

# SISTEMAS BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO AMBIENTAL: ALTERNATIVAS DE CONTROL PARA CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Sandra Marcela Sánchez B., *Ing. Ambiental*  
*Joven Investigador Colciencias. Facultad de Ingeniería.*  
*Universidad de la Costa. C.U.C.*  
*ssanchez3@cuc.edu.co; sandrasanchz8@gmail.com*

Sergio Andrés Orduz T., *Microbiólogo Industrial*  
*Instructor, Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, SENA*  
*sorduz@sena.edu.co; sorduz@gmail.com*

**Resumen:** Las emisiones atmosféricas pueden generarse de diferentes maneras y repercuten en la salud de las personas; entre los contaminantes más importantes están: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, y dióxido de carbono, los cuales son monitoreados constantemente; sin embargo, los métodos de control dependen de las disponibilidades económicas de las empresas y de la viabilidad tecnológica del país. Un factor adicional es la falta de conocimientos en relación a las alternativas de tratamientos químicos o biológicos, este último vital por tratarse de alternativas “verdes” en manejo de contaminantes atmosféricos. El presente artículo da a conocer los conceptos básicos referentes a la funcionalidad de sistemas de infiltración de emisiones atmosféricas con contaminantes ambientales. Para ello se realizó una búsqueda de información bibliográfica con el fin de estructurar las ventajas, desventajas y aplicaciones de sistemas de biofiltración, con ello, se evidencia que la temperatura ( $30\pm 10$  °C), humedad relativa ( $\approx 40$  %), material filtrante y los microorganismos del sistema son fundamentales para la eficiencia del mismo, útiles además para diferentes contaminantes generados por variedad de industrias como: la minera, la petroquímica, los procesos de combustión de materiales plásticos, las papeleras y la siderúrgica. Se concluyó que los sistemas de tratamiento biológico ofrecen una amplia variedad de soluciones económicas y ecológicas para emisiones de gases contaminantes como NO<sub>x</sub> o SO<sub>x</sub>; estos sistemas buscan posicionarse en el país como la mejor alternativa para el tratamiento de emisiones atmosféricas, con ayuda de la investigación e implementación del tema.

**Palabras claves:** Biofiltración, tratamiento de gases, emisiones atmosféricas.

## BIOLOGICAL SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT: CONTROL ALTERNATIVES FOR AIR POLLUTANTS

**Abstract:** Atmospheric emissions can be generated in different ways that affect human health, among the most important pollutants that are continuously monitored concern sulfur oxides, nitrogen oxides, volatile organic compounds (VOCs) and carbon dioxide, however control methods depend on the economic resources company and technological viability of the country. An additional factor is the lack of knowledge regarding chemical or biological treatment options, being the latter important as a "green" alternative in relation to air pollutants management. This report aims to disseminate basic knowledge on the functionality of biofiltration systems for gas emissions with environmental contaminants. Therefore, literature search was performed in order to structure the advantages, disadvantages and applications of biofiltration systems. It was shown that the temperature ( $30 \pm 10$  °C), relative humidity ( $\approx 40$  %), filter material and microorganisms of these biofiltration systems are essential to their efficiency, thus being useful for different pollutants generated by a variety of industries mainly by the low water requirement for their operation, even though they have not been positioned commercially in Colombia could be an economical, eco-friendly and efficient tool for the treatment of atmospheric pollutants. It was concluded that biological treatment systems offer a wide variety of economical and ecological solutions for many greenhouse gas emissions and they seek to position themselves in the country with the help of research and implementation as one of the leading technologies for the treatment of atmospheric emissions.

**Key words:** *Biofiltration, gas treatment, atmospheric emission.*

## Introducción

La contaminación atmosférica según lo establecido en la normativa vigente para Colombia, es el fenómeno de acumulación o del incremento de la concentración de contaminantes en el aire que pueden afectar a la salud humana (MAVDT, 2010b). Los contaminantes se pueden clasificar según su origen y evolución; el primer grupo comprende la contaminación generada de manera natural (incendios forestales, erupciones volcánicas, tormentas, procesos biológicos) y/o de manera antrópica (fuentes industriales, procesos de combustión de vehículos, etc.), en el segundo grupo la contaminación se presenta en contaminantes primarios (procedentes

directamente de las fuentes de emisión) y los contaminantes secundarios (originados por interacción química entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera) (Manahan, 2007). Las sustancias contaminantes de la atmósfera son cuantiosas por lo cual su clasificación es ilimitada; sin embargo, existen grupos de contaminantes reconocidos a nivel mundial, principalmente los óxidos de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles.

Inicialmente los sistemas de tratamiento biológico de gases fueron desarrollados para eliminación

de olores en plantas de compostaje y de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, en los últimos 30 años el uso de técnicas biológicas para la eliminación de gases contaminantes procedentes de instalaciones industriales ha crecido exponencialmente, debido a su versatilidad y eficacia en el manejo de una variedad de contaminantes gaseosos que incluye compuestos aromáticos, alifáticos y alicíclicos, entre otros (Rene, Estefanía *et al.*, 2011). El principio de sistemas de tratamiento biológico de gases consiste en la utilización de un material orgánico o inorgánico, que sirve de soporte físico y, en algunos casos, como fuente de nutrientes para una población de microorganismos. El aire contaminado atraviesa el medio o lecho y se depura, por la actividad biológica, de esta manera, arroja subproductos inocuos y de fácil asimilación (agua y CO<sub>2</sub>) (Esteban Jiménez & Villegas, 2005). Estos sistemas se clasifican en biofiltros, filtros percoladores y biolavadores (Fazaelipoor, 2009); la biofiltración, cada vez más popular, es una tecnología "verde" que no utiliza productos químicos ni produce residuos potencialmente peligrosos para el medio ambiente (Hort, *et al.*, 2009); sin embargo, las industrias colombianas aún son esquivas al uso de esta tecnología, precisamente por falta de información en relación a los métodos de reducción de contaminantes atmosféricos. Este documento pretende dar a conocer al lector sobre los sistemas de tratamiento biológico de diferentes contaminantes atmosféricos, para así contextualizar y orientar sobre este modelo "verde" de tratamiento, proporcionando herramientas para cumplir con la normatividad ambiental de las industrias que generen emisiones atmosféricas.

## Metodología

La información sobre sistemas de biofiltración de emisiones atmosféricas se realizó en varias fuentes documentales como bases de datos académicas de libre acceso, entre estas Google scholar; también,

con el fin de establecer criterios legales se consultaron normas nacionales e internacionales que pudiesen aplicar para Colombia, además fueron consultados libros relacionados con la ingeniería ambiental. La búsqueda bibliográfica se realizó en dos periodos, el primero en los meses de septiembre-diciembre de 2012 y el segundo entre mayo-julio de 2014, donde se utilizaron criterios de búsqueda con palabras claves como: "sistemas biológicos de filtración", "contaminación atmosférica", "calidad de aire", "fuentes fijas y móviles, biofiltración", "gas waste", "bioltration" usando como rango de fechas el año 2002 al 2014 (los registros obtenidos ascendieron a los 500 resultados, aproximadamente).

Para seleccionar los documentos más relevantes para el desarrollo de la investigación, se utilizó un filtro de información correspondiente a técnicas de tratamiento de gases impuestas por la normatividad nacional, casos exitosos de sistemas de tratamiento biológico para emisiones atmosféricas a nivel mundial y las diferentes características de las técnicas de filtración biológica; la selección se realizó con el fin de comparar los sistemas tradicionales para la filtración de gases contaminantes y los sistemas biológicos de filtración, además de determinar el potencial de estos sistemas en Colombia, su aplicación en la actualidad y la utilización correcta de estos.

## Resultados

### ¿Qué es la contaminación atmosférica?, conceptos y características

Las emisiones son todos aquellos materiales, sustancias o formas de energía que se descargan al ambiente como resultado de una actividad, bien sea de origen natural o antrópico, y que tienen un efecto negativo en la salud humana (Chaparro *et al.*, 2001), generando la contaminación atmosférica, fenómeno que se asocia principalmente a las actividades en los centros urbanos y/o de transformación de importancia.

La contaminación atmosférica representa uno de los problemas más generalizados y graves que afrontan las ciudades y las zonas rurales de Colombia (Sánchez-Triana, Ahmed; & Awe, 2006), según el IDEAM (2012), el contaminante de mayor preocupación dadas sus altas concentraciones y su comprobada afectación a la salud de la población es el material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  (PM10), por lo cual es el contaminante más monitoreado en Colombia, seguido de gases como los derivados del azufre (SO<sub>x</sub>), derivados del nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y el ozono (O<sub>3</sub>), entre otros (Tabla 1).

## Sistemas de tratamiento de contaminantes atmosféricos promovidos en Colombia

En Colombia el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas indica los principales sistemas de control de

emisiones atmosféricas, tales como, Ciclones, Precipitadores Electrostáticos, Quemador de gases, Sistemas de captura y destrucción de sustancias contaminantes, Sistemas de captura y recuperación de sustancias contaminantes, Incinerador para destrucción de sustancias contaminantes, Lavador húmedo, Lavador Venturi, Sistemas de Oxidación Térmica, Sistemas de Oxidación Catalítica, Adsorción por Carbón Activado, Absorción y Condensación (MAVDT, 2010a).

Sin embargo estos sistemas no son absolutos a la hora de tomar decisiones para su implementación, el Protocolo hace la salvedad de implementar nuevos sistemas de control de contaminación siempre y cuando reduzcan la concentración de los contaminantes que son emitidos a la atmósfera, además es necesario integrar sistemas biológicos con fisicoquímicos, que permitan complementar el proceso de reducción de contaminantes atmosféricos. Por lo anterior es necesario,

**Tabla 1. Descripción de los principales contaminantes atmosféricos y sus principales características según Resolución No. 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Tomado de (MAVDT, 2010b)**

| CONTAMINANTE                                     | CARACTERÍSTICAS  |
|--|--|
| Material Particulado Menor a 10 Micras (PM10)    | Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.  |
| SO <sub>2</sub> (Dióxido de Azufre)              | Gas incoloro, no inflamable que posee un fuerte olor en altas concentraciones.   |
| Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )          | Gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.                         |
| O <sub>3</sub> (Ozono)                           | Gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar. |
| PST (Partículas Suspendidas Totales)             | Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.                                |
| PM 2.5 (Material Particulado Menor a 2,5 Micras) | Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.   |

establecer claramente las características de las emisiones para seleccionar la mezcla de tratamientos y establecer modelos altamente eficientes.

## Sistemas biológicos de tratamiento de gases

Los tratamientos biológicos son otra posible solución para el tratamiento de gases, donde la depuración

la llevan a cabo una serie de microorganismos (Castells & Oliver, 2012) que tienen la capacidad de metabolizar los agentes contaminantes de tal manera que los transformen en compuestos menos tóxicos para la salud humana. Existen diferentes tecnologías biológicas para el tratamiento de gases contaminantes, los cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los tres principales sistemas biológicos de tratamiento para emisiones atmosféricas. Tomado de Morgan Sagastume, Revah Moiseev, & Noyola Robles, (2000).

| TIPO DE SISTEMA       | BIOFILTRO   | BIOLAVADOR  | BIOFILTRO PERCOLADOR  |
|-----------------------|---|---|---|
| Composición del medio | Microorganismos inmovilizados en soportes naturales con fuente de nutrientes.   | Empaque inerte.   | Soporte inerte con biopelícula en su superficie.  |
| Circulación de agua   | No hay circulación de agua.   | Agua en circulación constante.  | Circulación de agua continua.   |
| Descripción           | Absorción del contaminante en la biopelícula soportada en un medio natural que provee nutrientes a los microorganismos. Se usa un solo reactor. | En una torre de aspersión se disuelven los contaminantes del gas que después son degradados biológicamente en un sistema de lodos activados.  | El gas se disuelve en la película de agua para entrar en contacto con los microorganismos. La absorción y la degradación suceden en un solo reactor.  |
| Área de aplicación    | Compuestos con concentraciones menores a 1 mg/L con coeficientes de Henry menores a 10.   | Compuestos con concentraciones menores a 5 mg/L y coeficientes de Henry menores a 0,01.   | Compuestos concentraciones menores a 0,5 mg/L con coeficiente de Henry menores a 1.   |
| Ventajas              | Alta superficie de contacto gas-líquido. Fácil arranque y operación. Bajos costos de inversión y operación. Soporta periodos sin alimentación.  | Mejor control de la reacción. Posibilidad de evitar acumulación de subproductos. Equipos compactos. Baja caída de presión.  | Comparables a las del biolavador.   |
| Desventajas           | Poco control sobre los fenómenos de reacción. Baja adaptación a altas fluctuaciones de flujo de gas. Mayor requerimiento de área.               | Baja superficie de contacto gas-líquido. No soporta periodos sin alimentación. Genera lodo residual. Arranque complejo. Necesidad de aireación extra. Altos costos de inversión operación y mantenimiento. Necesidad de suministrar nutrientes. | Baja superficie de contacto gas-líquido. Generación de lodos. No resiste periodos sin alimentación. Necesidad de suministrar nutrientes. Arranque complejo. Altos costos de inversión, operación y mantenimiento. |

## Consideraciones para el establecimiento de un sistema de biofiltración

Para implementar un sistema de biofiltración de gases es necesario incluir ciertos factores para su correcto funcionamiento. A continuación se describen los factores:

### Temperatura

Es indispensable usar microorganismos acordes con las temperaturas de funcionamiento, bien sea termófilos o mesófilos, pero la regulación de este factor es indispensable para el adecuado metabolismo de los agentes contaminantes. Una corriente de aire caliente puede reducir la concentración de microorganismos que trabajan en el biofiltro, mientras que una de aire frío puede reducir la actividad de los microorganismos al punto de que dejen de consumir contaminantes y pasen a un estado de animación suspendida; por ello se recomienda que la temperatura óptima de operación de un biofiltro oscile entre 20 y 40 °C (EPA, 2004).

### Humedad

Generalmente el aire de entrada al sistema debe tener una humedad relativa superior al 95%, de esto depende la supervivencia de los microorganismos. Para asegurar un porcentaje de humedad adecuado se humidifica el aire de entrada al biofiltro en forma esporádica, para así contrarrestar el calor generado por la reacción. Esto a su vez facilita la inmovilización por adsorción de los contaminantes suspendidos en la columna de gas (Altamar, 2007).

### Acidez

La mayoría de los biorreactores funcionan mejor cuando el pH del lecho es cercano a siete o neutro. Sin embargo, la variedad de microorganismos permite variar el pH de la columna de gas, por tanto pueden ser usados microorganismos acidófilos para pH ácidos o alcalófilos para pH sobre 9 (EPA, 2004).

### Material filtrante

Los lechos filtrantes más utilizados son el suelo y compost obtenido a partir de lodos activados, madera y otros materiales de origen orgánico. Un material filtrante con alto contenido orgánico es recomendable por poseer una alta concentración de nutrientes y evitar la adición de nutrientes al sistema, lo que facilita la degradación de los compuestos tóxicos. Sin embargo se debe tener especial cuidado con la selección del material, ya que no debe tener el compuesto de interés a degradar; es decir, si el material filtrante tiene alto contenido de azufre, los SOx no serán degradados a la necesidad del sistema, reduciendo por tanto la eficiencia del mismo (Cabrera *et al.*, 2011).

### Microorganismos

Los microorganismos pueden generarse naturalmente o en laboratorio, sin embargo estos últimos pueden ser más susceptibles a cambios en el medio ambiente, frente a los generados de manera natural. La selección de los microorganismos apropiados dependerá del material filtrante, los contaminantes a tratar y las condiciones del lugar donde será implementado el sistema (Yang *et al.*, 2014).

## Sistemas biológicos de gases en Colombia

Diferentes organizaciones en Colombia han desarrollado investigaciones respecto al tema de biofiltración de gases contaminantes como el estireno (E Jiménez & Villegas, 2013), Compuestos Orgánicos Volátiles (Consuegra, 2007), ácido sulfhídrico (Romero Hernandez, Rodríguez Susa, Andrés, & Dumont, 2013), en algunos casos se han desarrollado con éxito estos sistemas, por ejemplo: la utilización de diferentes materiales de soporte para la biofiltración de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) (Chávez, Mora, Cabra, Revah, & Gnecco, 2004); los resultados de remoción hasta de un 99 % de H<sub>2</sub>S dentro

de una planta de tratamiento de aguas residuales (Portilla & Sáez, 2007); y los sistemas que degradan azufre en las zonas aledañas al río Bogotá (Sáenz, 2011). Sin embargo, la temática aún no está posicionada en el país, posiblemente por falta de información del sector industrial en el asunto y por la resistencia al cambio de los sistemas tradicionales.

## Conclusión

Los sistemas biológicos de filtración de gases son una nueva tecnología desarrollada a nivel mundial, que ha generado buenos resultados en las experiencias realizadas. Sin embargo, al momento de tomar decisiones para la implantación de estos, se deben tener en cuenta algunos factores como temperatura, humedad, acidez, microorganismos y material filtrante, lo que permitirá el éxito del sistema. En Colombia la excesiva generación de gases contaminantes ha llevado a la investigación e implementación de nuevas tecnologías más amigables con el medio ambiente, pero aún falta mayor compromiso por parte de la industria al momento de adoptar estos nuevos sistemas para generar un posicionamiento importante en el país.

## Bibliografía

- Altamar, A. (2007). "Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles : dimensionamiento de un sistema de biofiltración de gases". *AVANCES Investigación En Ingeniería*, (6), 116–123.
- Cabrera, G.; Ramírez, M.; & Cantero, D. (2011). *Comprehensive Biotechnology. Comprehensive Biotechnology* (pp. 303–318). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-088504-9.00408-6
- Castells, X. E.; & Oliver, L. C. (2012). *Tratamiento y acondicionamiento de gases: Tratamiento y valorización energética de residuos* (p. 111). Ediciones Díaz de Santos.
- Chaparro, L.; Cuervo, M.; Gómez, J.; & Toro, M. (2001). "Emisiones al ambiente en Colombia". En: *El Medio Ambiente en Colombia* (pp. 531–543).
- Chávez, C. H.; Mora, Z. A.; Cebra, J. A.; Revah, S.; & Gneco, G. (2004). "Biofiltración de Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), utilizando Bagazo de Caña de Azúcar y Piedra Pómez como Material de Soporte 1". *Ingeniería Y Competitividad*, 5(2), 7–15.
- Consuegra, A. A. (2007). *Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles : dimensionamiento de un sistema de biofiltración de gases*, (6), 116–123.
- EPA (2004). *Uso de biorreactores para controlar la contaminación del aire. EPA United States Environmental Protection Agency* (p. 38). U.S. Environmental Protection Agency.
- Fazaelipoor, M. H. (2009). "Analysis of a dual liquid phase biofilter for the removal of hydrophobic organic compounds from airstreams". *Chemical Engineering Journal*, 147(2-3), 110–116. doi:10.1016/j.cej.2008.06.025
- Hort, C.; Gracy, S.; Platel, V.; & Moynault, L. (2009). "Evaluation of sewage sludge and yard waste compost as a biofilter media for the removal of ammonia and volatile organic sulfur compounds (VOSCs)". *Chemical Engineering Journal*, 152(1), 44–53. doi:10.1016/j.cej.2009.03.026
- IDEAM (2012). *Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010* (p. 311). Bogotá, D. C.
- Jiménez, E.; & Villegas, A. (2005). "Diseño de un sistema de biofiltración para la remoción de estireno". *Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)*, (3), 9–20.
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. (M. del C. Durán Domínguez de Bazúa, Ed.) (Reverte., p. 760). México, D.F.: Reverte.

- MAVDT (2010a). *Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas*.
- MAVDT. Resolución Número 610. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Bogotá D.C.
- Morgan Sagastume, J. M., Revah Moiseev, S., & Noyola Robles, A. (2000). *Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos* (pp. 1–12). Universitaria, Coyoacan, México D.F.
- Portilla, E.; & Sáez, R. T. (2007). "Hydrogen sulphide removal by a biofiltration system in the waste-water treatment plant of the city of Bucaramanga in Colombia". *Journal of Biotechnology*, 131(2), S158–S159. doi:10.1016/j.jbiotec.2007.07.880
- Rene, E. R.; Estefanía López, M.; Veiga, M. C.; & Kennes, C. (2011). "Neural network models for biological waste-gas treatment systems". *New Biotechnology*, 29(1), 56–73. doi:10.1016/j.nbt.2011.07.001
- Romero Hernandez, A. C.; Rodríguez Susa, M. S.; Andrés, Y.; & Dumont, E. (2013). "Steady- and transient-state H<sub>2</sub>S biofiltration using expanded schist as packing material". *New Biotechnology*, 30(2), 210–8. doi:10.1016/j.nbt.2012.07.003
- Sáenz, H. (2011). "Un sistema que utiliza microorganismos para degradar el azufre, principal contaminante del ambiente en las zonas aledañas al río Bogotá, está reduciendo las concentraciones de gas sulfuro de hidrógeno, altamente corrosivo y perjudicial para la salud". *Microorganismos Limpian Aire Del Río Bogotá*. Bogotá D.C.
- Sánchez-Triana, E.; Ahmed, K.; & Awe, Y. (2006). "Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia". *Banco Mundial*, 522.
- Yang, L.; Kent, A. D.; Wang, X.; Funk, T. L.; Gates, R. S.; & Zhang, Y. (2014). "Moisture effects on gas-phase biofilter ammonia removal efficiency, nitrous oxide generation, and microbial communities". *Journal of Hazardous Materials*, 271, 292–301. doi:10.1016/j.jhazmat.2014.01.058