





Artículo Original

Diagnóstico ambiental de las concentraciones de dióxido de azufre producidas por la Termoeléctrica “Antonio Maceo”

Environmental diagnosis of sulfur dioxide concentrations produced by the Thermoelectric “Antonio Maceo”

Airen Fernández Cadete ¹  <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, Kleidys Irsula Marén ²  <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Historial del artículo

Recibido: 30 julio 2019

Aceptado: 2 octubre 2019

¹Central Termoeléctrica “Antonio Maceo”, Santiago de Cuba, Cuba.

²Refinería “Hermanos Díaz”, Santiago de Cuba, Cuba.

Email: airen@cterente.une.cu

Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución NoComercial CompartirIgual (CC-BY-NC-SA) 4.0.



Resumen: Se pretende evaluar los resultados del monitoreo de concentraciones de SO₂ en las emisiones de gases de combustión y compararlos con la normativa vigente. Para determinar sus riesgos a la salud se utilizó la prueba condicional CTM 034 de la Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos), a partir de resultados determinados con el analizador de gases de combustión TESTO-350 2010. Los valores calculados de las emisiones de SO₂ por las fuentes puntuales consideradas, aunque no superan los límites normados, permiten identificar sitios y condiciones de mejora de las condiciones de vida y trabajo de las personas expuestas.

Palabras clave: contaminación, emisiones, SO₂, gases atmosféricos.

Abstract: It pretends to evaluate the results of monitoring SO₂ concentrations in flue gas emissions and compare them with current regulations. To determine their health risks, the CTM 034 conditional test of the Environmental Protection Agency (United States) were used, based on results determined with the TESTO-350 2010 flue gas analyzer. The calculated values of the SO₂ emissions by the specific sources considered, although they do not exceed the regulated limits, allow the identification of sites and conditions for improving the living and working conditions of exposed persons.

Keywords: pollution, emissions, SO₂, atmospheric gases.

Citación recomendada para este artículo: Fernández Cadete, A. y Irsula Marén, K. (2019). Diagnóstico ambiental de las concentraciones de dióxido de azufre producidas por la Termoeléctrica “Antonio Maceo”. *Monteverdia*, 12 (2), pp. 26-33. Recuperado de: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/article/view/2960/2951>

Introducción

Las instalaciones de producción de energía eléctrica que utilizan combustibles diversos, se caracterizan por altas emisiones de contaminantes, fundamentalmente por las emisiones de SO₂ al medio. Controlar las emisiones debe constituir uno de los principales objetivos para cumplir con las normativas vigentes y afectar lo menor posible al medio ambiente dentro del cual convivimos todos, pues provocan altas emisiones de contaminantes a la atmósfera, que afectan amplias áreas alrededor de las instalaciones: suelos, plantas, animales, cuerpos de agua y la vida en general.

En ese contexto, el presente caso de estudio expone la

problemática referente a la contaminación ambiental por producción de energía eléctrica y de sus elementos, alineados en concordancia con el marco legal existente; además de la aplicación de otras técnicas de mejoramiento productivo paralelo a propuestas para la difusión de programas de responsabilidad social, con el fin de dar a conocer e incentivar a los trabajadores y a la población de temas vinculados con la protección de la calidad del aire y de la vida de quienes están afectados por este tipo de actividades; haciendo énfasis en el análisis de la emisión de estos elementos contaminantes mediante el proceso de generación de electricidad en las unidades generadoras.

La Central Termoeléctrica Antonio Maceo Grajales

“Renté” se encuentra situada en la península de Renté a 9 km al suroeste de la ciudad de Santiago de Cuba y al sudoeste de la bahía, colindando al oeste con la Refinería de Petróleo Hermanos Díaz, y al Norte de la cuenca hidrográfica nombrada, “Parada”.

La entidad cuenta con 4 unidades de generación de 100 MW de potencia cada una, utilizando como materias primas fundamentales el combustible, el agua y el aire. El combustible utilizado en la central termoeléctrica es el suministrado por la Refinería “Hermanos Díaz” o directamente de los buques que atracan en sus muelles y se envía con las condiciones requeridas de presión y temperatura para el proceso, hacia las calderas del tipo BKZ-340-140/29M, de un solo domo con tubos verticales de agua, circulación natural y recalentamiento de vapor, aprovechando aproximadamente el 90% de su potencial. (Cepeda, 1995).

Como parte de la reglamentación de protección medioambiental, los gases de combustión de las instalaciones industriales están sujetos a normas que establecen los límites máximos permitidos de emisiones y concentración en el aire: NC 1020: 2004, Calidad del aire – Contaminantes – Máximas de la contaminación atmosférica revisten una importancia primordial para la selección e Admisibles y Valores Guías en zonas habitables y la norma en ambiente laboral, NC: 19 – 01 – 63: 1991, y la norma de emisiones NC 803: 2017, Calidad del aire – Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor.

Si se toman en cuenta las condiciones de emisiones a la atmósfera del contaminante de interés (SO_2) en la producción energética y la influencia que sobre las mismas presentan las condiciones meteorológicas, es posible estimar el riesgo a la salud que esta sustancia representa a partir del contacto con el ser humano.

Los trabajos de diagnóstico conducen a la instrumentación de medidas que permitan una adecuada armonía entre las diversas actividades que se ejecutan en un territorio, de forma tal que no se perjudique el medio ambiente y sean compatibles las diferentes actividades socioeconómicas.

Durante el proceso de combustión del petróleo se producen reacciones con gran desprendimiento de energía y grandes cantidades de gases. Esta energía

pasa al agua hasta convertirla en vapor que se utiliza en la turbina, convirtiéndose la energía calórica en mecánica para hacer girar el rotor al que se encuentra acoplado el generador de energía eléctrica. (Cepeda, 1995).

Todos los combustibles que son conducidos por conductos hacia las chimeneas, y su composición es variable [los más significativos: utilizados en instalaciones energéticas, se diferencian ostensiblemente por sus propiedades físico-químicas. Tienen como composición elemental: carbono, hidrógeno y oxígeno (masa orgánica de los combustibles), pero, además, contienen otras sustancias que constituyen el lastre externo: azufre, nitrógeno, ceniza, humedad y otros. (Sánchez, 1990).

Los gases obtenidos en la caldera son dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono] en dependencia del estado tecnológico de las calderas, sus componentes, así como la composición del combustible utilizado. (Cepeda, 1995).

Expulsiones de contaminantes del aire en la zona de estudio

En el caso frecuente de combustibles líquidos, los humos se componen de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y radicales libres, partículas sólidas y otros productos, procedentes de impurezas en el combustible (metales pesados), en muy pequeñas proporciones. (Collazo, 2017).

Normalmente, la combustión se realiza en ambientes con exceso de aire comburente respecto de la proporción estequiométrica, llegándose a duplicar o triplicar esta proporción. En estos casos, las propiedades de los humos se acercan a las del aire.

Caracterización de emisiones de dióxido de azufre.

El SO_2 es un gas contaminante incoloro y con un olor desagradable que se origina en la combustión del carbón y el petróleo. Durante su proceso de oxidación en la atmósfera, este gas forma sulfatos, es decir, sales que pueden ser transportadas en el material particulado respirable (MP10) y que en presencia de humedad forman ácidos. Luego, estos ácidos son una parte importante del material particulado secundario o fino (MP2.5). (Bertomeu, 2000).

Son importantes las técnicas de reducción previas del azufre en el combustible (desulfuración), así como la

desulfuración de gases de chimenea, para garantizar disminuir las emisiones de SO₂ en los gases contaminantes, pero, no son ejecutados en la actualidad por dificultades económicas. Las emisiones de SO₂ en la termoeléctrica dependen directamente del contenido de azufre en el combustible, que para el caso del utilizado en la entidad alcanza valores superiores al 7 % cuando se utiliza para la generación el crudo nacional mejorado.

Materiales y métodos

Teniendo en cuenta la caracterización de los gases contaminantes expulsados en el proceso productivo de generación de energía, se propone la evaluación de riesgos en salud (ERS) como la metodología para predecir la secuencia de eventos resultantes de los niveles de exposición de los trabajadores a determinados factores de riesgo, caracterizando a su vez la magnitud y gravedad de las consecuencias en salud resultantes de dicha exposición. (Olmedo, Carroquino, Ordóñez y Moya., 2016).

Para el correcto proceso de ejecución de la evaluación y la metodología empleada se distribuyeron las tareas divididas en las siguientes etapas:

Evaluación de la exposición.

Las mayores fuentes de las emisiones de dióxido de azufre de la central termoeléctrica proceden de la combustión del petróleo en las unidades generadoras y salen a la atmósfera a través de los sistemas de gases. Este sistema extrae los gases del horno con alta temperatura para intercambiar y calentar el aire a utilizar en la caldera con ventiladores de tiro inducido y los expulsa a la atmósfera por las chimeneas.

Los conductos de gases sufren corrosión paulatinamente y debido a las demoras en la ejecución de los mantenimientos, entre otras causas, constituyen también fuentes de emisión de los gases contaminantes al nivel del suelo, que suelen ser perjudiciales para la salud.

Recolección de datos.

Las mediciones de gases contaminantes realizadas en la termoeléctrica Antonio Maceo Grajales (Analizador de gases de combustión TESTO-350 2010) se ejecutaron en la salida de los CAR, en la toma de muestra para gases dispuestas en estos lugares y en caso

de tupición se realizaron las mediciones en la toma de muestras donde se sacan las cenizas.

Si comparamos los valores normalizados con los valores de referencia establecidos en la Norma de Emisiones, se puede observar en la tabla 1. que el SO₂ en las fuentes contaminantes no supera el valor normado.

Tabla 1: Valores promedios del contenido de SO₂ presente en los gases emitidos por la Termoeléctrica Antonio Maceo.

| Fuente de emisión | Fecha de muestreo | Total de mediciones | SO ₂ (mg/Nm ³) |
|------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Conducto de gases Unidad 4 | 10/01/2018 | 18 | 4891.56 |
| Chimenea 2 (Salida unidad 4) | 10/01/2018 | 12 | 9615.94 |
| Chimenea 3 (Salida unidad 5) | 26/10/2018 | 18 | 8456.10 |
| Chimenea 3 (Salida unidad 6) | 19/06/2018 | 14 | 8587.67 |
| Valor de referencia | | | 10000 |

Metodología para el diseño. Descripción de la investigación

Para el proyecto a desarrollar se realizan mediciones en cada fuente contaminante, así como en las áreas de mayor implicación de acuerdo con los vientos predominantes y se calcula la dosis de referencia que permita al final del proceso evaluar el riesgo del efecto del contaminante en la salud de los trabajadores.

El SO₂ para el efecto sobre la salud, tal como se refiere en la NC 1020:2014, presenta un nivel de exposición UMBRAL, equivalente a una dosis que administrada durante toda la vida es improbable, incluso en poblaciones sensibles, que produzca efectos adversos.

El UMBRAL puede recibir varios nombres en dependencia de la agencia que lo formule. En este caso se emplea el estándar de la U.S. EPA, dosis de referencia o RfD. (Olmedo et al, 2016).

$$\text{Cociente de peligro (HQ)} = \frac{DEE}{Umbra\text{l}} = \frac{DEE}{(RfD * 1000 \frac{\mu g}{mg})}$$

Donde:

HQ = Cociente de peligro por inhalación (adimensional)

RfD = Concentración de referencia por inhalación (mg/m³)

DEE = Concentración de exposición por inhalación (μg/kg PC-día)

$$DEE = \frac{C \times TC \times FE}{PC}$$

Donde:

C = Concentración del contaminante en el aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

TC = Inhalación promedio de aire ($\text{m}^3/\text{día}$)

PC = Peso corporal (se estima para adultos peso promedio de 70 kg)

FE = Factor de exposición (adimensional)

$$FE = \frac{F \times DR}{AT}$$

Donde:

F = Frecuencia de exposición (días/año)

DR = Duración de exposición (años)

AT = Tiempo promedio (días)

Cuando el cociente de peligro es menor que 1 puede decirse que no es probable que se produzcan efectos adversos, y el riesgo puede considerarse insignificante. De ser mayor que 1 se supera el umbral de exposición seguro.

Cada RfD se define para un efecto crítico concreto, una vía de exposición y un período de exposición, por lo que se calcula para cada área. (Olmedo et al, 2016).

Control a través de métodos estadísticos

La aplicación del control estadístico permite tomar decisiones acertadas del comportamiento de las variables a monitorear, debido a que permite realizar los análisis y cálculos con los datos obtenidos de una muestra de la población y no con toda la muestra. Hacerlo con toda la muestra se torna imposible para nuestro caso.

Al medir cualquier cantidad susceptible de variaciones continuas, siempre existe cierta incertidumbre. Además de los errores inherentes al experimentador y a los mecanismos de medición, existen otros implícitos en las mediciones, por lo que es necesario se realicen 3 o más determinaciones.

Resultados y discusión

Descripción y ubicación de la zona de estudio.

La ciudad de Santiago de Cuba se localiza en el macizo montañoso de la Sierra Maestra, en la cuenca del mismo nombre. Cuenta con una población de poco más de medio millón de habitantes y el peso de las

principales fuentes de la economía es la Industria (66,5 %) y las construcciones (18 %).

La Bahía Santiaguera mide unos 9 km de largo por 3 km de ancho, su boca es extremadamente estrecha, de las llamadas de Bolsa. Sus costas para el interior son irregulares formando numerosas ensenadas. En sus márgenes se asienta una de las principales ciudades del país, se localiza uno de los principales puertos y una de las zonas industriales más importantes.

La humedad relativa promedio no supera el 76 % en el período más húmedo en Santiago (septiembre – noviembre) según Collazo (2017). La rapidez media mensual del viento generalmente es superior a los 4,6 km/h, los valores más altos están cercanos a los 6,8 km/h en los meses de febrero y marzo.

El clima se encuentra bajo un fuerte estrés por la fuerte influencia urbano e industrial, que puede causar modificaciones en el régimen de temperatura, radiación y precipitación. (Agencia de Medio Ambiente, 2000).

Metodología de evaluación de riesgos empleada para la salud de los trabajadores.

a) Puntos de exposición (potencialmente contaminados).

Se organizó un programa de monitoreo en las fuentes de la zona de trabajo por 10 días. La fase experimental abarcó cuatro puntos de mediciones: Casa de Bombas de Petróleo, Edificio administrativo de la CTE (exterior), Taller de Mantenimiento Constructivo y Brigadas del Taller de Mecánica, caracterizando la calidad del aire de la zona de estudio, para tener un patrón general del comportamiento de las concentraciones de SO_2 .

b) Estudio climático de la zona de estudio.

Se utilizaron los datos de la estación meteorológica situada en la Universidad de Santiago de Cuba, siendo ésta la más cercana a los sitios de estudio, en el período comprendido entre el 01/01/2018 y el 30/10/2018. Debido a su importancia en los resultados de la dispersión, en la figura. 1, se presenta la rosa de los vientos utilizada en los cálculos.

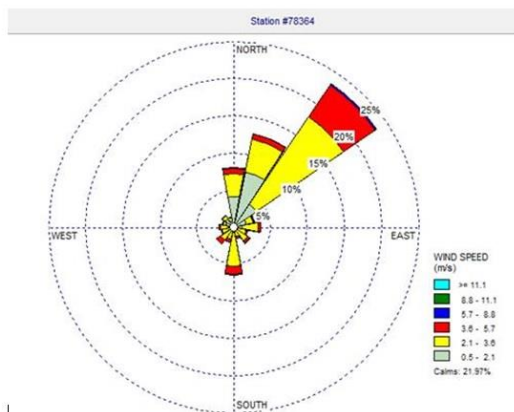


Figura 1: Vector de flujo de los vientos en función de la dirección y velocidad del viento en la estación de la Universidad de Santiago de Cuba.

Fig. 1. Vector de flujo de los vientos en función de la dirección y velocidad del viento en la estación de la Universidad de Santiago de Cuba.

Como para Cuba no se dispone de datos de sondeo o de aire superior, se utilizó una versión del AERMET desarrollada en CUBAENERGÍA que simula el comportamiento vertical de la atmósfera a partir de los datos de superficie (específicamente la altura de la capa de mezcla convectiva, y a partir de ésta, la velocidad de escala y el gradiente de temperatura potencial por encima de la capa de mezcla). En el estudio se refleja que durante las horas diurnas predomina el viento norte y durante la noche predomina el viento sur.

c) *Determinación de las concentraciones en el aire de dióxido de azufre.*

Las mediciones de gases contaminantes se realizaron en la zona exterior de las áreas a monitorear a la altura de respiración de los trabajadores promedios.

Los gases de combustión de las instalaciones industriales están sujetos a normas que establecen los límites máximos permitidos de emisiones y concentración en el aire. En nuestro país existe la norma de emisiones NC 803:2017 Calidad del aire – Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor, y la Norma NC 1020:2014 Calidad del aire – Contaminantes – Concentraciones máximas admisibles y calores guías en zonas habitables.

Para el caso de la Casa de Bombas de Petróleo las mediciones se realizaron en tres horarios: sobre la mitad de la mañana y la mitad de la tarde, por encontrarse trabajando además de los operadores el

personal de mantenimiento, y en la noche cuando solo se encuentran en el área los operadores. En el resto de las áreas se midió tomando en cuenta los horarios de mayor concentración de personal.

En general el dióxido de azufre presenta valores promedios inferiores a la concentración máxima admisible en todas las áreas monitoreadas, como se puede observar en la tabla 2., aunque en algunas ocasiones se presentaron valores instantáneos por encima de la norma, que se correspondía con regímenes críticos observados en las unidades generadoras durante la medición (humo excesivo por desajustes en la combustión, arranques y paradas).

Tabla 2. Valores promedios medidos del contenido de SO₂ en muestras instantáneas (1 hora).

| Área | Total de observaciones | Distancia (m) | Valor medio (µg / m ³) | Veces superada la Cma |
|---------------------------------|------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------|
| Casa de Bombas de Petróleo | 5 | 750 | 158,5 | 0,63 |
| Edificio administrativo | 12 | 150 | 90,5 | 0,36 |
| Mantenimiento Constructivo | 10 | 150 | 66,8 | 0,27 |
| Brigadas del Taller de Mecánica | 9 | 50 | 244,7 | 0,98 |

La zona más afectada se corresponde con las brigadas de Válvula y Soldadura del Taller de Mecánica, influenciado entre otras causas por el mal estado tecnológico de los conductos de gases de la Unidad no. 4, que se encuentra fuera de ciclo de mantenimiento capital, por ajustes necesarios en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN), al ocurrir averías en unidades generadoras de otras termoeléctricas del país y la proximidad al área de impacto.

Las mayores concentraciones coinciden con el horario de la tarde, generalmente asociado a los vientos débiles y las calmas, a las temperaturas altas y al aumento de la humedad relativa. El rumbo norte tiene una alta incidencia en el área de estudio, característica climática de la ciudad, pero los valores relacionados a las calmas y los sures son los vientos predominantes durante el período experimental.

d) *Modelación de la dispersión local del SO₂.*

Para resolver la dispersión local de contaminantes se utilizó el Sistema AERMOD (AERMAP-AERMET-AERMOD). Para el Sistema AERMOD se utilizaron versiones liberadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) y algunas herramientas de cálculo complementarias desarrolladas por

Para la modelación de la dispersión del SO₂ se realizó una distribución del tiempo de trabajo entre los dos horarios pico (en las horas de media demanda, pico al mediodía y en las horas de máxima demanda o pico del atardecer). Durante todo el período de medición estuvieron en funcionamiento 3 de las cuatro unidades generadoras.

Fig. 2. Afectación producida por la entidad debido a las emisiones de SO₂ en el período de 1 hora.

El SO_2 es higroscópico, por lo que en la atmósfera reacciona con la humedad y forma aerosoles de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfuroso (H_2SO_3) que luego forman parte de la llamada lluvia ácida. En general, el tiempo medio de permanencia en la atmósfera asciende a unos 3-5 días, y puede ser transportado hasta grandes distancias. La exposición a los ácidos derivados del SO_2 , es de extremo riesgo para la salud debido a que éstos ingresan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias.

Guías de calidad del aire.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) prepara Guías para la Calidad del Aire como respuesta a la necesidad de emprender acciones y mejorar la legislación y la gestión respecto a la contaminación ambiental a nivel local, regional y nacional (Tabla 3.).

| Punto final sobre la salud | Valor guía ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Tiempo de exposición |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|
| Cambios en la función pulmonar en asmáticos. | 500 | 10 minutos |
| Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles | 125 | 24 horas |
| | 50 | 1 año |

El factor de exposición de los trabajadores se sabe es irregular o intermitente, incidiendo el tiempo de trabajo y los días de la semana que se labora: personal de producción: turnos de 12 horas, 4 días a la semana (88 días años); personal de mantenimiento y oficinas: regularmente 9 horas al día, 5 días a la semana (88 días años).

Tomado de la bibliografía consultada, la duración de exposición mantiene para todos los casos de estudio la estimación de 30 años de exposición; el peso corporal también tiene un valor normado de 70 kg para adultos en casos no cancerígenos, y la concentración de referencia por inhalación de dióxido de azufre igual a 0.52 mg/m³.

En la tabla 4. se reflejan los valores para el cálculo del cociente de peligro en las áreas de estudio.

Tabla 4. Cálculo del cociente de peligro para las áreas de estudio.

| Área | FE | C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | TC ($\text{m}^3/\text{día}$) | DEE ($\mu\text{g}/\text{kgPC-día}$) | HQ |
|---------------------------------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|----------|
| Casa de Bombas de Petróleo | 0,24 | 158,5 | 7,2 | 3,93 | 0.007559 |
| Edificio administrativo | 0,24 | 90,5 | 7,2 | 2,24 | 0.004316 |
| Mantenimiento Constructivo | 0,24 | 66,8 | 7,2 | 1,66 | 0.003186 |
| Brigadas del Taller de Mecánica | 0,24 | 244,7 | 7,2 | 6,07 | 0.01167 |

Combinación del riesgo de exposición a través de distintas rutas.

Para evaluar el riesgo potencial de efectos no carcinógenos a través de distintas rutas por la misma sustancia, se calcula el índice de riesgo (IR), que es la suma de los HQ para las vías de exposición que se consideren relevantes en cada situación. En todos los casos, los IR deben ser calculados para efectos críticos concretos, y periodos de exposición concretos. (Prado et al, 2015).

$$\text{IR} = \text{HQ (ruta1)} + \text{HQ (ruta2)} + \dots + \text{HQ (rutai)} = 0,02673$$

Evaluación del riesgo.

Al analizar el SO_2 como factor de riesgo no cancerígeno se estima que al resultar los valores del cociente de peligro (HQ) menor de 1, podemos decir que no es probable que se produzcan efectos adversos, y el riesgo puede considerarse insignificante, por lo que no deberían esperarse efectos adversos no cancerígenos como resultado de la exposición a estos compuestos.

Queda argumentar que hay trabajadores con enfermedades respiratorias agudas o vulnerables que en ocasiones han experimentado afectaciones por la exposición instantánea al contaminante, teniendo en cuenta la variación de los vientos o el estado tecnológicos de las fuentes de emisión de la central.

Conclusiones

La cuantificación del riesgo, que se realiza para los efectos agudos y subcrónicos presentan niveles inferiores a 1 en todas las fuentes de exposición. Para la referencia, el área de mecánica es la más afectada, se encuentra al sur de las fuentes contaminantes, es la de mayor proximidad a las fuentes contaminantes.

El riesgo de efectos para la salud no cáncer por exposición al dióxido de azufre presente en la zona estudiada es descartable.

Podemos decir que no es probable que se produzcan efectos adversos, y el riesgo puede considerarse insignificante, por lo que no deberían esperarse efectos adversos no cancerígenos como resultado de la exposición a este compuesto.

La entidad mantiene una constante vigilancia de los parámetros de operación de sus unidades con la finalidad de cumplir las normativas existentes, mejorar sus parámetros de generación y disminuir la contaminación.

Financiamiento de la investigación

El desarrollo de esta investigación, se realiza bajo el auspicio de la Central Termoeléctrica “Antonio Maceo” y la Refinería “Hermanos Díaz” de la ciudad de Santiago de Cuba, Cuba.

Contribución de los autores

Fernández Cadete: planeación de la investigación, conducción de la aplicación de la metodología, recopilación y procesamiento de la información, revisión documental, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Irsula Marén: planeación de la investigación, recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Conflictos de intereses

No existen conflictos de interés.

Referencias

- Bertomeu, S. L. (2000). *Método de cálculo del SO_2 teórico contenido en los gases de escape, en la combustión de Fuel – oil*. Chile: [s.n]
- Cepeda, L. R. (1995). *Evaluación técnica de caldera para unidades de 100 MW*. Tesis de maestría no publicada. Central termoeléctrica “Antonio Maceo”.
- Collazo, A. L. (2017). *Caracterización de la calidad del aire*. Tesis de maestría no publicada. Refinería “Hermanos Díaz”.
- Calera, A. (2006). *Diagnóstico de la utilización de sustancias químicas en la industria española*. España: Editorial Instituto sindical de trabajo, ambiente y salud.
- Díaz, F. (2012). *Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios*

- contaminados. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- García, D., y Olivares, S. (2013). *Revista cubana de salud y trabajo*, 13(1), 15 – 17.
- Ize, I., y Zuk, M. (Eds.). (2012). *La evaluación dosis – respuesta al evaluar un riesgo para la salud humana*. Ciudad de México. [s.n]
- Mejía, J., Yáñez, L., Carrizales, L., y Díaz, F. (2002). Evaluación integral del riesgo en sitios contaminados (Una propuesta metodológica). *Scientiae Nature*, 4 – 14.
- Molina, F. A. (2016). *Guía de evaluación de impacto ambiental. Riesgo para la salud de la población*. Ciudad de México. [s.n]
- NC 803: 2017, Calidad del aire – Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor.
- NC 1020: 2014, Calidad del aire – Contaminantes – Máximas Admisibles y Valores Guías en zonas habitables y la norma en ambiente laboral, NC: 19–01–63:1991, y la norma de emisiones.
- Olmedo, M. P., Carroquino, M., Ordóñez, J., y Moya, J. (Eds.). (2016). *Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de la evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos*. Andalucía, España: Universidad de Andalucía.
- Pinedo Alonso J. (2014, febrero). *Evaluación de riesgos en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo*. Ponencia presentada ante la Universidad de Cantabria. España.
- Pulgar, M., Castro, M., y Narciso, J., Morales, V., Constantin, A., Calagua, D., Fernández, F., y Lupe, Jennifer. (Eds.). (2015). *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados*. Lima, Perú: Dirección general de Calidad Ambiental.
- Salvarrey, A. I., y Cristo, P. (2015). *Guía para la identificación y evaluación preliminar de sitios potencialmente contaminados*. Montevideo Uruguay. [s.n]
- Sánchez, M. R. (1990). *Manual de combustibles y casa de bombas de petróleo*. Tesis de maestría. Central Termoeléctrica “Antonio Maceo”.
- Toro, L. I. (2012). *Guía de evaluación de impacto ambiental, riesgo para la salud de la población en el SEIA*. Santiago de Chile. [s.n]