



Control de contaminantes gaseosos: impacto socioambiental en Costa Rica

Esteban Pérez López*
Wilber Mora Quesada**

Recibido: 25-09-2015 Aceptado: 17-10-2015

RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis del impacto ambiental en nuestro país, generado como consecuencia de la emanación de gases industriales con contaminantes atmosféricos, los cuales repercuten directamente en la salud de los ciudadanos y de la biota en general del área de impacto. Entre otros motivos, esta contaminación se pone de manifiesto por el nivel de acidez que se presenta en las lluvias, producto del ácido carbónico, el ácido sulfúrico y el ácido nítrico que se forman una vez que se da la combinación del dióxido de carbono, los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera, con la humedad del ambiente. Además, se da una panorámica de la realidad del país en materia del control de la calidad del aire y las implicaciones que este tema tiene, desde una perspectiva social, económica, jurídica y legal.

Palabras claves: Gases de chimenea, Contaminantes atmosféricos, Control de la calidad del aire, Impacto ambiental.

ABSTRACT

This article presents an analysis of the environmental impact on our country, which is generated as a result of the emission of industrial gases with air pollutants, which come directly impact the health of citizens and the biota in general the area is presented impact; among other reasons. This contamination is evidenced by the level of acidity which occurs in rain, and that is the product of carbonic acid, sulfuric acid and nitric acid are formed after the combination is given dioxide carbon, sulfur oxides and nitrogen oxides found in the atmosphere, the ambient humidity. In addition, an overview of the reality of the country in terms of the control of air quality and the implications of this issue is given; from a social, economic, legal and legal perspective.

Key words: Flue gases, Air pollution control, Air quality, Environmental impact.

* Máster en Sistemas Modernos de Manufactura y Bachiller en Laboratorista Químico. Profesor en la Universidad de Costa Rica. esteban.perezlopez@ucr.ac.cr

** Bachiller en Laboratorista Químico. Funcionario de la Universidad de Costa Rica. wilber.moraquesada@ucr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

El control atmosférico es muy importante desde muchas aristas, ya que la contaminación que se genere a este nivel, impacta la vida de todas las personas que se ven expuestas a esta forma de contaminación y pueden verse afectadas de manera directa, con consecuencias negativas para la salud o de manera indirecta, por el deterioro en la calidad de algunos recursos, como en el caso del agua, con la formación de lluvia ácida debido a la reacción de algunos gases emanados con la humedad de la atmósfera, con lo que se generan especies ácidas que se integran al ciclo del agua, sin dejar de mencionar el deterioro que se produce en la calidad del aire.

Para el control de estos contaminantes se han establecido métodos de análisis, que logran dimensionar el impacto generado en el ambiente, de forma tal que se logren encontrar e implementar medidas preventivas y correctivas que permitan eliminar, o al menos, aminorar las repercusiones que se están generando sobre el ambiente con la producción de los contaminantes atmosféricos; sin embargo para que esto sea posible es necesario conocer y entender a profundidad todos los factores que intervienen y se relacionan con este fenómeno (INE, 2006).

Dichos contaminantes son determinados en forma de gases y partículas, que llegan al ambiente mediante procesos, en los que interviene la emisión o la inmisión, por parte de una fuente contaminante. Estas determinaciones se pueden desarrollar; ya sea por medio de técnicas de extracción de la muestra, en las que se requieren condiciones de muestreo en fuentes fijas, o bien; se puede desarrollar un análisis *in situ*, para lo cual se requiere una instrumentación de alto valor económico, por lo que se llevan a cabo con menor frecuencia (Mendoza *et al.*, 1998).

Bajo estas fundamentaciones es que se pretende evidenciar las consecuencias que causan las emisiones de estos contaminantes en materia de salud, economía y ambiente y dar un panorama de la realidad que embarga al país en materia legal, al identificar la normativa que en Costa Rica, se aplica directamente a las emisiones de chimeneas en industrias, la verificación en la aplicación y el respeto a las mismas.

Conceptos clave

Como parte del muestreo y análisis de gases de chimenea se emplean una serie de términos, correspondientes a tecnicismos y materiales propios del proceso, de los cuales cabe destacar, que una fuente de emisión de contaminantes atmosféricos es cualquier proceso capaz de modificar la composición de la atmósfera (Castells, 2005). La inmisión se considera como la situación resultante de un proceso de emisión asociado a los componentes atmosféricos naturales (Fernández, 2006). Los contaminantes fotoquímicos son los compuestos que se emiten a la atmósfera y que en presencia de luz, sufren una serie de complicadas reacciones, que generan especies contaminantes (Gómez, 1999).

Por su parte, los compuestos orgánicos volátiles (COV) son un conjunto de hidrocarburos, en forma de gases, que son fotoquímicamente reactivos y que participan en la formación de ozono; se pueden mencionar algunos como el formaldehído, el acetaldehído y compuestos aromáticos, como el benceno. Las dioxinas y furanos son productos secundarios de la actividad industrial, producidos a consecuencia de la fabricación de clorofenoles. Son compuestos conformados por dos anillos aromáticos, unidos por dos moléculas de oxígeno, en el caso de las dioxinas y por una, en el caso de los furanos. Investigaciones apuntan que dentro de los principales precursores de estos compuestos se encuentran los hidrocarburos aromáticos clorados y los órgano clorados no aromáticos como el policloruro de vinilo (PVC).

Se relaciona la formación de estos compuestos con todos los procesos de combustión incompleta a altas temperaturas, unos 400 °C, son compuestos altamente tóxicos por su gran estabilidad y porque gracias a su estructura planar, son capaces de atravesar la membrana celular (Castells, 2005).

En cuanto a procesos de combustión: la completa es aquella en la que el proceso de combustión de los elementos reductores del combustible hacen uso de todo el oxígeno disponible, por lo que las especies oxidables alcanzan su estado máximo de oxidación y la combustión incompleta es el



proceso de combustión en el que, por una deficiencia de oxígeno, las especies oxidables no logran alcanzar su estado máximo de oxidación y entonces, se generan subproductos indeseables, principalmente el monóxido de carbono (Calvetus *et al.*, 2006). El punto de rocío es la temperatura de saturación, es decir, la temperatura máxima por debajo de la cual el aire húmedo, enfriándose, forma la condensación.

En cuanto a instrumental que interviene en tema de gases emanados por chimeneas, según Rodas (2010) una termocupla es el sensor de temperatura más utilizado industrialmente; consta de dos alambres de distinto material unidos en un extremo, generalmente soldados y al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts, el cual aumenta con la temperatura, por lo que permite ser cuantificado. El tubo pitot es un dispositivo utilizado para medir la velocidad de fluidos en circulación, para un punto dado, se utilizan en laboratorios y en los aviones; están constituidos por dos tubos concéntricos, acoplados a un manómetro diferencial, donde uno de los tubos mide la fuerza ejercida por el aire y el otro ejerce vacío y por medio de una diferencia de presiones se obtiene la velocidad (Pallás, 2003). Un soxhlet es un dispositivo de laboratorio que se utiliza para extraer la grasa; está equipado con un balón de destilación y un condensador. Los sólidos que contienen los compuestos de interés son colocados en un dedal de papel filtro grueso que se carga en la cámara del soxhlet y luego se hace pasar el solvente de extracción por reflujo. Un panel analizador contiene integrado un sistema para medida de presión, un flujómetro másico, un termómetro para medir temperatura de la sonda del filtro y de la chimenea y el módulo absorbente.

Por su parte el flujómetro másico mide el volumen total de flujo, de manera indirecta, ya que se hace por medio de la aplicación de un voltaje constante y al hacer pasar el flujo caliente se genera un amperaje que se mide y se relaciona de manera directa, con el volumen del flujo. El módulo absorbente es un sistema de eliminación de humedad, por medio de filtro con sustancias adecuadas y un sistema de refrigeración que induce la condensación del vapor de agua en el flujo y la sonda es el dispositivo encargado de tomar el flujo de gas que representará la muestra.

Un manómetro diferencial se utiliza para medir pequeñas diferencias de presión entre dos puntos; se utiliza un fluido de referencia, además del fluido al que se le va a medir la caída de presión, el cual es de muy cercana densidad.

La presión barométrica según Himmelblau (1997) es la lectura de presión atmosférica, que se obtiene por medio de un barómetro, es decir la correspondiente a la presión ejercida por la atmósfera sobre una columna de 0,76 cm de mercurio.

Los gases certificados son gases de ensayo, con los que los artefactos funcionan en las condiciones nominales, cuando están alimentados con las presiones normales correspondientes (Norma NAG-301, 2006).

Principales contaminantes de chimeneas

Los focos industriales emiten productos contaminantes a la atmósfera, cuyas características dependen fundamentalmente de las calidades de los combustibles y materias primas empleadas, del tipo de proceso y de la tecnología que se utiliza. Los principales focos industriales de emisión de contaminantes a la atmósfera son las chimeneas de las instalaciones de combustión para la generación de energía eléctrica y calor industrial y de los procesos industriales propiamente dichos.

De acuerdo con Martínez (2004), los principales contaminantes que se liberan a la atmósfera son: monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, metales pesados, hidrocarburos, dioxinas y furanos.

Mientras que algunas sustancias químicas permanecen en su forma original, otras se transforman en nuevos productos. Por ejemplo, los metales pesados no se destruyen por incineración, tan solo se concentran en los nuevos residuos. Estos metales pueden permanecer en su forma original o pueden reaccionar para formar nuevos compuestos como óxidos de metal, fluoruros o cloruros (Dempsey & Oppelt, 1993).

Este tipo de contaminantes se dispersan en el aire gracias a la acción del viento, por lo cual pueden transportarse a grandes distancias de la fuente de emisión o se diluyen por las precipitaciones contaminando el aire y el suelo, provocando un impacto directo en las tres matrices anteriormente mencionadas.

Impacto ambiental de las emisiones contaminantes

La atmósfera es una mezcla compleja de gases y otras sustancias que provee el oxígeno vital que necesitamos. Por lo tanto, la atmósfera juega un papel decisivo en modular las condiciones de habitabilidad del planeta. Sus características no son estables, sino que dependen de lo que hacen los seres vivos que habitan la Tierra. Es por esto, que toda actividad humana incide de una u otra manera sobre la atmósfera, afectando de forma compleja la composición química de ésta.

Todos los contaminantes que salen de una chimenea industrial están afectados por factores climáticos y geográficos. Un ejemplo de esto es la inversión térmica, aquella condición atmosférica causada por una interrupción del perfil normal de la temperatura de la atmósfera. La inversión térmica puede retener el ascenso y dispersión de los contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire.

Además, otro factor que tiene un efecto negativo sobre el transporte y dispersión de contaminantes es la proximidad de la Gran Área Metropolitana a una cadena de montañas, ya que estas ciudades experimentan altos niveles de contaminación del aire influenciados por la topografía del aire circundante.

Uno de los incidentes presentes en la historia, por las emisiones descontroladas de un contaminante primario como es el SO_2 , fue en Mease Valley (Bélgica) en 1930, donde murieron 63 personas por la formación de smog sulfuroso, el cual se caracteriza por altas concentraciones de SO_2 , materia particulada, nieblas densas y niveles de inversión bajos que concentraban los contaminantes en un volumen mayor.

Según Parker (2001), otro episodio de contaminación se originó en la ciudad de Londres en 1952 en el que murieron 4000 personas y que dio origen al término de smog de Londres.

Un contaminante diferente se observó en 1944 en Los Ángeles, llamado smog oxidante, caracterizado por la elevada concentración de oxidantes como el ozono formado en las reacciones de compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno en el aire, con presencia de luz solar.

Un problema que se origina en las chimeneas, a partir de precursores, que bien son constituyentes

de los residuos, o se forman por recombinación química de materiales en los residuos es la formación de dioxinas.

Las dioxinas viajan por el aire y se depositan sobre el agua o la tierra. En el agua, al principio las dioxinas se unen a pequeñas partículas o al plancton. En tierra, las dioxinas se depositan sobre las plantas o se unen a las partículas del suelo, de manera que, en general, no llegan a contaminar las aguas subterráneas. Los animales, a través de su comida, acumulan las dioxinas en su grasa; las concentraciones aumentan así en cada nivel de la cadena alimenticia.

Un fenómeno presente en la atmósfera que se manifiesta con la retención del calor que proviene directamente del sol es el efecto invernadero. Esta retención de calor como explica Noriega (1998), se realiza en los invernaderos generando contaminantes como el dióxido de carbono, que al acumularse cerca de la superficie terrestre impide que el calor se disipe en el resto de las capas de la atmósfera.

Sin embargo, este fenómeno es necesario para mantener la temperatura ideal para que exista vida en la Tierra y la función primordial de la atmósfera es actuar como una cubierta térmica con el CO_2 y otros gases que atrapan el calor necesario para evitar que el planeta se congele y permite al mismo tiempo que se escape el calor suficiente como para que no se produzca un sobre calentamiento.

Aquellas emisiones industriales con concentraciones altas de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno son las precursoras que originan la lluvia ácida.

La acidez que se presenta en las precipitaciones se debe a los ácidos carbónico, sulfúrico y nítrico que se forman por la combinación del dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera y humedad del ambiente.

La acidez de las lluvias causa graves daños sobre los animales y plantas, incluso afecta a la fauna acuática que habita en corrientes y cuerpos de agua donde llega el agua acidificada, además daña las construcciones, las hojas y raíces de las plantas y produce irritación en los ojos de las personas (Hill, 1999).

El tiempo de residencia de los contaminantes en el suelo suele ser alto y generalmente los

contaminantes, tanto del aire como del agua, llegan a él. En el suelo, cantidades bajas de hidrocarburos propician un crecimiento de la actividad microbiológica y vegetal, por lo que se genera una mayor producción de sustancias húmicas que benefician enormemente al suelo, pero en altas concentraciones se observa una drástica reducción de la biota en general. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, se incrementa la actividad microbiana, especialmente de los organismos que descomponen a los hidrocarburos, lo que ocasiona un aumento en la materia orgánica y del nitrógeno total del suelo (Bautista, 1999).

Impacto de los contaminantes en la salud humana

De acuerdo con la versión de Allsopp (2001), el hecho de vivir cerca de las industrias con chimenea, así como trabajar en ellas, se ha asociado a un amplio rango de efectos en la salud entre los que se incluyen: cáncer, impactos adversos en el sistema respiratorio, enfermedades del corazón, efectos en el sistema inmunitario, incremento de las alergias y malformaciones congénitas.

Las poblaciones que residen cerca de chimeneas se encuentran potencialmente expuestas a productos químicos, bien por inhalación del aire contaminado, por el consumo de productos agrícolas locales (verduras, huevos y leche) o por contacto directo del suelo contaminado, así como por consumo de agua contaminada, debido al ciclo natural del agua en lugares expuestos a emanaciones contaminantes. Se ha detectado un incremento significativo en los niveles de dioxinas en tejidos corporales de aquellas personas que viven cerca de chimeneas industriales, además de niveles elevados de ciertos PCB en sangre de niños, esto último en Alemania (Seoáñez, 2002).

Contexto social, económico, técnico y legal de los análisis en gases de chimenea

En Costa Rica, las emisiones de las chimeneas deben cumplir con dos reglamentos, el primero es el Reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas, el cual establece los valores máximos de emisión a los que deben ajustarse los establecimientos industriales, comerciales y de servicios, cuyos procesos o actividades incluyan la operación de calderas y el segundo es el Reglamento de Requisitos,

Condiciones y Controles para la Utilización de Combustibles Alternos en los Hornos Cementeros, el cual aplica para los hornos que utilizan mezclas de combustibles.

Sin embargo, las personas capacitadas, así como los laboratorios equipados para realizar un análisis de emisiones de gases en nuestro país son muy escasos. Además, los encargados de interpretar los resultados de análisis de laboratorio son los inspectores del Ministerio de Salud, quienes mediante una capacitación recibida por el Laboratorio de Análisis Químicos Lambda, financiada por Swiss Contact (organización internacional que brinda apoyo a los países en vías de desarrollo) pudieron comprender en qué consiste el análisis y cómo poder interpretar los resultados de un examen de laboratorio con respecto a los parámetros sobre las emisiones de gases en chimeneas.

Además, los entes encargados de dar capacitación y entrenamiento a nivel mundial son: la EPA (Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos) y la EMPA (Laboratorio Nacional de Materiales Suizos; ente pionero de la creación de métodos de análisis de emisiones de gases en toda Europa).

Entre las dificultades que se presentan a la hora de realizar un análisis de emisiones en las industrias de nuestro país, es que la población desconoce lo costoso que es un análisis de estos, desde ir al lugar de muestreo y esperar que las condiciones sean las adecuadas, ya que en ocasiones la chimenea en la cual se va a realizar el estudio no posee las aberturas o el puerto de muestreo para introducir la sonda, por lo cual, hay que explicarle al responsable que se deben hacer las aberturas correspondientes a la altura adecuada, hasta llevar la muestra al laboratorio para realizarle el procedimiento que corresponda, además de que, el costo básico de un análisis de emisiones supera los 300 dólares, debido al instrumental tan especializado e igualmente costoso, con el que se realizan los análisis. También, no se puede dejar de lado, el costo económico que tendría una posible sanción o cierre de operaciones por



incumplimiento en tema de emanaciones contaminantes y el efecto dominó que esto tendría sobre sus colaboradores y familias, lo cual desde toda perspectiva demanda un compromiso serio de los industriales, con el ambiente y las leyes que les regulan en este tema.

CONSIDERACIONES FINALES

Es de suma importancia determinar las emisiones contaminantes en las industrias nacionales, ya que la atmósfera se ve directamente afectada presentando fenómenos como la inversión térmica, efecto invernadero, smog industrial y lluvia ácida, lo cual termina afectando a plantas, animales y seres humanos alrededor del mundo.

Los métodos utilizados en Costa Rica para análisis de gases de chimenea, son confiables, pues son los establecidos por las organizaciones oficiales de Estados Unidos y Europa, en materia de atmósfera. Lo necesario es obligar a las industrias a que demuestren periódicamente que sus emanaciones de gases cumplen con la reglamentación vigente y de esta manera no se genere un impacto ambiental adverso.

Se debe hacer énfasis, en que escritos de esta índole generan una conciencia ambiental, que deben provocar un involucramiento mayor por parte de autoridades en materia ambiental de nuestro país y así sean vigiladas de forma más estricta las emanaciones industriales. Además de la importancia de formar a estudiantes, docentes y público en general de diferentes estratos sociales, para generar una conciencia ambientalista y hacerla repercutir en el entorno inmediato que nos rodea.

REFERENCIAS

Allsopp, M; Costner, P; Johnston, P. (2001). Incineración y Salud: Conocimientos actuales sobre los impactos de las incineradoras en la salud humana. Greenpeace. España.

Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Universidad Autónoma de Yucatán. México.

Calvetus, Y; Carreras, R; Casals, M; Colomer, P; Costa, M; Jaén, A; Monserrat, S; Oliva, A; Quera, M; Roca, X. (2006). Tecnología energética y medio ambiente-I. I Edición. Ediciones UPC. 188 p.

Castells, X. (2005). *Tratamiento y valorización Energética de Residuos*. I Edición. Ediciones Días de Santos. 476 p.

Dempsey, C.; Oppelt, E. (1993). Incineration of hazardous waste: a critical review update. *Air and waste*. 43: 25-72.

Fernández, R. (2006). Principales obligaciones medioambientales para la pequeña y mediana empresa. I Edición. Editorial Club Universitario. 229 p.

Gómez, J. (1999). Los conceptos químicos en el umbral del siglo XXI. I Edición. Universidad Autónoma de México. 57 p.

Hill, J.; Kolb, D. (1999). Química para el nuevo milenio. Prentice Hall. 8va edición. México. 704 pp.

Himmelblau, D. (1997). Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. VI Edición. Pearson/Prentice Hall. 728 p.

Instituto Nacional de Ecología. (2006). La investigación ambiental para la toma de decisiones. I Edición. Diseño de interiores. 319 p.

Martínez, E.; Díaz de Mera, Y. (2004). Contaminación Atmosférica. Universidad de Castilla. 4ta edición. España. 288 pp.

Mendoza, J; Montañés, M & Palomares A. (1998). Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. I Edición. Servicio de Publicaciones. 242 p.

Noriega, E. (1998). Distrito Federal: Educación Ambiental. Editorial LIMUSA S.A. 5ta edición. México.

Norma NAG-301. (2006). Artefactos para gas, clasificación; gases de uso y de ensayo. ENAGRAS. 8 p.

Pallás, R. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal*. IV Edición. MARCOMBO, S.A. 480 p.

Parker, A. (2001). Contaminación del aire por la industria. Editorial Reverté. 2^{da} edición. España.

Rodas, J. (2010). ¿Conoce usted la diferencia entre una "termocupla" y un "RTD"? Soluciones, diseños y provisiones, S.A.

Seoáñez, M. (2002). Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Mundi- Prensa libros. México.