

Luis Antonio Sánchez Guillen (luis.ant.sanchez.guillen.@gmail.com)

Presidente Consejo de Administración

Alcora Salud Ambiental

El plasma frío como elemento esterilizante de ambientes interiores

El artículo trata de la utilización de plasma frío en la desinfección del aire ambiental mediante su simple introducción forzada o inducida en una cámara de ionización. Los procedimientos del tipo plasma frío, consisten en descargas de energía eléctrica sobre el aire circulante, obteniendo de esta descarga la producción de plasma. El objetivo básico es la alteración y destrucción de las partículas vehiculizadas hasta la cámara de descarga, sin alterar la temperatura del aire tratado.

La palabra plasma se usa para nombrar un gas ionizado y el nombre se le atribuye a Irving Langmuir (1927). Es conocido, que, si se suministra de forma constante y durante cierto tiempo, energía a una materia, en función de la potencia aplicada su temperatura aumenta y puede llegar a cambiar su estado, pasando de sólido a líquido y posteriormente a gaseoso si el suministro de energía se mantiene. Llegado a este punto se rompe la capa de electrones existente y surgen partículas cargadas de forma positiva y negativa una vez formado el plasma. Este denominado cuarto estado de la materia corresponde al 99% de toda la materia que compone el universo.

En el pasado, hablar de plasma suponía que, para alcanzar este denominado cuarto estado de la materia, era necesario obtener altas temperaturas; la presencia en el conjunto de electrones libres, iones, cationes y otras muchas especies reactivas, hacían del plasma un buen candidato, siempre y cuando se solventaran los niveles de alta temperatura, para obtener la descontaminación del aire y de superficies (1).

El desarrollo industrial, en primer lugar de los filtros electrostáticos, basados en este tipo de descargas y posteriormente la aplicación del plasma frío en medicina como elemento desinfectante, fue un avance más en toda esta tecnología (2).

La eficacia mostrada por medio del plasma frío frente a bacterias tan recalcitrantes como: *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (MRSA), *Enterococcus spp.* resistentes a la vanco-

micina (VRE), *Escherichia coli* y *Acinetobacter baumannii* (2) fue un aliciente más en el desarrollo de los dispositivos para tratar los ambientes interiores. De igual forma las experiencias realizadas en 2012 tras el brote de MERS CoV en oriente medio, mostró la eficacia de este método en el control de coronavirus.

Estudios posteriores, utilizando una cámara de plasma frío, frente a bacterias Gram negativas y Gram positivas de relevancia clínica, así como frente al hongo *Candida albicans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus atrophaeus* y *Geobacillus stearothermophilus*, confirmaron los resultados según la evaluación hecha por Tobías G. Klämpfl et al. en 2014 (3).

Revisando diversos estudios científicos, podemos ver como Yang-Fang Li, et al. en 2012 (4) completa un estudio sobre plasma frío y la desinfección de superficies. También Machala publica en 2012 su libro titulado "Plasma para bio-descontaminación, medicina y seguridad alimentaria" donde especifica el uso y la utilidad como descontaminante del plasma frío (5). El reto estaba planteado y se trataba de dar un paso más y utilizar el plasma frío en la desinfección del aire ambiental, tratando de que éste, por su simple introducción forzada o inducida en una cámara de ionización, adaptada a estas necesidades, consiguiera su depuración.

Para ello, fue necesario que distintas disciplinas se integraran en estudios científicos, relacionando diversos tipos de microorganismos y la facultad de estos

dispositivos para obtener una desinfección o esterilización. Esto se consiguió al mejorar la eficacia de las cámaras, con el desarrollo de modelos más potentes, que incluyen las denominadas cámaras de generación de plasma en multi-serie, combinando con mayor eficacia la frecuencia y el voltaje aplicado.

La variabilidad de las frecuencias aplicables, desde tan sólo 1 KHz hasta 70 Mhz, y la cantidad de voltaje utilizado, indica rangos amplios con capacidad de generar el plasma frío. En la generación se producen además longitudes de onda entre 254 y 900 nm (nanómetros), obteniendo en el manejo adecuado de estos parámetros, resultados diversos en función de los microorganismos que se quieren controlar en el medio ambiente interior. Lo ideal es que los arcos generados tengan longitudes de onda amplias, abarcando en mayor medida aquellos que afectan al mayor número de microorganismos. Los rangos, dentro de los espectros que han mostrado mayor capacidad germicida, se obtuvieron entre 254-381 nm. Otro de los efectos que produce la formación del plasma es que las descargas provocan la disgregación de los electrones de las partículas, ya sean biogénicas o no, expuestas a las zonas de difusión del plasma frío.

Según algunos estudios realizados, el dibujo que presenta N. O'Connor es quizá muy clarificador, de la forma de acción del plasma frío, en las bacterias, ver figura 1 (6).

Los procedimientos del tipo denominado plasma frío, consisten en descargas

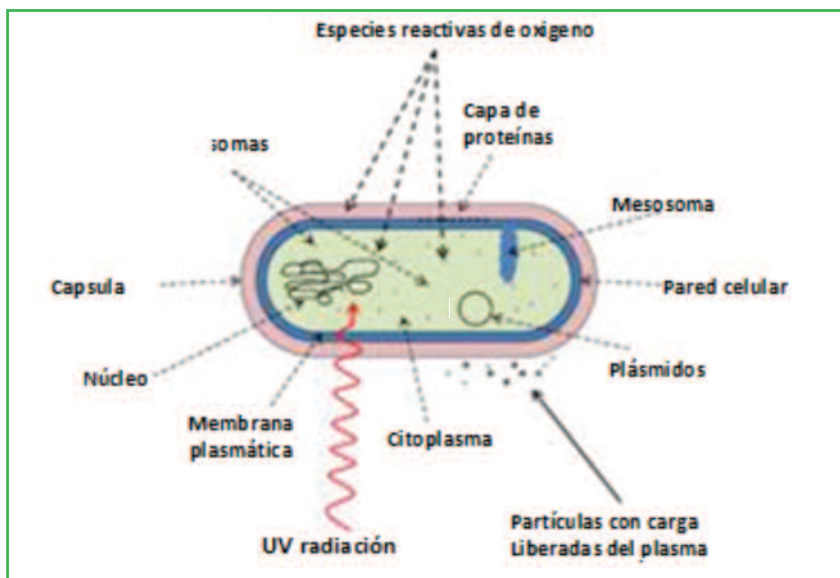


Figura 1. Efecto sinérgico múltiple para la desactivación de microorganismos por medio de plasma frío (N. O'Connor, Dublin City University).

de energía eléctrica sobre el aire circulante, obteniendo de esta descarga la producción de plasma. El objetivo básico, es la alteración y destrucción de las partículas vehiculizadas hasta la cámara de descarga sin alterar la temperatura del aire tratado (7).

Valores de descargas de entre 10 y 50 Kv. (kilo voltios) se suelen utilizar en las descargas para producir plasmas de esta naturaleza fría. La temperatura del aire circulante para un buen rendimiento debería estar entre 0 y 40 °C, y la humedad relativa debe ser de un máximo del 75%, sin alcanzar en ningún caso el punto de rocío. En este orden se situaría lo que bien podríamos denominar Cámara de plasma a presión atmosférica o plasma no térmico en sus siglas en idioma inglés APPC-NTP (Atmospheric Pressure Plasma chamber-No thermal Plasma).

Los parámetros de alimentación de entrada al dispositivo deben establecerse en cuanto a:

- Frecuencia, Voltaje, Amperaje.
- Condiciones del aire (T^a y Hr).
- Caudal máximo del aire circulante.

Condiciones de funcionamiento en la salida del dispositivo:

- Capacidad desinfectante esterilizante, entre 99,99 y 100%.
- Neutralización de especies reactivas: (N_2^+ , O_2^+ , NO^+ , O_3) (6).
- Control de temperatura del aire (entrada sobre salida (alteración < 2 °C).

Llegados a esta cuestión, la definición simplificada del plasma frío es la de un gas altamente ionizado compuesto por electrones libres, iones positivos y negativos, radicales libres, átomos y moléculas en estado excitado o básico.

La condición, de los plasmas fríos, se produce al pasar la casi totalidad de la energía generada sólo a los electrones y con ellos la elevación exclusiva de la temperatura de estos, de ello se obtiene que los componentes neutros permanezcan a la temperatura ambiente. En la figura 2 y 3 se puede apreciar una descarga producida por 4 y 8 coronas en serie (8, 9). De los procedimientos de descargas para la obtención de plasma frío, hemos podido es-



Figura 2.

tudiar 3 procedimientos de 3 marcas diferentes en cuanto a sus características técnicas, llegando a la conclusión de que la denominada técnicamente como descarga en corona de barrera dieléctrica, es el dispositivo idóneo según nuestra propia apreciación, cuestión esta que iremos exponiendo en las páginas siguientes (1).

Uno de los procedimientos establecidos para el control de la eficacia de los sistemas es el propuesto por Michael Gallager (2004 y que representa en uno de sus trabajos en la figura 4 (10).

Si la generación de plasma está correctamente aplicada en cuanto a diseño, voltaje, frecuencia y disposición del catalizador, no genera gases raros o haluros que salgan fuera del dispositivo, quedando el ambiente, a la salida del aire, purificado en el propio dispositivo que debe estar libre de producción artificial de nitrógeno, radicales libres, nitrosio u ozono (N_2^+ , O_2^+ , NO^+ , O_3) (11) (12).

La densidad producida de electrones por el plasma frío es variable, situándose entre 10^9 y 10^{13} . Los voltajes aplicados están entre 10 y 50 kV. La temperatura del aire de paso no se altera. Esta es la ventaja que se obtiene de este tipo de descarga en corona, que ha conseguido desarrollar Genano Inst. en Finlandia. Estos sistemas de descarga en corona han mostrado su eficacia, controlados por el laboratorio oficial finlandés VTT, en cuanto a su potencial para el control de microorganismos. De otro lado este generador de plasma queda exento de la producción de los efectos nocivos producidos por gases de los denominados raros. Los trabajos de investigación

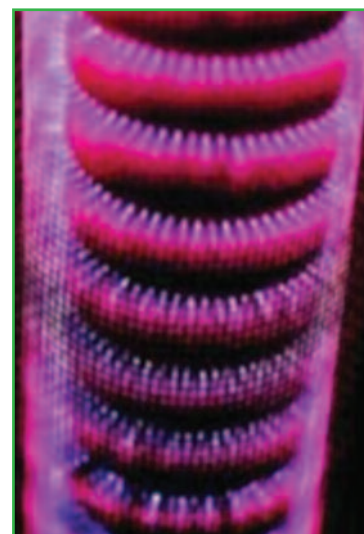


Figura 3. Efecto de una descarga plasma frío ubicación tubular.

desarrolladas a través de los últimos 20 años en sus laboratorios en Espoo, (Finlandia) han obtenido este óptimo resultado, que lo diferencian claramente de otros productos parecidos.

La capacidad del procesador para configurar el dispositivo de descarga se ha visto favorecida en la aplicación de la frecuencia más adecuada y del voltaje necesario según los caudales de aire procesados (13).

Una de las ventajas básicas de la descarga en corona sobre la modalidad del DBD (dielectric barrier discharge) es la forma y consistencia del módulo de ionización donde se producen las descargas de corona simétricas, lineales y superpuestas, ver figura 5 (14).

Esto permite varias descargas o tratamiento con plasma frío en el paso del aire y con ello sinergizar el tratamiento del mismo; la eficacia obtenida es mucho mayor y sin embargo el coste energético es muy reducido, de apenas unas decenas de vatios. Otra de las ventajas que hallamos en este dispositivo y que quizá lo hace de selección preferencial hacia este tipo de diseño, es la posición tubular del sistema.

Cuenta con la capacidad de recoger las distintas etapas simultáneas del tratamiento múltiple de la descarga en corona, instalados los electrodos en una sólida cámara de acero tubular; esta condición admite el autolavado del sistema, retirando en la operación de lavado todo el material que queda adherido siempre en uno de los electrodos, formado en este caso por la propia carcasa del sistema, que actúa como ánodo receptor de la materia vehiculada inerte, ver figura 6 (15).

Es necesario realizar operaciones de mantenimiento periódicas con cierta fre-



Figura 5. Dispositivo de plasma frío descarga en corona (cortesía de Genamo).

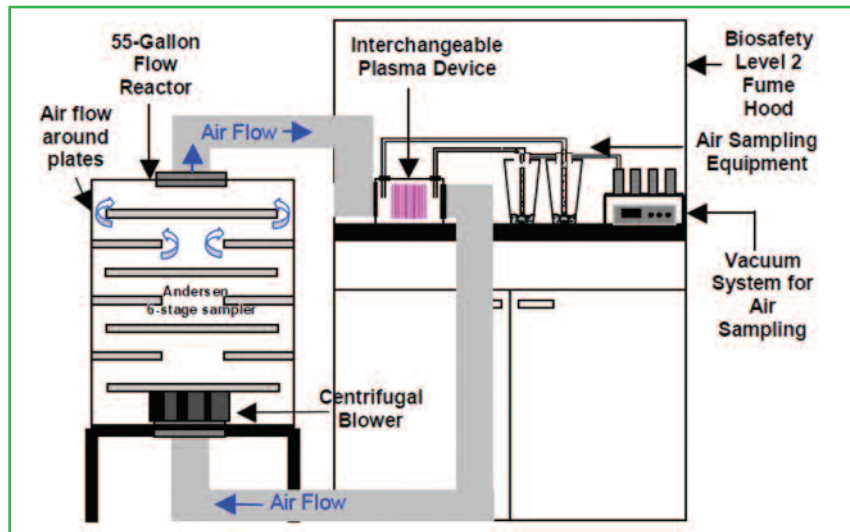


Figura 4. Pathogen Detection and Remediation Facility (PDRF).

cuencia y retirar la materia inerte ; si no se hiciera así, la materia particulada adherida, formaría una capa aislante, reduciendo la eficacia de las descargas, pudiendo llegar a producir el colapso del sistema.

Uno de los factores de relieve en este tipo de generación de plasma frío es el grosor de los electrodos utilizados en las descargas ya que pueden alterar de forma sustancial la temperatura del aire circulante por el sistema.

En este tipo de generadores de plasma frío, la retención por filtración de partículas no es necesaria y se elimina de esta forma uno de los reservorios habituales donde al carecer, en la mayoría de los casos, de medidores de presión diferencial, se llega en muchos casos a la colmatación de estos filtros auxiliares y con ello a generar reservorios, que en sí mismo entrañan cierto riesgo contaminante.

En algunos lugares donde se instalan



Figura 6. Sistema Genamo.

estos dispositivos, la presencia en el ambiente de componentes organo-volátiles derivados de medicamentos, productos de limpieza y desinfectantes, así como ozono troposférico o radicales libres y aquellos otros generados por diversa maquinaria, (8) (9) se presentan problemas adicionales que pueden ser fácilmente evitados con la instalación en las salidas del aire tratado en los generadores de plasma, de catalizadores dotados de carbón activado, tal como recomienda la NTP 989 (Nota Técnica de Prevención de calidad del aire interior).(16) La preparación para la disociación de estos gases en su paso por la cámara son fácilmente retenidos posteriormente en el catalizador de carbón activado.

Con relación al tipo de salas blancas (Unidades de cuidados intensivos y quirófanos) donde existan pacientes o material infectocontagiosos, se ha establecido la duda de que las filtraciones tipo HEPA y ULPA, (con capacidad de retención hasta 0,3-0,125 μm) sean suficientes para retener el paso del SARS CoV 2 (0,08 μm). Existe la teoría de que al formar el virus una parte de la gotícula traslacional, esta es mayor y entonces si serían capaces de retener la totalidad de estos virus. La duda se establece cuando en el choque con la filtración, el virus se separe o no de la gotícula y la pregunta es clara ¿Tiene capacidad por sí mismo el virus de seguir en la traslación o las fuerzas físicas inherentes a las partículas ambientales harán que el virus se adhiera a las paredes de los filtros?

Por otra parte dentro de otros riesgos identificados, se ha podido cuantificar que el simple movimiento del personal sanitario o operativo por estas unidades, en las

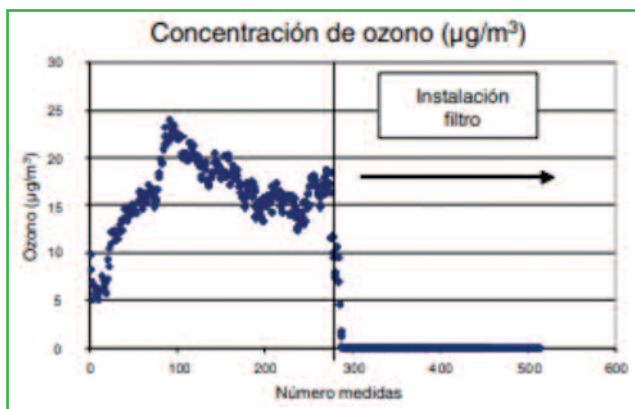


Figura 7. Reducción del ozono por medio de catalizador de carbón activado.

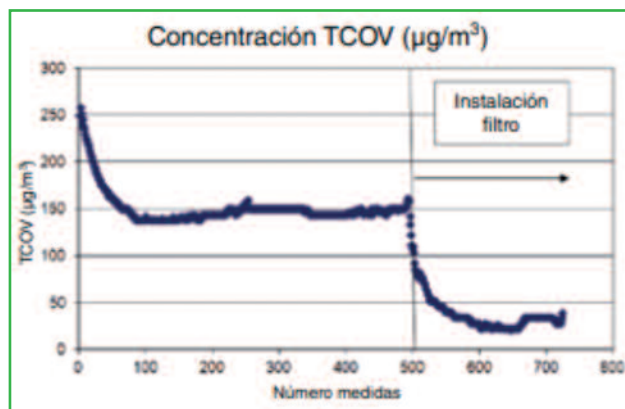


Figura 8. Efecto reductor de los componentes organo-volátiles por medio de catalizador de carbón activado.

propias labores de asistencia, provocan contaminaciones dentro de la sala, donde se producen en la mayoría de los casos, parámetros fuera de los límites establecidos de bioseguridad o en otros casos condiciones más graves derivadas de infecciones relacionadas con la asistencia sanitaria.

La ubicación dentro de este tipo de salas blancas, de dispositivos de plasma frío, permite la destrucción o control de las partículas ambientales causantes de niveles aleatorios de partículas por encima de la clasificación de la sala, incluidas entre ellas las de carácter biogénico.

En la figura 9, se puede apreciar la capacidad de retención y destrucción de partículas por medio de plasma frío utilizando descargas de corona en multi serie. En ella se compara con la capacidad de retención por filtraje. Test by VTT Technical Research Centre of Finland estudio encargado por Genano a este laboratorio oficial finés (2020). "Removal efficiency for aerosol particles between 0.003–10 µm".

De la pandemia por la COVID 19, están destacando diversas metodologías, avances técnicos, métodos nuevos y avances médicos en lo ya conocido, que van a permitir no sólo que la misma termine, al menos de la forma tan virulenta en que se

ha manifestado. También va a permitir que en un próximo estallido, que se teme que tarde o temprano se pueda volver a manifestar, los recursos de control sean mejores y se pueda resolver en menos tiempo, con menor esfuerzo y sobre todo con un coste inferior en vidas humanas, yo al menos estoy convencido de ello.

Bibliografía relacionada

- (1) Contribución a la generación de plasma frío mediante electrodos SMD y JET. Guillermo Baeza Oliete. TD. Universidad politécnica de Valencia-2017.
- (2) Moeller TM, Alexander ML, Engelhard MH, Gaspar DJ, Luna ML, Irving PM. Surface decontamination of simulated chemical warfare agents using a nonequilibrium plasma with off-gas monitoring. *IEEE Trans Plasma Sci.* agosto de 2002;30(4):1454–9.
- (3) Klämpfl TG, Isbary G, Shimizu T, Li Y-F, Zimmermann JL, Stolz W, et al. Cold Atmospheric Air Plasma Sterilization against Spores and Other Microorganisms of Clinical Interest. *Appl Environ Microbiol.* 1 de agosto de 2012;5077–82.
- (4) Li Y-F, Shimizu T, Zimmermann JL, Morfill GE. Cold Atmospheric Plasma for Surface Disinfection. *Plasma Process Polym.* junio de 2012;9(6):585–9.
- (5) Machala Z, Hensel K, Akishev Y, editores. *Plasma for Bio-Decontamination, Medicine and Food Security* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2012 [citado 21 de mayo de 2017]. (NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology).

(6) Figura 1 traducida de N. O'Connor a National Centre for Plasma Science and Technology, Dublin, Ireland. Dublin City University.

(7) Hans-Erich Wagner and Ronny Brandenburg. Atmospheric Pressure Plasmas. 1 European Summer School on Plasma Applications in Material Science (PAMS-2011) ; 2011 Summer.

(8) Descargas eléctricas a presión atmosférica para procesamiento por plasma en el INFIP Diana Grondona. Instituto de Física del Plasma-UBA-CONICET Buenos Aires-Argentina.

(9) Figura 3. Fotografía obtenida de, Y. M, Zhang J, publishing 324505–32–2005.

(10) Non-thermal plasma application in air sterilization Conference Paper in IEEE International Conference on Plasma Science • Michael Gallagher et al. Drexel University January 2004 DOI: 10.1109/PLASMA.2004.1339779.

(11) Nosocomial infections – a new approach towards preventive medicine using plasmas" (Morfill et al., 2009) cita la creación de especies reactivas del oxígeno y el nitrógeno por interacción con el aire y el vapor de agua tales como O, N, H₂O₂, NO, NO₂, y O₃.

(12) Cold Atmospheric Air Plasma Sterilization against Spores and Other Microorganisms of Clinical Interest" (Klämpfl et al. 2012) se cita para equipos con electrodos SMD en aire la creación de moléculas ROS (Reactive Oxygen Species), RNS (Reactive Nitrogen Species) y NOS (Oxygen and Nitrogen Species), como radicales libres reactivos (NO, OH, superóxidos O₂⁻) o agentes fuertemente oxidantes como (H₂O₂, y O₃).

(13). Cahill OJ, Claro T, O'Connor N, Cafolla AA, Stevens NT, Daniels S, et al. Cold Air Plasma To Decontaminate Inanimate Surfaces of the Hospital Environment. *Appl Environ Microbiol.* 15 de marzo de 2014;80(6):2004–10.

(14) figura 5 sistema de plasma frío con descarga en corona y catalizador de gases raros, Genano Espoo. Finlandia.

(15) Figura 6. Procedimiento de autolavado en Sistema de plasma frío por descarga en corona, por gentileza de Genano. Espoo. Finlandia.

(16) NTP 989 – INSST Nota técnica de prevención Calidad de aire interior: filtros de carbón activo para su mejora. Autor Eva Gallego Piñol et al. Publica Instituto nacional de seguridad e Higiene el el trabajo (2013).

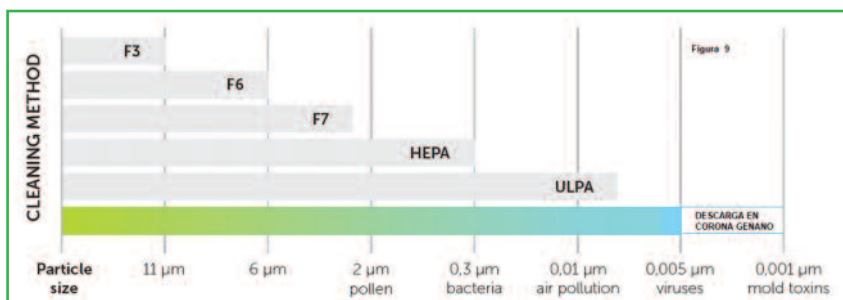


Figura 9.