

FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL COLECTOR IIIT®

IIIT® transforma el aire que respiramos en un descubrimiento que podemos ver. El aire que nos rodea contiene numerosas partículas y procesos que normalmente no vemos. El proyecto IIIT® permite capturar estos procesos invisibles en un condensado que puede observarse. Gracias a ello, tanto los alumnos como el público pueden trabajar con una muestra real de aire y reflexionar sobre lo que ocurre en el entorno que nos rodea. Bc. Adriána Vroničová autora del concepto, la solución técnica y el proyecto IIIT®

Prólogo del capítulo «Lluvia negra» Algunos fenómenos de la atmósfera solo nos llaman la atención cuando aparecen de una forma extraordinariamente intensa o inusual. En esos momentos, de repente parecen algo excepcional o aislado. Sin embargo, en realidad muchos de estos procesos tienen lugar continuamente en la atmósfera. La única diferencia radica en su intensidad y en si somos o no capaces de percibirlos. La atmósfera es un entorno dinámico lleno de partículas, aerosoles, sustancias químicas y reacciones. El viento transporta polvo del terreno, las emisiones industriales se mezclan con el aire, las gotas de agua capturan partículas microscópicas y en el aire tienen lugar procesos tanto de condensación como de mezcla. La mayoría de estos fenómenos se desarrollan a una escala que una persona normalmente no percibe. Cuando se produce una situación específica en la atmósfera -por ejemplo, emisiones intensas, incendios, acontecimientos militares o una elevada concentración de aerosoles-, estos procesos pueden manifestarse de forma más pronunciada. Las precipitaciones pueden entonces transportar una cantidad visible de material y se producen fenómenos que describimos, por ejemplo, como «lluvia negra». Estas situaciones nos recuerdan algo importante: lo que percibimos como un fenómeno excepcional suele ser tan solo una versión particular de procesos que tienen lugar continuamente en la atmósfera. Precisamente por ello, desde el punto de vista científico, es importante estudiar de forma continuada sucesos similares. Permiten comprender mejor el transporte de partículas, la condensación y las interacciones entre los aerosoles y las gotas de agua. Estos mecanismos son objeto tanto de la literatura especializada como de la física atmosférica y las ciencias ambientales. El capítulo siguiente presenta ejemplos de situaciones documentadas en las que estos procesos se manifestaron de una forma más intensa, por ejemplo, como precipitaciones oscuras o contaminadas denominadas «lluvia negra».

Lluvia negra: formación y composición química

Introducción La denominada «lluvia negra» no es un tipo meteorológico independiente de precipitación. Se trata de una precipitación normal que, durante su formación o caída, captura grandes cantidades de aerosoles, hollín y otras partículas de la atmósfera. Este fenómeno se denomina en química atmosférica deposición húmeda (wet deposition), es decir, el proceso mediante el cual la precipitación elimina de la atmósfera la contaminación gaseosa y en forma de aerosoles.

Mecanismo de formación La formación de la lluvia negra está asociada a una alta concentración de partículas en la atmósfera. Durante grandes incendios, explosiones o emisiones industriales se liberan al aire grandes cantidades de hollín, polvo y otros componentes químicos. Las gotas de agua de las nubes se forman sobre pequeñas partículas que actúan como núcleos de condensación. Si estas partículas están compuestas por hollín o productos de combustión, las gotas de lluvia las capturan durante su crecimiento o caída y las transportan al suelo. Este proceso se denomina scavenging de aerosoles por la precipitación.

Composición química Según la Organización Mundial de la Salud (WHO), las partículas finas del aire pueden contener, por ejemplo, sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, black carbon (hollín), minerales, metales y agua.

La combustión de petróleo, carbón, gas, madera o residuos también produce hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH). Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), los PAH se forman durante la combustión incompleta de materiales orgánicos y suelen encontrarse en el hollín y en los productos de combustión. Durante incendios intensos o fugas industriales, el humo también puede contener óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y diversos hidrocarburos. Posteriormente, estas sustancias pueden adherirse a los aerosoles y ser eliminadas de la atmósfera por las precipitaciones. Caso actual: Irán Según el portal eslovaco iMeteo, tras los ataques contra depósitos de petróleo en Teherán se notificaron precipitaciones oscuras que contenían humo y diversos componentes. Al mismo tiempo, medios de comunicación internacionales informaron sobre grandes incendios en depósitos de petróleo que liberaron a la atmósfera una gran cantidad de humo tóxico. Sin embargo, es importante destacar que, sin un análisis de laboratorio de muestras concretas de agua de lluvia, no es posible determinar con precisión la composición química de cada precipitación. No obstante, su mecanismo de formación puede explicarse científicamente a partir de los procesos atmosféricos conocidos. Conclusión La lluvia negra se produce en situaciones en las que las precipitaciones capturan una gran cantidad de aerosoles y productos de combustión presentes en la atmósfera. Se trata de un proceso natural de deposición húmeda mediante el cual se eliminan de la atmósfera partículas y sustancias químicas. Entre los principales componentes de estas precipitaciones pueden encontrarse el hollín (black carbon), el polvo mineral, los sulfatos, los nitratos y los residuos orgánicos procedentes de la combustión de petróleo o madera. Lista de bibliografía utilizada ATSDR. 2015. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf> iMeteo.sk. 2026. Dážď, ktorý padá, je čierny. Po útokoch padajú v okolí hory a veľké množstvá zrážok. Disponible en: <https://www.imeteo.sk/spravy/dazd-ktory-pada-je-cierny-po-utokoch-padaju-v-okoli-velke-zrazky> TIME. 2026. Tehran Shrouded in Toxic Smoke After Israel Strikes Fuel Depots. Disponible en: <https://time.com/7539799/tehran-toxic-smoke-israel/> US EPA. 2025. Air-Surface Exchange Process Overview. United States Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/euga/air-surface-exchange-process-overview> WHO. 2024. Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-pollution](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-pollution)

Colector de emisiones IIIT®: explicación científica de los mecanismos de funcionamiento

Introducción El colector de emisiones IIIT® es un dispositivo diseñado para capturar el contenido del aire y las emisiones gaseosas en una fase líquida: el condensado. El condensado así producido permite continuar con la observación visual y el posterior análisis de las sustancias capturadas. En este documento, su funcionamiento se explica a partir de procesos de la química atmosférica y la física de aerosoles ampliamente conocidos. La descripción se basa en fenómenos documentados científicamente, como la condensación, la nucleación y la deposición de aerosoles. Procesos físicos básicos utilizados para capturar sustancias

El aire contiene una amplia gama de gases, vapores y partículas sólidas de distintos tamaños. Según la Organización Mundial de la Salud, las partículas finas PM pueden contener sulfatos, nitratos, amoníaco, polvo mineral, carbono orgánico, black carbon y oligoelementos metálicos. Cuando cambia la temperatura o la presión, algunas sustancias pueden pasar de la fase gaseosa a la líquida o sólida. Este proceso se denomina condensación. La condensación es uno de los mecanismos físicos básicos que intervienen en la formación de nubes, rocío o niebla. Si en una corriente de gas hay partículas o irregularidades microscópicas de la superficie, estas pueden actuar como núcleos de condensación. El vapor de agua u otras sustancias condensables pueden condensarse posteriormente sobre estos núcleos. Los aerosoles como núcleos de condensación

En la atmósfera existen pequeñas partículas denominadas aerosoles. Estas partículas pueden ser sólidas o líquidas y su tamaño puede oscilar entre varios nanómetros y varios micrómetros. Los aerosoles suelen actuar como núcleos de condensación para la formación de gotas. Según la NOAA, estas partículas se denominan cloud condensation nuclei (CCN), sobre los cuales puede condensarse el vapor de agua y formar gotas de agua. El mismo mecanismo también puede operar en la condensación de diversas sustancias orgánicas o inorgánicas procedentes de gases. Captura de sustancias mediante condensación y sobre superficies

Cuando los gases entran en contacto con una superficie fría, pueden condensarse vapores y capturarse determinadas sustancias volátiles. Este proceso es bien conocido, por ejemplo, en la formación de rocío o en los intercambiadores industriales de condensación. Según la US EPA, diversos compuestos atmosféricos pueden eliminarse de la atmósfera mediante deposición o condensación sobre superficies. Al enfriarse los gases pueden condensarse, por ejemplo:

- agua
- hidrocarburos orgánicos
- determinados ácidos u óxidos
- diversos compuestos orgánicos polares

A partir de procesos ampliamente conocidos de la química atmosférica, cabe esperar que la captura por condensación de una parte de los aerosoles pueda incluir también los siguientes tipos de sustancias: • vapor de agua • hidrocarburos orgánicos y sus formas oxidadas • hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) • hollín (black carbon) • partículas de polvo mineral • óxidos de nitrógeno y aerosoles asociados a ellos • oligoelementos metálicos adheridos a partículas. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos se forman principalmente durante la combustión incompleta de sustancias orgánicas como el petróleo, el carbón o la madera. Estos compuestos suelen encontrarse adheridos al hollín o a aerosoles y pueden transportarse por el aire. Formación del extracto líquido (condensado) Si los gases se enfrían o se trasladan a un entorno en el que se produce condensación, determinados componentes de la atmósfera o de las emisiones pueden incorporarse gradualmente a la fase líquida que se va formando. El condensado así producido puede contener gases disueltos, compuestos orgánicos y partículas microscópicas. Este condensado constituye posteriormente un extracto más concentrado de sustancias que originalmente estaban dispersas en el aire. Conclusión El funcionamiento del colector de emisiones IIIT® puede explicarse mediante procesos ampliamente conocidos de la física y la química atmosféricas. Entre los mecanismos más importantes se encuentran la condensación de vapores, la captura de aerosoles sobre superficies y la formación de núcleos de condensación. Estos procesos permiten transferir sustancias dispersas desde la fase gaseosa a un condensado líquido que posteriormente puede analizarse u observarse. Lista de bibliografía utilizada ATSDR. 2015. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf> EPA. 2025. Air-Surface Exchange Process Overview. United States Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/euga/air-surface-exchange-process-overview> NOAA. 2023. How Clouds Form - Condensation and Cloud Condensation Nuclei. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/how-clouds-form> WHO. 2024. Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-pollution](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-pollution)

