

## Métodos de reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera

---

*Methods of Reducing Pollutant  
Emissions to the Atmosphere*

**LAURA MARCELA CARDOZO S.**

Ingeniera Geóloga  
Investigadora SENNOVA  
Grupo de investigación GICEMIN  
Centro Minero, Regional Boyacá  
lcardozos@sena.edu.co

**LUIS ALFREDO LOZANO R.**

Ingeniero Metalúrgico  
Instructor Centro Minero, Regional Boyacá  
Investigador SENNOVA  
Grupo de investigación GICEMIN  
Centro Minero, Regional Boyacá  
llozanor@sena.edu.co

**LUIS ALBERTO CURTIDOR G.**

Ingeniero Metalúrgico  
Instructor Centro Minero  
Regional Boyacá y Antioquia  
Investigador SENNOVA  
Grupo de investigación GICEMIN  
Centro Minero, Regional Boyacá  
lcurtidor@sena.edu.co

**Fecha de recepción:** 4 de julio de 2017

**Fecha de evaluación:** 12 de agosto de 2017

**Fecha de aceptación:** 22 de agosto de 2017





# Métodos de reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera

## *Resumen*

La contaminación atmosférica es una mezcla de partículas sólidas y gaseosas presentes en el aire que afectan la composición de la atmósfera. Controlar esta contaminación generada por fuentes fijas o móviles y sus efectos, pueden inducir un resultado en la salud de los seres vivos. Esto ha llevado a que las autoridades competentes tomen medidas estrictas en cuanto a la normatividad que se encargan hoy por hoy de controlar emisiones contaminantes y que no provoquen el deterioro significativo de la calidad de vida de la población.

El interés del texto es dar a conocer información ya existente en cuanto a la contaminación atmosférica, sus efectos y consecuencias que provocan e inciden, algunos métodos tecnológicos de reducción de emisiones atmosféricas. El documento se realizó sobre base de revisión de información secundaria.

*Palabras clave:* contaminación, material particulado, gases, reducción.

## *Abstract*

The atmospheric pollution is a mixture of solid and gaseous particles Present in the air which affect the composition of

the atmosphere. as chronic diseases, and will also have an effect on the deterioration The environment. This has led to the competent authorities taking strict measures regarding the regulations that are in charge today to control emissions and do not cause the significant deterioration of the quality of life of the population.

The interest of the text to inform existing information on air pollution, its effects and consequences that cause and some technological methods of reducing atmospheric emissions. The document was made on the basis of secondary information review.

*Keywords:* Pollution, Particulate Matter, Gases, Reduction.

## **Introducción**

La quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), es una de las principales causas de contaminación en la atmósfera. En los sectores industriales se producen estas quemaduras de materias primas y también en el transporte de carreteras crean una enorme cantidad de sustancias químicas que se liberan diariamente.

El interés de este artículo es dar un reporte de la problemática planteada, desde la historia, cuáles son los agentes contaminantes más peligrosos para los seres vivos, hasta la metodología que se ha hecho para la reducción de gases emitidos por empresas de la industria (AFP, 2016).

## Historia

En 1760 y 1800, surge la Revolución Industrial en Inglaterra y con ella la contaminación industrial con diseños de procesos de producción de elementos industriales los cuales no son amables con la naturaleza. Al cabo de los años, la contaminación industrial se convirtió en un asunto incontrolable debido al incremento de fábricas industriales. La causa principal de la contaminación industrial es la quema a gran escala de combustibles fósiles, más el agua residual contaminada que a la vez afecta la tierra, los ríos y las lagunas (Liñan, 2015).

La contaminación se convirtió en un asunto de gran importancia tras la Segunda Guerra Mundial, posterior a que fueran evidentes las consecuencias, cuando se manifiesta la lluvia radioactiva ocasionada por las guerras y ensayos nucleares. En 1952, Londres presenció la peor catástrofe de impacto ambiental de la historia llamada la "Gran Niebla", la cual fue causada por el crecimiento incontrolable de combustión de las chimeneas de carbón; entre viviendas y fábricas, se estima que afectó la vida de alrededor de 12.000 personas y dejó 100.000 enfermos (Lucero, 2014). Este trágico evento motivó la creación de una de las más importantes leyes modernas en 1956 sobre el medio ambiente, la ley de aire limpio.

En 1972 en Estocolmo, la Primera Conferencia sobre el Ambiente Humano de la Organización de Naciones Unidas, creó la legislación para la limitación de emisiones contaminantes, así como la propuesta de nuevas tecnologías y políticas como solución a la problemática, la asamblea general de dicha conferencia, designó el 5 de junio como el Día Mundial del Medio Ambiente.

## Influencia de la contaminación en la salud

La contaminación del aire es uno de los factores más relevantes para la salud. Los contaminantes del aire presentes en las grandes ciudades han demostrado ser un riesgo mayor para sufrir por enfermedades cardiovasculares, respiratorias, cáncer en el pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociado con la presencia de niveles de contaminantes que excede las normas de calidad del aire exterior (POPE I., 1995). Se estima un 94% de mortandad a causa de enfermedades no permisibles, según la ONU (AFP, 2016).

La acumulación del NO<sub>2</sub> en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células polimorfonucleares, macrógrafos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica (Ponciano & Rivero, 1996).

## Marco teórico

### Emisiones en la atmósfera

En la Tabla 1 se describen algunos gases contaminantes con sus diferentes características.

### Tecnologías de control para partículas

#### *Filtros de mangas*

Este método es aplicado en la separación sólido-gas, para la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido. Este tipo de colector de polvo se utiliza cuando se requiere una alta eficiencia de filtración, para eliminar las partículas cuyo tamaño oscila entre

**Tabla 1.** Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes.**Fuente:** (Ballester, 2005). (Ballester Díaz, 2003).

| CARACTERÍSTICAS DE CONTAMINANTES QUÍMICOS Y SUS FUENTES   |                       |                           |                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Contaminante                                              | Formación             | Estado físico             | Fuentes                                                                         |
| Partículas en suspensión<br>PM <sub>10</sub> Humos negros | Primaria y secundaria | Sólido, líquido           | Vehículos, procesos industriales, humo de tabaco                                |
| Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )                      | Primaria              | Gas                       | Procesos industriales, vehículos                                                |
| Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )                   | Primaria y secundaria | Gas                       | Vehículos, estufas y cocinas de gas                                             |
| Monóxido de Carbono (CO)                                  | Primaria              | Gas                       | Vehículos, combustibles en interiores, humo de tabaco                           |
| Compuestos orgánicos volátiles (COV <sub>s</sub> )        | Primaria y secundaria | Gas                       | Vehículos, industria, humo de tabaco, combustiones en interiores                |
| Plomo (Pb)                                                | Primaria              | Sólido (partículas finas) | Vehículos, industria                                                            |
| Ozono (O <sub>3</sub> )                                   | Secundaria            | Gas                       | Vehículos (secundarios a foto-oxidación de NO <sub>x</sub> y COV <sub>s</sub> ) |

submicrónico, a varios cientos de micras de diámetro con una eficiencia de 99,9% (Saenz, 2007-2008) para partículas mayores a 0,5 µm y resiste una temperatura que oscila hasta 300 °C. Generalmente las mangas están dispuestas de manera vertical, el aire/gas cargado de sólidos es forzado a entrar por el textil, sobre él se forma una capa de polvo que separa las partículas sólidas del aire/gas (ICT FILTRACIÓN, s.f.).

### *Separadores con ayuda mecánica*

Estos separadores hacen parte del grupo llamado prelimpiadores de controles de la contaminación del aire, dicho grupo se encarga de reducir la carga de Materia Particulada (MP). A estos separadores también se les conoce como separadores mecánicos centrífugos, colectores centrífugos, separadores dinámicos secos, *rotoclones* y *precipitadores dinámicos*.

Su funcionamiento de separación se basa en la inercia. Se le aplica una aceleración mecánica al gas

para que la separación de las partículas por inercia aumente. Un diseño común es un ventilador de aspas radiales, que imparte mecánicamente una fuerza centrífuga a las partículas de la corriente del gas, en el cual genera la separación (Corbit, 1999).

La eficacia es similar a la de un ciclón con alta caída de presión. Para el control de partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm (PM<sub>10</sub>) se pueden lograr eficacias de control cercanas al 30% (Perry & Green, 1984).

### *Cámara de sedimentación*

Estos equipos son cámaras en forma de paralelepípedo o cilíndricas de grandes dimensiones en las que la velocidad de la corriente gaseosa se reduce para que las partículas que están en suspensión tengan un tiempo suficiente para depositarse en el fondo de la cámara en forma de tolva, desde donde son extraídas al exterior a través de un sistema estanco

como puede ser una válvula rotativa o de la doble compuerta. Este emplea la fuerza de gravedad para remover partículas sólidas (Saenz, 2007-2008).

El flujo de gas ingresa a una cámara donde disminuye la velocidad del gas y al bajar la velocidad no produce abrasión. Esta velocidad se denomina velocidad de caída libre o terminal. Las partículas más grandes caen del flujo de gas en una tolva. Debido a que las cámaras de sedimentación son efectivas solo para remoción de partículas más grandes, usualmente se usan junto con dispositivos más eficientes, de control. Su eficiencia se limita a partículas con diámetros superiores a 50  $\mu\text{m}$ , aproximadamente, si la densidad del material es razonablemente alta, a partículas de diámetro superior a 10  $\mu\text{m}$  y su eficiencia varía normalmente al 10% (Escala, Ríos, & Trillo, 2016).

### Ciclones

Los ciclones, método efectivo para la captura de material particulado (MP) principalmente de diámetro aerodinámico mayor a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) (Saenz, 2007-2008), sin embargo existen ciclones de alta eficiencia, diseñados para ser efectivos con MP de diámetro aerodinámico menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  o 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$  y  $\text{MP}_{2.5}$ ). Los ciclones pueden ser diseñados para altas temperaturas que ascienden a los 1.000 °F (540 °C) (EPA, 1998) y presiones de operación.

El funcionamiento del ciclón consiste en que el gas ingresa en la cámara superior y baja en espirales, son forzados a seguir un movimiento circular que ejerce una fuerza centrífuga sobre las partículas y las dirige a las paredes internas del ciclón (EPA, 1998). En el fondo del ciclón se invierte la dirección del gas y sube a través del tubo central en espirales y migrando el gas por la tapa del ciclón. Estas son recolectadas en una tolva ya que las paredes del ciclón son delgadas en la parte inferior del dispositivo. La eficiencia aumenta en la medida que aumenta el flujo de aire de ciclón, es decir, con más flujo del ciclón es

más eficiente o por lo contrario la eficiencia del ciclón disminuye al tener poco flujo de aire.

En la parte del diseño se fundamenta en familias de ciclones (ver Tabla 2) que se definen por la eficiencia de reducción de material particulado MP (Echeverri Londoño, 2006).

**Tabla 2.** Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. **Fuente:** (Echeverri Londoño, 2006).

| FAMILIA DE CICLONES | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |         |         |
|---------------------|----------------------------|---------|---------|
|                     | PST                        | PM10    | PM2.5   |
| Convencionales      | 70 - 90                    | 30 - 90 | 0 - 40  |
| Alta eficiencia     | 80 - 99                    | 60 - 95 | 20 - 70 |
| Alta capacidad      | 80 - 99                    | 10 - 40 | 0 - 10  |

### Precipitador electrostático

Los precipitadores electrostáticos son equipos que presentan una elevada eficiencia de captación para todo espectro de tamaño de partículas de material particulado (EPA, 1999). Sin embargo, presentan una gran sensibilidad a variables eléctricas, como son el voltaje y la frecuencia de suministro de electricidad. Este método captura partículas sólidas en un flujo de gas por medio de electricidad. Se carga de electricidad a las partículas para luego atraerlas a placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador (ICT FILTRACIÓN, s.f.).

Se hacen pasar los gases por una cámara de acero dispuesta verticalmente, paralela al flujo de los gases, creando dentro una serie de pasillos. En cada pasillo poseen los electrodos de descarga de emisiones en forma de alambre paralelamente situados a la estructura.

Estos precipitadores son empleados para el control de partículas de diámetros superiores a 2.5  $\mu\text{m}$ . Su eficiencia está en un rango de 90 a 99% (EPA,

1999). Este factor se ve afectado por el tamaño del precipitador, su dimensión y duración del proceso, si la partícula permanece más tiempo en el precipitador hay más probabilidad de ser atrapada.

## Tecnologías de control de gases y vapores

### *Convertidor catalítico*

Un catalizador se puede definir como una sustancia que acelera la velocidad de una transformación y/o una reacción química. La catálisis es el equilibrio logrado en presencia de un catalizador.

Un convertidor catalítico es un dispositivo que forma parte del sistema de control de emisiones, este método es utilizado en los automóviles como reductores de elementos nocivos de los gases de escape, en los procesos industriales son aplicados los procesos químicos que se utilicen catalizadores de manera que se aumente la velocidad de las reacciones necesarias y se logran mayores velocidades en el proceso industrial.

Un convertidor catalítico, hace referencia a un reactor metálico y que en su interior contiene el catalizador en el cual dicho reactor está instalado en el tubo de escape transformando las emisiones nocivas en otras inofensivas para la salud. En cuanto al diseño, existen dos tipos principales de estructuras, alveolar y de cuentas cerámicas. Los catalizadores más empleados en este método son metales preciosos como son platino, paladio y rodio.

En centrales térmicas y en plantas de producción de ácido nítrico para la eliminación de  $\text{NO}_x$ , está el proceso de la reducción catalítica selectiva (RCS) (Rodríguez, 2008), y se hace en presencia de un catalizador heterogéneo con agentes reductores ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{COH}_4$  y  $\text{NH}_3$ ). El sistema trabaja inyectando vapor de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en los gases de combustión, los cuales después pasan por un material catalizador. La reacción química resultante reduce los  $\text{NO}_x$  en agua, nitrógeno y sustancias inofensivas. Este método es el

de mayor desarrollo industrial para la eliminación de  $\text{NO}_x$  en fuentes fijas (90% por la industria química), también se aplica en la incineración de residuos.

- Catalizador de reducción (primera etapa).
- Catalizador de oxidación (segunda etapa).

### *Lavadores de gases*

Estos lavadores de gases son empleados en la industria para la eliminación de polvos, nieblas, vapores y para la reducción de gases tóxicos.

Las moléculas contaminantes de aire son separadas del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido lavador, puede ser agua, una solución alcalina o una solución alcalina con hipoclorito, esto en función al contaminante que se desea eliminar. Generalmente, los contaminantes presentes en los gases son susceptibles a ser oxidados o absorbidos en un medio ácido o en uno alcalino, así, las especies derivadas del nitrógeno pueden ser absorbidas en un medio ácido, mientras que las especies derivadas del azufre son sensibles a la absorción en un medio alcalino u oxidante. En algunos casos, los contaminantes son muy solubles en agua, por lo que no se precisa ningún reactivo químico.

Tipos de lavadores:

### **Lavadores de gases tipo "Venturi"**

Los lavadores "Venturi" se utilizan para limpiar gases de combustión procedentes de la incineración de residuos y procesos en los cuales se tratan o reciclan suspensiones de alto contenido de sólidos. *Lavadores para gases calientes de combustión.* Mediante inyección, los gases contaminantes se enfrían, por medio de unas tuberías del fluido de refrigeración, ya frío, los elementos nocivos que se encuentran en el gas son absorbidos por el disolvente alcalino que es utilizado como fluido de lavado arrastrando cenizas de mayor tamaño. Por un separador centrífugo se aísla el gas y la fase líquida que está ubicado en la parte

inferior del lavador. Luego circula contra la corriente por una columna de relleno y finaliza con un separador de gotas que evita el posible arrastre de gotas de fluido de lavado con el efluente gaseoso limpio.

### **Lavadores tipo "Jet"**

Los lavadores tipo "Jet" están diseñados para lavado de gases de escape generados en procesos químicos. Es diseñado para mezclas de gases explosivos. Con este tipo de lavador el tratamiento de limpieza de gases se desarrolla bajo vía húmeda, no provocan pérdidas de carga como en otro tipo de lavadores por el contrario utilizan el principio de eyección para succionar el fluido de aspiración no siendo necesario, en muchas, ocasiones la utilización de equipos mecánicos como ventiladores para el transporte de gases hasta el lavador.

Este tipo de lavador es capaz de procesar caudales de gases contaminados desde 0.05 m<sup>3</sup>/h hasta 100.000 m<sup>3</sup>/h aproximadamente.

### **Filtros HEPA - Filtros ULPA**

Filtros HEPA (High Efficiency Particle Air) Filtros de Aire de Alta Eficiencia para Partículas. Filtros ULPA (Ultra Low Penetration Air) Filtros de Aire de Ultra Baja Penetración, estos son filtros de aire diseñados para atrapar una gran mayoría de contaminantes de partículas muy pequeñas de una corriente de aire.

Los filtros de aire están diseñados para detener el paso de contaminantes muy pequeños que en circunstancias normales pasarían por entre las fibras de filtro. Los filtros HEPA y ULPA son similares, pero tienen varias diferencias que se explican a continuación: la primera diferencia está en términos de eficiencia y en definición, los filtros HEPA tienen la capacidad de eliminar partículas de 0,3 µm de diámetro y la eficiencia es de 99,97%, (Heumann, 1997) en los filtros HEPA cuando están en funcionamiento la caída de presión es mínima y flujo de aire máximo. En los filtros ULPA la eficiencia es aún más alta del 99.9995% eliminando contaminantes de 0,12 µm de diámetro de partículas (Heumann, 1997).

### ***Torres de aspersión***

La torre de aspersión hace parte de un grupo de controles de contaminación del aire que se refiere colectivamente como depuradores húmedos constituidos por recipientes vacíos en forma rectangular o cilíndrica. La corriente de aire está cargada de material particulado donde ingresa a la cámara y hace contacto con el vapor de agua generado por las boquillas de aspersión. Estas torres se pueden disponer en la trayectoria horizontal o vertical del flujo del gas; en cuanto a la dirección de la aspersión del líquido, puede ir en contra o en la dirección de la corriente del gas.

Su eficacia de control de partículas suspendidas es del 70 al 99%, dependiendo de la aplicación, para el control del SO<sub>2</sub> tiene la capacidad de 80 al 99% de remoción.

### ***Torres de platos***

Una torre de platos es una cámara vertical con placas o platos horizontales dentro de un caparazón hueco. Los platos están hechos de hojas metálicas o de aleaciones. La corriente de gas con los contaminantes fluye hacia arriba y el líquido lavador hacia abajo. En los platos se origina el contacto entre el líquido lavador y el gas en donde contiene aperturas por donde el gas traspasa, con este contacto las partículas para controlarlas las empuja a su caída, en la parte del fondo de la torre las partículas y los líquidos recuperados fluyen hacia el exterior. Cuando se quiere controlar SO<sub>2</sub>, este reacciona con el absorbente líquido, formando una mezcla en húmedo de sulfito y sulfato de calcio precipitados. Este método se usa para la recuperación de partículas, de diámetro mayor a 2,5 µm la eficacia varía entre 50 al 99% dependiendo de cómo se aplique.

### ***Torres empacadas***

Las torres empacadas son dispositivos usados frecuentemente en la absorción de gases, se fundamentan la transferencia de una solución de la fase

gaseosa a la fase líquida, este método consiste en una cámara que contiene capas de material de empaque (relleno) vertical, proporcionan un contacto constante entre líquido y el gas ya sea en dirección a la corriente o en dirección opuesta a esta. El líquido se distribuye sobre estos y escurre hacia abajo, a través del lecho empacado, de tal forma que expone una gran superficie al contacto del gas (Sussan, s.f.).

Estos empaques y otros rellenos comunes se pueden obtener comercialmente en tamaños de 3 mm hasta unos 75 mm. La mayoría de los empaques para torres están contruidos con materiales inertes y económicos tales como arcilla, porcelana o grafito. La característica de un buen empaque es la de tener una gran proporción de espacios vacíos entre el orden del 60 y el 90%. El relleno permite que volúmenes relativamente grandes del líquido pasen a contracorriente con respecto al gas que fluye a través de las aberturas, con caídas de presión del gas relativamente bajas.

El agua es el disolvente más común utilizado para eliminar contaminantes inorgánicos, para el control de gases ácidos como el HCl, SO<sub>2</sub> se utiliza solución cáustica. La eficiencia para control de contaminantes inorgánicos varía en un rango en porcentaje de 95-99% (Sussan, s.f.).

### *Incineradores térmicos*

Este es uno de los métodos mejor conocidos de disposición de gas residual industrial, con este sistema de absorción los gases residuales no se recolectan sino que son convertidos, permitiendo la recuperación de compuestos orgánicos. Para la oxidación de materiales combustibles se lleva a cabo un procedimiento de incineración o combustión térmica, donde la temperatura está por encima de su punto de auto-ignición en presencia del oxígeno dejando la temperatura constante un tiempo suficiente para completar su combustión de agua y dióxido de carbono.

Un incinerador térmico se usa para el control de compuestos volátiles (COV), y aparte de eso destruye partículas de hollín, emitidas por la combustión

incompleta de hidrocarburos, coque o residuos de carbón.

*Un incinerador térmico está compuesto por una cámara de combustión, sin incluir ningún tipo de recuperación de calor de aire de escape.*

*La eficacia está en promedio entre 98 y 99% dependiendo de los requisitos del sistema y de las características de la corriente contaminada (EPA, 2002).*

*La eficiencia de este método varía de un 15 a 77% para el control de la combustión, este método depende del factor utilizado o la combinación de estos (EPA, 2002).*

### *Tratamiento por haces electrónicos*

Este método está basado en la irradiación de los gases generados por la combustión de carbón e hidrocarburos (presencia de amoniaco) por medio de haces electrónicos. Este método se conoce como "proceso Ebara" en honor a su creador Ebara Manufacturing Corporation del Japón (Markovic, 1987).

Su tecnología es íntegra, es muy cómoda la instalación, operación y control, cabe aclarar que este método ni en su funcionamiento ni cuando se activa, no origina ninguna clase de radioactividad, se lleva a cabo por vía seca, semi-seca o a base de cal. La gama de energía de 300 a 800 Kilovatios (kV) para la eliminación de gases contaminantes generados por la combustión. Tiene una gran eficiencia que puede alcanzar el 100% en cuanto a SO<sub>2</sub> y del 85-90% (Markovic, 1987) para el NO<sub>2</sub>.

*Los anteriores métodos son los más utilizados mundialmente para la reducción de emisiones atmosféricas contaminantes, cabe aclarar que existen otros métodos para lograr tal objetivo, pero no presentan una adecuada eficiencia para tal fin.*

## Dato curioso: Árbol artificial "CityTree"

Green City solutions, es una empresa alemana cuya visión es crear condiciones de vida que permitan a todas las personas en todo el mundo respirar aire limpio y fresco de forma permanente. Una de las ideas nació a partir de dicha visión en el cual consistía en un árbol artificial llamado por sus creadores "city-tree" (BBC Mundo Ciencia, 2017) en el cual absorbe la contaminación. Este invento ya está implementado en varias ciudades del mundo en total 25 ciudades alemanas (ICT FILTRACIÓN, s.f.).

## Referencias

- AFP. (26 de Septiembre de 2016). *El Espectador*. Obtenido de: "92% de habitantes del planeta respira aire contaminado, OMS": <http://www.elespectador.com/noticias/salud/92-de-habitantes-del-planeta-respira-aire-contaminado-o-articulo-657170>
- Alonso, G., Ramírez, J., & Palacios, J. (2011). "Energía nuclear en México, como alternativa para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, pp. 271-273.
- Arias-Ortiz, P. R., & Rudolf Ruiz, P. (2017). Potential thyroid carcinogens in atmospheric emissions from industrial facilities in Manizales, a midsize Andean city in Colombia. *sciencedirect*, <http://www.scienc-direct.com/science/article/pii/S1309104216303488>
- Ballester, F. (2003). "La evaluación del impacto en salud de la contaminación atmosférica". *Revista de Salud Ambiental*, pp. 102-107.
- Ballester, F. (2005). "Contaminación atmosférica, cambio climático y salud". *Revista Española de salud pública*, pp. 159-175.
- BBC Mundo Ciencia. (2017). *El árbol creado por Alemania que absorbe la contaminación del aire en la ciudad como si fuese un pequeño bosque*. Obtenido de: "MUNDO": <http://www.bbc.com/mundo/noticias-40444199>
- Corbit. (1999). "Standar Handbook of Environmental Engineers". The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Dockery, D., & Pope, I. (1994). "Acute respiratory effects of particulate air pollution. Environmental Epidemiology Program". Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts. *Annu Rev Public Health*, p. 107.
- Echeverri, C. (2006). "Diseño óptimo de ciclones". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, pp. 123-139.
- EPA. (1999). "Hoja de datos - Tecnología de control de contaminación del aire" (Depurador de Orificio)-EPA-452/F-03-049.
- EPA. (1998). *Hoja de Datos - Tecnología de Control de contaminantes del Aire. (Ciclones) EPA-CICA*.
- EPA. (1999). *Hoja de datos - Tecnología de control de contaminantes del aire (Precipitador electroestático húmedo)*.
- EPA. (2002). *Sección 3. Controles de COV EPA 452/B-02*.
- Escala, A., Ríos, A., & Trillo, L. (2016). *Cámaras de sedimentación*. Guayana, Venezuela : Ministerio del Poder Popular para la Educación Superior. Universidad Nacional Experimental de Guayana UNEG.
- Grupo Ambiental Bolivia. (21 de Octubre de 2008). Obtenido de: "Contaminación Industrial": <http://contaminacionindustrialbolivia.blogspot.com/>
- Heumann, W. L. (1997). *Industrial Air Pollution Control Systems*. Washington: McGraw Hill, Inc.
- ICT FILTRACIÓN. (s.f.). *Tipos de Tecnologías y eficiencia de los filtros de mangas*. Barcelona: [http://www.ictfiltracion.com/es/ict/info/1\\_ICT-FILTRATION/](http://www.ictfiltracion.com/es/ict/info/1_ICT-FILTRATION/).
- Liñan, S. (30 de Junio de 2015). *El Financiero*. Obtenido de: "Contaminación industrial": <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/contaminacion-industrial.html>
- Lucero, J. (5 de Marzo de 2014). *Los Plantagen*. Obtenido de: "La mortal gran niebla de Londres 1952": <https://curiosidadesdelahistoriablog.com/2014/03/05/la-mortal-gran-niebla-de-londres-en-1952/>
- Manzano, F., & Carrillo, J. (2016). "Transformación de precipitador electroestático de la ONU un filtro de mangas pulso Jet ONU en centrales térmicas convencionales". *DYNA*, pp. 189-197.
- Markovic, V. (1987). "Tratamiento de los gases de combustión por haces electrónicos". *OIEA BOLETIN*.
- Martínez, E. (2004). "Convertidores catalíticos y sus aplicaciones". (Tesis pregrado). Universidad Veracruzana poza Rica de Hidalgo.

- Ministerio de Ambiente, Vivenda y Desarrollo Territorial (2010). Resolución 610.
- Oyarzún, G. (2010). "Contaminación aérea y sus efectos en la salud". *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, pp.16-25.
- Perry, R., & Green, D. (1984). "Perry's Chemical Engineers Handbook". *Copyright 1984 Exclusive rights by McGraw-Hill Book Co - Singapore for manufacture and export*. 2.
- POPE, I. (1995). "Health Effects of Particulate Air Pollution", pp. 472-480.
- POPE. (2000). "Epidemiology of fine particulate Air Pollution and Human Health: biologic Mechanisms and Who's at Risk".
- Rodríguez, A. (2010). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución Número 610.
- Ponciano, R., & Rivero, S. (1996). "Factores Ambientales y Salud en el Ambiente Urbano". *Riesgos Ambientales para la salud en la ciudad de México, PUMA*, p. 443.
- Rodríguez, E. (2008). *Catalizadores para la protección del medio ambiente*. Universidad de Málaga.
- Romero, D. (2006). "La contaminación del aire: Su repercusión como problema de salud". *Cubana de Higiene y Epidemiología*.
- Rosario, K. (31 de Agosto de 2013). *Prezi*. Obtenido de: "Lavadores de gases": <https://prezi.com/m-yyq6y-1qorn/lavadores-de-gases/>
- Saenz, C. (2007-2008). "Protección Atmosférica". *EOI*, pp. 26 -27.
- Sussan, C. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de: "Torres empacadas": <https://es.scribd.com/doc/58659548/TORRES-EMPACADAS>