en Alemania, a principios del siglo XX, poco tiempo después de la construcción de los primeros acueductos, en los que se comenzó a emplear el ozono atendiendo a sus propiedades desinfectantes y esterilizantes. <sup>(1)</sup>

A. Wolff en 1920 y posteriormente, Fisch en 1934, dieron inicio al empleo del agua ozonizada para producir cambios favorables en la evolución de los procesos inflamatorios bucales. <sup>(1)</sup>

Actualmente, el agua ozonizada resulta de gran utilidad en el campo de la Estomatología, así como coadyuvante en la curación de heridas infectadas y procesos sépticos locales. <sup>(1)</sup>

La preparación de agua ozonizada es un proceso físico, de disolución del ozono en el agua. La pureza del agua es un factor importante para su mayor efectividad germicida, una vez que resulta ozonizada. Para esto, se recomienda emplear agua desmineralizada o aún mejor agua para inyección o bidestilada. <sup>(24)</sup>

Un agua de mala calidad reduce la concentración de ozono y acelera la desintegración del gas. Para su preparación se hace burbujear continuamente el gas y el exceso de gas se convierte en oxígeno al pasar a través de un destructor. Dependiendo del volumen del agua y de la cantidad del flujo, un periodo de ozonación entre 5 y 20 minutos es suficiente para saturar el agua con el gas ozono. <sup>(24)</sup>

La degradación rápida del agua ozonizada es la mayor ventaja para el medio ambiente, también produce una rápida disminución por su actividad microbicida. Ha sido reportado que los factores importantes en la actividad microbicida son la calidad en la transferencia del ozono al agua, contaminación por componentes orgánicos disueltos, temperatura y pH. <sup>(8)</sup>

Entre estos factores, la eficacia de la esterilización del ozono depende particularmente de la temperatura en su fase acuosa. Al examinar el efecto de la temperatura del agua ozonizada y su actividad microbicida, la actividad y la concentración del ozono en fase acuosa disminuyen rápido a 22°C que a 4°C, indicando que la eficacia del ozono disminuye inmediatamente cuando el agua ozonizada se encuentra a temperatura ambiente. <sup>(8)</sup>

Aceites vegetales ozonizados: la interacción del ozono con moléculas insaturadas, entre ellas, las de los aceites vegetales, genera la formación de una mezcla de compuestos químicos tales como ozónidos o 1,2,4-trioxolatos y peróxidos. Los ozónidos y los peróxidos poseen carácter germicida, propiedad que los hace útiles para el tratamiento de heridas infectadas, fístulas y otros procesos sépticos locales. <sup>(1)</sup>

Uno de los aceites ozonizados más empleados ha sido el de oliva, sobre el cual se ha realizado un conjunto de estudios químicos, preclínicos y clínicos para corroborar sus propiedades terapéuticas como bactericida, fungicida y virucida. <sup>(1)</sup>

De los ácidos grasos presentes en los aceites vegetales, solo son capaces de reaccionar fácilmente con el ozono los insaturados, es decir, el ácido oleico, el ácido linoléico y el ácido linolénico. <sup>(1)</sup>

La reacción entre un aceite vegetal y el ozono es una reacción de oxidación en la que se forman compuestos peroxídicos que elevan considerablemente el índice de peróxido del aceite tratado y por ende favorecen sus procesos de oxidación y degradación posterior. <sup>(1)</sup>

Al estudiar el efecto del aceite de girasol ozonizado OLEOZON sobre los microorganismos, se demostró en pruebas *in vitro* e *in vivo* que presenta un fuerte carácter germicida sobre diferentes bacterias, tales como *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, cepas multiresistentes a los antibióticos, hongos como *Trichophyton*, *Epidermophyton* y *Microsporum* y levaduras como *Candida albicans*, así como algunos protozoos como *Giardia lamblia*. <sup>(1)</sup>

## 9. CONCLUSIONES

El ozono tiene un efecto antimicrobiano, con respecto a bacterias, hongos y virus. Afectando principalmente a las bacterias que no cuentan con mecanismos antioxidantes, y a los virus envueltos.

Puede ser una herramienta más en diferentes áreas odontológicas, principalmente periodoncia, cirugías, extracciones, auxiliar en el tratamiento de aftas, virus herpes 1, siempre y cuando sea manejado por personal capacitado para evitar poner en riesgo la vida del paciente.

Las variedades en las formas de utilizar el ozono, ya sea solo, disuelto en agua o aceites, o utilizarse en combinación de diferentes métodos, hace que los beneficios superen el costo del generador de ozono.

No hay muchos artículos que avalen la reversión de las lesiones cariosas, pero si tiene un efecto contra microorganismos cariogénicos y en la biopelícula dental.

Se requiere de más investigaciones nacionales para promover su utilización, así como de generadores de ozono mexicanos para no utilizar los que venden en el extranjero.

## 10. GLOSARIO

**Atmósfera:** masa de aire que rodea la Tierra. Masa gaseosa que rodea un astro cualquiera.

**Alotrópico, ca:** adjetivo. Relativo a la alotropía.

**Alotropía:** *Quim.* Diferencia que, en su aspecto, textura u otras propiedades, puede presentar a veces un mismo cuerpo, como el azúcar cande y el cristalino.

**Biatómico:** dicese de los cuerpos cuyo peso molecular es el doble del peso atómico.

**Dieléctrico:** dicese del cuerpo aislador de la electricidad.

**Electrolisis:** descomposición de un cuerpo verificada por medio de la electricidad.

**Estratósfera:** región de la atmósfera, entre la troposfera y la mesosfera, que ocupa unos treinta kilómetros en los que la temperatura es constante.

**Oxidante:** que oxida.

**Oxidar:** hacer pasar al estado de óxido. Combinar con el oxígeno.

**Oxidación:** combinación con el oxígeno.

**Peróxido:** Nombre del grado mayor de oxidación de ciertos cuerpos.

**Tropósfera:** zona inferior de la atmósfera, de un espesor de 11 kilómetros aproximadamente.

## 11. FIGURAS



Figura 1. Molécula de ozono ([www.mambiente.munimadrid.es/](http://www.mambiente.munimadrid.es/)).

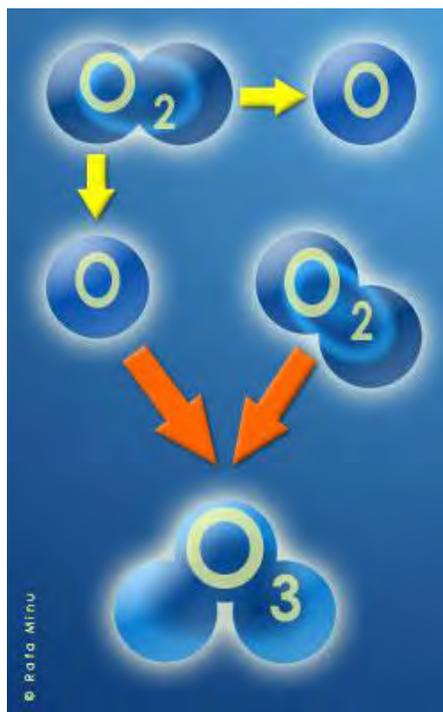


Figura 2. Moléculas de oxígeno presentes en el aire en átomos libres, algunos de los cuales se combinan con otras moléculas de oxígeno para constituir el ozono. (4.bp.blogspot.com/).

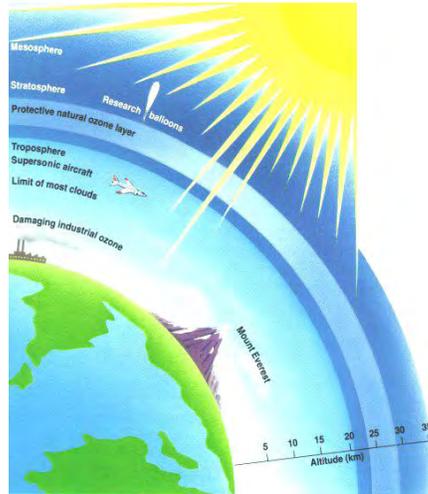


Figura 3. Capa de ozono. ([WWW.katheba.files.wordpress.com/](http://WWW.katheba.files.wordpress.com/))



Figura 4. Generador de ozono médico. (images01.olx.com.mx/)



Figura 5. HealOzone. ( [www.Kavo.com](http://www.Kavo.com))



Figura 6. Pieza de mano con copa de silicón ( [www.kavo.com](http://www.kavo.com))

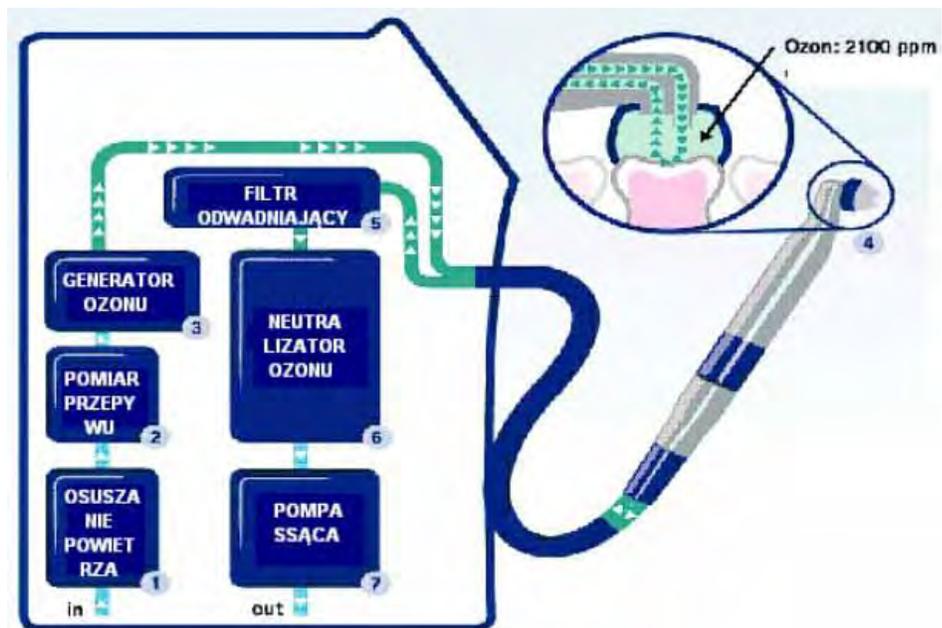


Figura 7. Esquema del método usado por HealOzone para generar ozono. ( [www.dentalplus.hu/](http://www.dentalplus.hu/)).

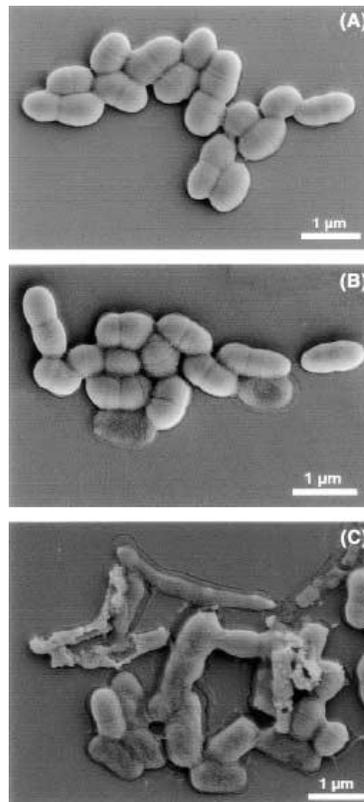


Figura 8. Ruptura de los *Streptococcus mutans* al ser tratados con agua ozonizada. (Nagayoshi, 2004).

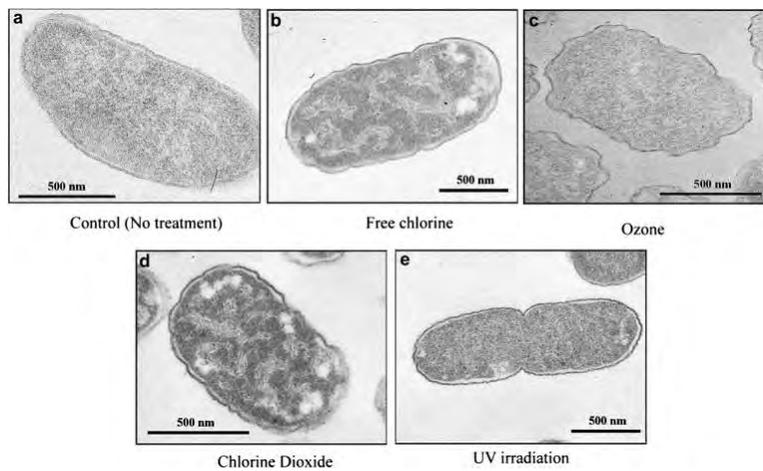


Figura 9. Cambios morfológicos de *E. coli* con diferentes desinfectantes. (Cho, 2010)

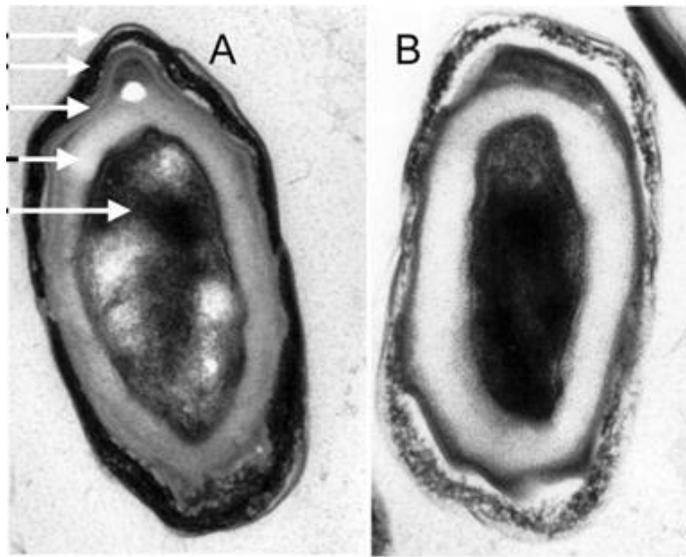


Figura 10. Las estructuras mas dañadas por el ozono son el exosporium y la exina. (Khadre M. A. 2001)

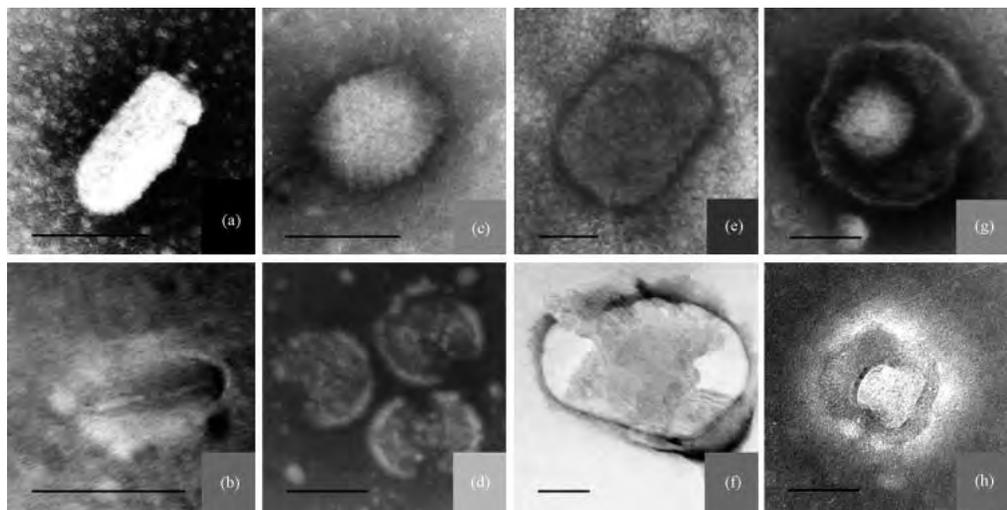


Figura 11. (a) VSIV ; (b) VSIV expuesto al ozono; (c) HAdV-2; (d) HAdV-2 expuesto al ozono; (e)VACV; (f) VACV expuesto al ozono; (g) HHV-1; y HHV-1 expuesto al ozono. (Murray, 2008)



Figura 12. Pistola de PROPHYflex.  
([www.kavo.com](http://www.kavo.com))



Figura 13. Limpieza de placa dental  
con Pistola de PROPHYflex.  
([www.kavo.com](http://www.kavo.com))



Figura 14. Caries tratada con ozono por 60 segundos. Seis meses después la superficie esta totalmente mineralizada. (Lynch. 2004)



Figura 15. Pasta dental, enjuague bucal y spray de HealOzone. Sustancias remineralizantes que contienen fluoruro, calcio, fosforo, zinc y xilitol. ([www.kavo-com](http://www.kavo.com))



Figura 16. PrimoLogO<sub>3</sub> de Kuss Dental. Ripolles, (2004).



Figura 17. Aplicación del ozono conPrimoLogO<sub>3</sub>. Sonda extrafina. (Ripolles, 2004).



Figura18. Cánula empleada para introducir el ozono en el conducto. (www.kavo.com).



Figura 19. Selle hermético mediante la punta de silicona. (www.kavo.com).



Figura 20. Cánula introducida en el interior del conducto. ([www.kavo.com](http://www.kavo.com)).



Figura 21. Al colocar ozono en el área de la cirugía aumenta el suministro de oxígeno local e inhibe la proliferación de bacterias. (Lynch. 2004)



Figura 22. Aplicación de ozono antes y después de la cirugía de implantes. (Lynch. 2004)



Figura 23. Aplicación del ozono en ortodoncia. (Lynch, 2004)



Figura 24. La copa de silicón se coloca en el sitio afectado y el ozono es aplicado de 40 a 60 segundos. (Lynch. 2004)



Figura 25. La experiencia clínica del Dr. Lynch es que la lesión sana en tres días. (Lynch. 2004)

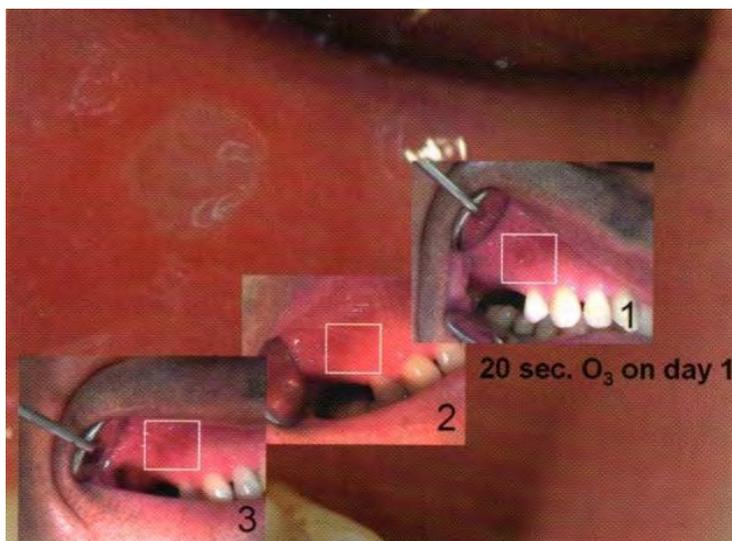


Figura 26. Afta expuesta por 40 segundos al ozono. Sana rápidamente y sin complicaciones. (Lynch. 2004)



Figura 27. Aplicación subatmosférica del ozono en un molar. ([www.velkunarste.lv/](http://www.velkunarste.lv/))

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Menéndez S. *et al.* Ozono. Aspectos básicos y aplicaciones clínicas. Cuba: Editorial CENIC, 2008
2. Gallego G. *et al.* Uso del Ozono en diferentes campos de la Odontología. Rev. CES Odontología 2007; 20: 65-68
3. Azarpazhooh A. *et al.* The application of ozone in dentistry: A systematic review of literature. Journal of Dentistry 2008; 36: 104-116
4. Burgassi S. *et al.* How much ozone bactericidal activity is compromised by plasma components? Journal of Applied Microbiology 2009; 106: 1715-1721
5. Lynch E. Ozone: The Revolution in Dentistry. London: Quintessence Publishing, 2004.
6. Nagayoshi M. *et al.* Antimicrobial Effect of Ozonated Water on Bacteria Invading Dentinal Tubules. Journal of Endodontics 2004; 30: 778-781
7. Gonçalves M. *et al.* Effectiveness of ozonated water on *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, and endotoxins in root canals. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008; 105: 85-91
8. Nagayoshi M. *et al.* Efficacy of ozone on survival and permeability of oral microorganisms. Oral Microbiology Immunology 2004; 19: 240-246
9. Sechi L. *et al.* Antibacterial activity of ozonized sun over oil (Oleozone). Journal of Applied microbiology 2001; 90: 279-284
10. Cho M. *et al.* Mechanisms of *Escherichia coli* inactivation by several disinfectants. Water research 2010; 44: 3410-3418
11. Khadre M. *et al.* Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. International Journal of Food Microbiology 2001; 71: 131-138
12. Arita M. *et al.* Microbicidal efficacy of ozonated water against *Candida albicans* adhering to acrylic denture. Oral Microbiol Immunol 2005; 20: 206-210

13. Murray B. *et al.* Virion disruption by ozone-mediated reactive oxygen species. *Journal of Virological Methods* 2008; 153: 74-77
14. Kekez M. *et al.* A new ozone-based method for virus inactivation: preliminary study 1997; 42: 2027-2039
15. Hems R. *et al.* An *in vitro* evaluation of the ability of ozone to kill a strain of *Enterococcus faecalis*. *International Endodontic Journal* 2005; 38: 22-29
16. Silva G. *et al.* Anaerobic effluent disinfection using ozone: Byproducts formation. *Bioresource Technology* 2010; 101: 6981-6986
17. Tashiro y col. Proposed safety measure for work after ozone-induced deodorization in a hotel. *Occup Health* 2004; 46: 153-155
18. Bocci V. Biological and clinical effects of ozone. *British Journal of Biomedical Science*. 1999;56
19. Holmes J. Clinical reversal of root caries using ozone, double blind, randomised, controlled 18-month trial. *UK Smiles Dental Practice. Gerodontology* 2003; 20: 106-114
20. Baysan A. *et al.* The use of ozone in dentistry and medicine. Part 2. Ozone and root caries. *Primary Dental Care* 2006; 13: 37-41
21. Knight GM. *Et al.* The inability of *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus acidophilus* to form a biofilm *in vitro* on dentine pretreated with ozone. *Australian Dental Journal* 2008; 53: 349-353
22. Glantz PO. On wettability and adhesiveness. *Odontol Revy* 1969; 20: Suppl 17
23. Ripollés J. *et al.* Evaluaciòn clìnica, microbiològica e inmunològica de la ozonoterapia en pacientes con bolsas periodontales moderadas-severas. *Av Periodon Implantol* 2004; 16: 63-72
24. Ebensberger U. *et al.* Expression of cementoblasts and fibroblasts on the root surface after extraoral rising for decontamination. *Dental Traumatology* 2002; 18: 262-265