



APLICACIÓN DEL VIENTO IÓNICO EN AMBIENTES CONTROLADOS Y LABORATORIOS DE BIOSEGURIDAD

En ambientes controlados y laboratorios de bioseguridad, la gestión de la calidad del aire es un factor crítico para garantizar la seguridad de los procesos, la integridad de los productos y la protección del personal. La tecnología basada en viento iónico ha surgido como una solución avanzada para mejorar el control de la contaminación en estas áreas críticas. Este artículo presenta los hallazgos más relevantes de su validación y su aplicabilidad en entornos de alta exigencia operativa.

CLARA FERNÁNDEZ,
Responsable del Área de Purificación de CEDRION.

¿En qué se basa la tecnología de viento iónico?

El plasma atmosférico no térmico (PANT) es un estado de la materia caracterizado por una ionización parcial de un gas sometido a una excitación energética mediante descargas eléctricas de alta intensidad, operando a presión atmosférica y temperatura ambiente.

Este proceso puede generarse a través de distintos tipos de descargas eléctricas en las cuales se induce la ionización del gas precursor. La descarga aplicada en este caso es la descarga corona, la cual se produce cuando una elevada diferencia de potencial eléctrico se establece entre dos electrodos, típicamente, un electrodo de alta curvatura conectado a alta tensión (electrodo corona) frente a un electrodo de baja curvatura conectado a tierra, alcanzando la ruptura dieléctrica del medio.

El aire transiciona a convertirse en un medio parcialmente conductor. Durante este proceso se generan iones que son acelerados gracias al campo eléctrico generado

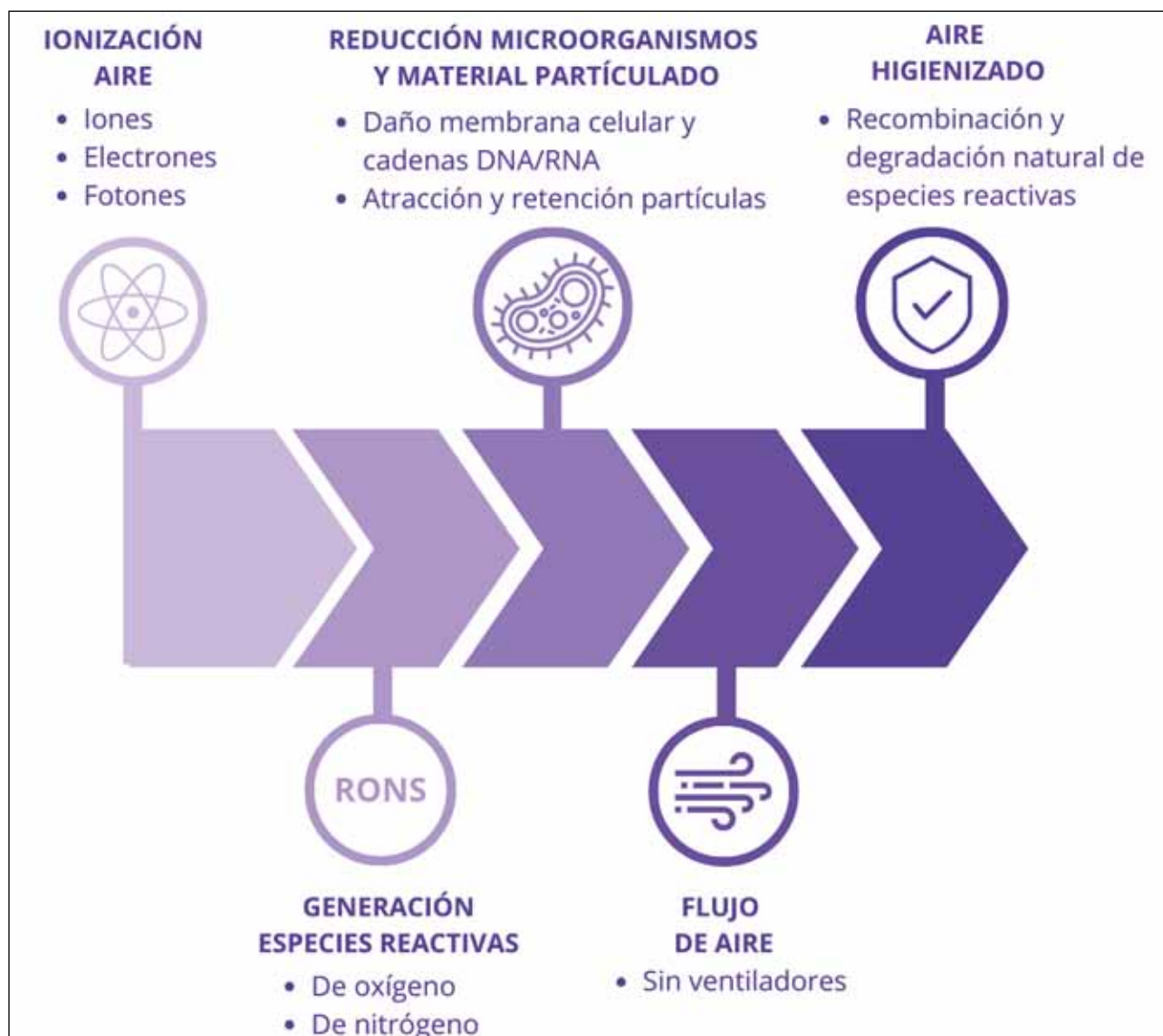
e impactan con partículas neutras del aire, produciendo el viento iónico.

El viento iónico es una tecnología basada en la ionización del aire, generando un flujo de partículas cargadas eléctricamente, compuesto por iones, electrones y fotones. Este proceso induce la formación de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (RONS), que producen un daño directo sobre la integridad de las membranas y el material genético de microorganismos viables.

Además, el campo eléctrico generado promueve la atracción y la posterior eliminación de material particulado. Esta dinámica permite una descontaminación continua y eficiente, así como libre de residuos químicos ^{[1], [2], [3]}.

La infografía representa de manera esquemática el mecanismo de acción del viento iónico en el control de la bioseguridad ambiental, detallando sus fases operativas clave y los procesos fisicoquímicos involucrados.

- **Ionización del aire:** Generación de iones, electrones y fotones como fase inicial del proceso.



• **Generación de especies reactivas:** Se producen principalmente especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (RONs), como ozono, óxidos de nitrógeno y peróxido de nitrógeno, así como radicales libres y multitud de compuestos ^[4].

• **Reducción de microorganismos y material particulado.** Atracción y retención de contaminantes mediante carga electrostática. Daño en la membrana celular, inducción de estrés oxidativo y ruptura de la cadena de DNA y RNA.

• **Flujo de aire sin ventiladores:** El propio viento iónico se encarga de mover el aire.

• **Aire higienizado:** El proceso completo permite la obtención de aire higienizado gracias a la recombinación de las especies reactivas y degradación de especies inestables en oxígeno molecular y agua.

Evaluación de la efectividad del viento iónico

El estudio se organizó en tres fases sucesivas con el objetivo de validar la efectividad del viento iónico en ambientes controlados y operacionales bajo condiciones específicas:

1. Ensayos en condiciones de laboratorio: Se caracterizó a escala laboratorio la eficacia de reducción de microorganismos y partículas al paso a través de un sistema de viento iónico.

2. Validación en condiciones controladas: La tecnología fue sometida a pruebas controladas en un entorno de laboratorio. Se llevó a cabo una evaluación cuantitativa de su eficacia para la reducción de la carga microbiológica y la eliminación de material particulado, considerando

diversas condiciones ambientales y distintos niveles de contaminación, con el objetivo de simular condiciones ambiente y condiciones estrés representativas de focos de infección.

3. Validación en entorno real: Se llevaron a cabo evaluaciones de la eficacia de mejora en entornos críticos sin alterar la operativa habitual, midiendo su impacto en la calidad del aire.

Resultados clave

1. Eliminación de material particulado

Las pruebas de validación de la reducción de material particulado se realizaron por Eurofins IPROMA-Control medio ambiental e higiene industrial, con acreditación ENAC. Estos ensayos demostraron que el viento iónico logra reducciones superiores al 99% en partículas de hasta 10 µm en ambientes con elevados niveles de contaminación forzada.

2. Inactivación de bacterias

La campaña de ensayos realizada en el grupo de investigación NEWTEC, adscrito al Instituto de Tecnología de los Alimentos, ICTAL de la Universidad de León, confirmó que el viento iónico es altamente eficaz frente a las bacterias *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, logrando reducciones de hasta un 99,99% en un solo pase de la corriente a través del sistema.

3. Inactivación de virus

La evaluación de la eficacia en la inactivación vírica se llevó a cabo en el Centro Nacional de Biotecnología, CNB-CSI, mediante la exposición a los coronavirus HCoV-229E y SARS-CoV-2, así como al bacteriófago MS2. El viento iónico mostró ser capaz de inactivar un 99,7% de aerosoles contaminados con SARS-CoV-2 con una potencia de 4W. Ensayos adicionales con aerosoles contaminados con el bacteriófago MS2 mostraron reducciones del 99,9% con potencias de 1,5W ^[5].

Seguridad y compatibilidad con entornos de trabajo

Se validó que el sistema de viento iónico no genera compuestos secundarios nocivos. Los ensayos realizados en Eurofins IPROMA confirmaron que las concentraciones de ozono generadas se mantienen por debajo de los límites permisibles establecidos por la normativa vigente. Esto garantiza el cumplimiento de las directrices fijadas por la Organización Mundial de la Salud ^[6] y la normativa española sobre "Límites de Exposición Profesional a Agentes Químicos" ^[7], asegurando que las emisiones del sistema cumplen con los estándares de calidad del aire ambiental y de salud ocupacional. Estos resultados validan la seguridad de la tecnología basada en el viento

iónico en entornos especializados, asegurando el cumplimiento con las normativas de protección de la salud y bioseguridad.

Conclusiones

Los estudios realizados han demostrado, con evidencia cuantificable, la eficacia del viento iónico en la eliminación de partículas y microorganismos viables en suspensión. La tecnología ha constatado una reducción significativa de la carga microbiológica sin generar subproductos químicos ni interferir con las condiciones críticas de estos procesos, manteniendo la integridad de los productos y la estabilidad de los ambientes controlados.

Del mismo modo, la validación en condiciones operacionales simuladas y en entornos reales, respalda su aplicabilidad como una estrategia avanzada de descontaminación de aire. Su integración en ambientes controlados y laboratorios de bioseguridad posiciona al viento iónico como una tecnología complementaria de alto rendimiento para fortalecer la bioseguridad ambiental y facilitar el cumplimiento de normativas GMP y de control microbiológico exigidas por las autoridades regulatorias.

Referencias

- [1] M. Cogollo De Cádiz, P. Martí Balsalobre, A. Díaz Lantada, *Energies* 2022, 15(15), 5443.
- [2] M. Cogollo, P. M. Balsalobre, A. Díaz Lantada, H. Puago, *Appl. Sci.* 2020, 10(3), 1010.
- [3] Jingguo Qu et al. "A review on recent advances and challenges of ionic wind produced by corona discharges with practical applications". In: *Journal of Physics D: Applied Physics* 55.15 (2021), p. 153002.
- [4] Neha Kaushik et al. "The inactivation and destruction of viruses by reactive oxygen species generated through physical and cold atmospheric plasma techniques: Current status and perspectives". In: *Journal of Advanced Research* 43 (2023), pp. 59–71.
- [5] Ruiz-Trujillo, S., Vega-Martínez, P., Esparza, I., Usera, F., Sánchez-Soriano, P., van Raaij, M. J., & Lantada, A. D. (2023). Electrohydrodynamic devices for ionic wind generation and airborne positive-strand RNA viruses inactivation by nonthermal atmospheric plasma. *Plasma Processes and Polymers*, 20(10), e2300046.
- [6] Organización Mundial de la Salud (OMS), O.M.S. (2021). Directrices mundiales sobre la calidad del aire. 2021. Ginebra: OMS.
- [7] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P. (2024). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2024. Madrid: INSST.