



Gestión comparada del riesgo en el control de la contaminación atmosférica de Generadores de Vapor

Comparative Management of risk in the atmospheric contamination control of Steam Boiler

Ibis-Cruz Virosa
Miriam Lourdes-Filgueiras-Sainz de Rozas
Luis-Sorinas Gonzáles

Juan Jose-Cabello Eras
Lissy-Fernandez Perez

Recibido: diciembre de 2015
Aprobado: marzo de 2016

Resumen/Abstract

En este artículo, se propone un procedimiento para la gestión comparada de los riesgos internos y externos en el control de las emisiones atmosféricas provocadas por los generadores de vapor pertenecientes a los sectores de servicios, ubicados en diferentes puntos de una zona urbana y considerados fuentes fijas de combustión. Para la propuesta se toma como base los documentos legales y normativos más actualizados sobre el tema. El procedimiento centra su atención en la gestión de los riesgos relativos a la planificación, la tecnología, la operación y a los efectos de los contaminantes atmosféricos, para comparar los riesgos potenciales y las prioridades en un proceso de toma de decisiones de acciones de control y en la elaboración de planes de mejoras, para lograr la mitigación de los efectos de la contaminación atmosférica en la ciudad de Cienfuegos, Cuba.

Palabras clave: gestión del riesgo, generadores de vapor, eficiencia energética, calidad del aire.

This paper is proposes a procedure for comparative internal and external risk of management to control the atmospheric emission, which are provoked by steam boiler of service sectors. This are located at different points of the urban zone, with are considered as combustion fixes sources. The proposal takes the most actuality legal and standard documents about the subject as a base. This procedure pays attention to the risk management related to planning, technology, operation and effect of the atmospheric pollution, in order to compare the potential risk and the priority in a making decision processes, in a control action and improvement plan, to achieve the mitigation of effect the atmospheric pollution in Cienfuegos city, Cuba.

Key Words: risk management, steam boiler, energy efficiency, air quality.

INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX los combustibles derivados del petróleo han sido la principal fuente de energía para la industria, los servicios y el transporte. La quema de combustibles en los motores de combustión interna y los generadores de vapor, además de producir energía, emiten contaminantes atmosféricos. La presencia de estas sustancias contaminantes tiene un impacto desfavorable en el medio ambiente [1]. Los análisis internos de los sistemas energéticos señalan tres direcciones principales en las investigaciones actuales: elevación de la eficiencia energética, sustitución de fuentes de energía y empleo de tecnologías limpias [2]. De todas, la eficiencia energética es la más promocionada. Estudios de casos sobre este tema

se presentan en: Suecia con una iniciativa del gobierno para implementar un programa de energía y de auditorías energéticas [3]. En la República de Corea se ha trabajado en actividades de ahorro de energía en industrias y para determinar los factores de intensidad energética [4]. En la actualidad existen normativas que ayudan a las organizaciones a establecer sistemas y procesos para mejorar su desempeño energético, así como la implementación del modelo de un Sistema de Gestión de la Energía [5]. Todos como medios para aumentar la eficiencia energética y conducir a la reducción de impactos ambientales significativos.

El análisis externo de la generación de energía, llamado también externalidades, es tratado en la literatura especializada de diversas formas, la problemática de la contaminación atmosférica en las esferas internacional, nacional y principalmente local, ocupa la atención de un gran número de científicos; actualmente, se reportan diversas vías, métodos y herramientas; aunque, su aplicación particular depende de un balance costo-beneficio. Con el propósito de identificar y predecir episodios de avance de baja calidad del aire en las escalas regional y local, se han desarrollado modelos de pronóstico de calidad del aire, considerando las características de los contaminantes atmosféricos y las consecuencias de los impactos en la salud de las personas y la calidad de vida [6]. Para el control de la contaminación atmosférica, se han desarrollado diversas herramientas: inventarios de emisiones [7], modelos de dispersión de la calidad del aire asociados con escenarios de emisiones [8]. Sin embargo, no hay una estrategia universal para la gestión de la calidad del aire que pueda ser aplicada a todas las ciudades del mundo, tanto de países desarrollados como en desarrollo. Existen diversos enfoques y metodologías con mayor o menor grado de complejidad, en general sobre la base de principios comunes[9].

En los países desarrollados la calidad del aire local se gestiona mediante modelos, sistemas y planes, que contribuyen al diagnóstico de los problemas bajo una perspectiva regulatoria y a la de toma de decisiones; ejemplos existen en España, Portugal, Grecia, Gran Bretaña y Canadá; se destaca Estados Unidos con su sistema de calidad, que es el más abarcador y actualizado [10]. Según Granada Aguirre (2010) diversos autores han propuesto estructuras para el manejo de la calidad del aire, pero existen pocos modelos, metodologías y procedimientos, así como información para la gestión de la calidad del aire urbano en países en vías de desarrollo [11]. Estudios realizados sobre la gestión de la calidad del aire en Sudáfrica, determinan los desafíos que deben enfrentar los países en vías de desarrollo para la introducción de las mejores prácticas internacionales [12]. Mayores avances presenta Corea con una estrategia ambiental integrada, México con programas de gestión de la calidad del aire (PROAIRE), en ciudades y áreas metropolitanas y Colombia que trabaja con un plan de gestión de la calidad del aire (PGCA), que tiene como bases de diseño la NTC ISO 14001 [13]. En el caso de Cuba existen pocos estudios sobre la calidad del aire, generalmente ejecutados por el grupo de evaluación de impacto de Cubaenergía [14].

El desarrollo de modelos con enfoque de evaluación de riesgos, se reporta desde 1997 en Grecia, para la investigación de operaciones y planificación ambiental [15] y en Inglaterra para proveer una solución dinámica a los problemas de salud pública [16]. Las medidas de un programa ambiental de la calidad del aire incluyen también, en ocasiones un estimado de riesgo a los contaminantes atmosféricos basado en emisiones, en concentraciones ambientales y en el efecto sobre la salud, los organismos y ecológicos [17]. Sin embargo, se considera que, con las herramientas para la gestión del riesgo que existen actualmente a nivel internacional se puede realizar un análisis más integral de estos en la evaluación de la calidad del aire [18]. La gestión de riesgos se ha convertido en una herramienta clave para su predicción y gestión en los diferentes niveles y así facilitar la toma de decisiones [18]. El pensamiento basado en riesgos permite a una organización determinar los factores que podrían causar que sus procesos y su sistema de gestión se desvíen de los resultados planificados, estableciendo preventivamente la puesta en marcha de controles, para minimizar los efectos negativos y maximizar el uso de las oportunidades de mejora [19]. La Resolución 60/2011, constituye un modelo estándar para el sistema de control interno en Cuba, que no contradice los requisitos de las normativas ISO en cuanto a gestión del riesgo, pero que tiene a su vez un alcance más amplio al supervisar y controlar todas las actividades de una organización y como requisito legal es de obligatorio cumplimiento por todo tipo de organizaciones [20].

Por otra parte, los sujetos de la gestión, ante el contexto externo, no tienen otra opción que convertirse en “comparadores”, lo que significa evaluar sistemáticamente el entorno y comparar situaciones con el fin de identificar cambios que, a su vez, generen modificaciones en los objetivos, en sus mecanismos o estructuras. De esta forma, la adopción de decisiones es el resultado de un proceso de reflexión que conduce a la definición de las modificaciones que se necesitan efectuar en lo interno para hacer frente a las condiciones y demandas externas [21]. Así el término gestión comparada de riesgos surge de la combinación del método comparado (un procedimiento orientado por sobre todo a poner hipótesis a prueba) [22] y la gestión del riesgo (herramienta para gestionar cualquier tipo de riesgo de una manera sistemática, transparente y fiable, dentro de cualquier alcance y de cualquier contexto) [18].

Por tanto la gestión comparada de riesgos constituye una metodología que permite interpretar los riesgos internos y externos inherentes a un proceso determinado y establecer prioridades para su gestión. En este caso específico, permite a partir del análisis causa-efecto desarrollar acciones de mejora, las que comunicadas a los decisores se convertirán en planes para controlar los objetivos y mitigar los impactos de la contaminación atmosférica producida por los generadores de vapor. Un estudio realizado para establecer la situación de la gestión de la calidad del aire a nivel local en Cuba, señaló como resultado que, para lograr una gestión eficaz de los procesos de control y vigilancia de la calidad del aire y comunicar una información adecuada a los tomadores de decisiones, se debe considerar la implementación en el país a escala local, de las herramientas de gestión identificadas como eficaces y utilizadas mundialmente como son: teoría de sistemas, gestión por procesos, mejora continua y gestión del riesgo [23].

A partir de este estudio se desarrolló una investigación que implementó el proceso de control de emisiones de contaminantes atmosféricos criterios, desde fuentes fijas a escala local en la ciudad de Cienfuegos; mediante un procedimiento el cual permitió, elaborar el inventario de emisiones, realizar mediciones y los cálculos al 80% de las fuentes seleccionadas [24]. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un procedimiento para el proceso de supervisión y control, que incluye la metodología de la gestión comparada de los riesgos internos y externos y que evalúa el proceso de control de emisiones atmosférica por generadores de vapor.

MÉTODOS EMPLEADOS

Para el cumplimiento del objetivo de la investigación se utilizaron los siguientes métodos: la observación y análisis, la síntesis y una aproximación al método de expertos; como técnicas se aplicaron la gestión por procesos y sistémica, encuestas a expertos sobre la gestión de riesgos, entrevistas a especialistas en energía y la gestión de riesgos, metodología para la gestión comparada del riesgo, bechmarking, diagrama de flujo, ciclo Deming, trabajo en equipo, tormenta de ideas y diagrama causa-efecto.

DESARROLLO

Antecedentes

Como parte de un trabajo para la mejora ambiental, se implementó un sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cienfuegos, este ha permitido un mejor desempeño ambiental de la localidad, mediante la ejecución de las actividades descritas en los procesos claves identificados que son: control de emisiones atmosféricas, vigilancia de la calidad del aire y comunicación, gestionados mediante un ciclo de mejora continua [25].

Específicamente el proceso de control de emisiones fue ejecutado mediante un procedimiento, que permitió conocer el inventario de emisiones y con el uso de herramientas tales como el diagrama de Pareto, se demostró que de las fuentes fijas de combustión ubicadas en la localidad, el mayor porcentaje está representado por los generadores de vapor (calderas). En la tabla 1, se relacionan los resultados de las corridas con las frecuencias acumuladas de las diferentes fuentes y en la figura 1, se representa el diagrama de Pareto, para la selección de las fuentes de mayor incidencia. Los datos para la construcción del gráfico de Pareto se presentan a continuación:

Las categorías de fuentes se determinaron según la clasificación que aparece en la NC TS 803: 2010, se consideraron 4 categorías para cada una de ellas se establece la cantidad:

1. Central Termoeléctrica Crudo (a1): 1
2. Grupo de Generación Distribuida Diesel (d1): 1
3. Calderas de vapor Fuel Oil (c3): 4
4. Calderas de vapor Diesel (c4): 13

Para la aplicación del diagrama de Pareto se utilizó el programa StadGrafic, en la tabla 1, se presentan los resultados y el diagrama en la Figura 1.

Análisis Pareto - Categorías de fuentes

Datos/Variable: Categorías de fuentes

Recuentos totales: 19,0

Número de clases: 4

Tabla 1. Resultados de las corridas con las frecuencias acumuladas de las fuentes

Etiqueta de Clase	Rango	Recuento	Ponderación	Puntaje Ponderado	Puntaje Acum	Porcentaje	Porcentaje Acum
4	1	13	1	13	13	68,42	68,42
3	2	4	1	4	17	21,05	89,47
2	3	1	1	1	18	5,26	94,74
1	4	1	1	1	19	5,26	100,00
Total		19		19			

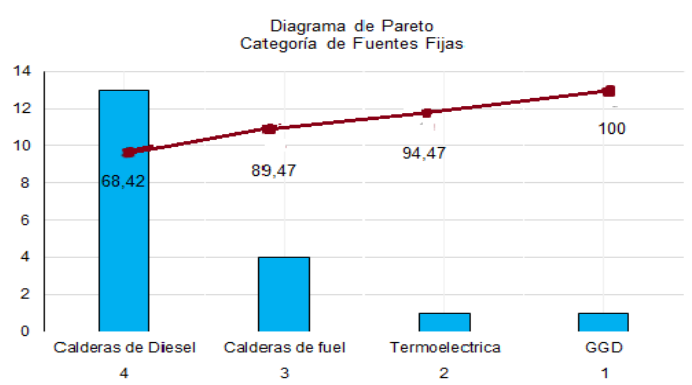


Fig. 1. Diagrama de Pareto, para la selección de las fuentes de mayor incidencia.

A las fuentes fijas que representan el 80% se les planificó el monitoreo de los contaminantes primarios NO₂ y SO₂ y fue resuelta la barrera que representa la baja disponibilidad de equipos de medición [23]. Sin embargo, el sistema incluye otros procesos de apoyo, como el de supervisión y control; que tiene como objetivo gestionar los riesgos de los procesos claves, en la figura 2, se representa el proceso de supervisión y control con sus entradas, salidas, controles y recursos.

La descripción del proceso supervisión y control se realizó mediante un procedimiento representado por el diagrama de flujo que aparece en la figura 3, en la confección del mismo se tomaron como base los requisitos legales y normativas actuales nacionales e internacionales y se aplicó un Bechmarking en las empresas de cementos y termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes", ambas de Cienfuegos.

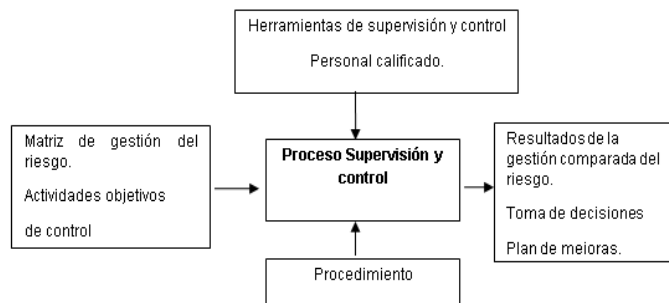


Fig. 2. Proceso de supervisión y control para la gestión de riesgos.

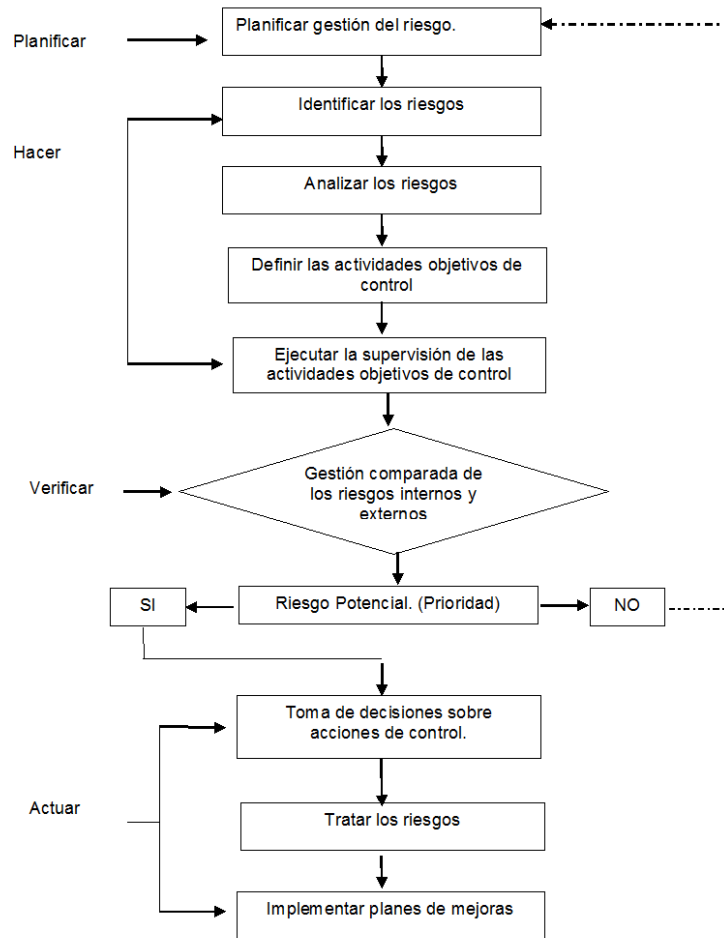


Fig. 3. Procedimiento que describe las actividades del proceso supervisión y control.

Descripción del procedimiento del proceso supervisión y control que incluye la gestión comparada de los riesgos internos y externos en el control de la contaminación atmosférica por generadores de vapor, sobre la base del ciclo Deming.

Objetivo: Garantizar el control de los riesgos definidos en el proceso de control de emisiones.

Alcance: Es aplicable al proceso de control de emisiones atmosféricas.

Planificar

Se inicia con la elección de los objetos de control según (NC ISO 31000: 2015) para lo cual se considera:

- Información recopilada.
- Datos de entradas y salidas de procesos.
- Recursos: humanos y económicos.
- Equipos aptos.
- Condiciones de trabajo adecuadas.
- Documentos normativos utilizados (vigencia).
- Registros generados en los procesos.
- Tiempo de ejecución de las actividades planificadas.
- Evaluación de los procesos en condiciones normales y anormales.
- Cumplimiento de planes.

Hacer

1. Identificar los riesgos.

La identificación del riesgo se realiza a partir de una tormenta de ideas, en una dinámica grupal con un total de 8 expertos, estos fueron evaluados para la investigación, según sus competencias en gestión de procesos y riesgos. Con los resultados se confecciona una matriz de riesgo, que contempla las actividades descritas en la tabla 2.

Tabla 2. Actividades consideradas para la identificación de riesgos en el proceso de control de emisiones de contaminantes atmosféricos por generadores de vapor		
Proceso Control de Emisiones		
No	Actividades Internas	Actividades Externas
1	Plan de Operación	Inventario de emisiones
2	Operaciones Normales	Plan de monitoreo
3	Uso de la Tecnología	Cálculos
4	Uso del Combustible	Legislación
5	Legislación	Información
6	Recursos económicos	Recursos económicos
7	Recursos humanos	Recursos humanos
8	Mantenimientos	Herramientas
9	Inspecciones	Equipos de medición
10	Planes de Emergencias	Resultados del proceso
11	Planes de Prevención	

La matriz de identificación del riesgo se elabora en una hoja de cálculo EXCEL considerando los riesgos siguientes: cumplimiento, calidad, controles, presupuesto, tiempo y gestión. Para cada una de las actividades se identifican los riesgos que las afectan.

Ejemplo:

Identificación de riesgos internos.

Para el uso del combustible los riesgos probables son: calidad y presupuesto para comprarlo, sin embargo en el mantenimiento los riesgos pueden ser todos los posibles.

Identificación de riesgos externos.

Para la legislación los riesgos probables son: cumplimiento, controles y gestión, sin embargo para el inventario de emisiones y el plan de monitoreo los riesgos pueden ser todos los posibles.

2. Analizar los riesgos.

La matriz de análisis del riesgo se confeccionó teniendo en cuenta los aspectos siguientes: naturaleza del riesgo (internos y externos), ocurrencia [muy probable (**MP**), probable (**P**), poco probable (**PP**)], severidad [muy significativo (**MS**), significativo (**S**), poco significativo (**PS**)] y nivel de detección [alto (**A**), medio (**M**), bajo (**B**)].

3. Evaluación del riesgo.

Se asignan valores: 1, 2, 3 a cada aspecto incluido en la evaluación, el mayor valor 3 representa el mayor nivel de riesgo, luego se aplica la ecuación (1), que combina cada aspecto considerado, para el mayor valor 3 sería: muy probable (**MP**), muy significativo (**MS**) y alto (**A**) esto permite establecer el orden de prioridad para las acciones. Vea ecuación (1):

$$SOD = (S)(O)(D) \quad (1)$$

Donde:

S: Severidad

O: Ocurrencia

D: Detección

A mayor valor *SOD* ---- mayor prioridad del riesgo.

Los resultados de la aplicación de la ecuación (1), combinando severidad, ocurrencia y detección de forma genérica para evaluar los riesgos se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la aplicación de la fórmula para evaluación de los riesgos			
Evaluación del Riesgo.			
SOD	Prioridad: S x O x D		
	3x3x3=27	3x2x3=18	3x1x2=6
	2x3x3=18	2x2x3=12	2x1x1=2
	1x3x2=6	1x2x2=4	1x1x1=1

En la tabla 4, se presentan los resultados de la evaluación de los riesgos para el proceso de control de emisiones, considerando las actividades internas relacionadas en la tabla 2.

Datos de la tabla 2, para las actividades internas:

Total de actividades internas: 11

Total de consecuencias internas: 50

Tabla 4. Resultados de la evaluación de los riesgos internos para el proceso control de emisiones según el procedimiento para el proceso de supervisión y control				
Cantidad de consecuencias internas	Ocurrencia	Severidad	Detección	Prioridad
4	MP	MS	Alto	27
23	P	MS	Alto	18
2	P	S	Alto	12
21	PP	MS	Medio	6

El análisis demostró que la mayor prioridad (27) es el estado de la tecnología que tiene más de 15 años de explotación, sin embargo los recursos económicos que le siguen en prioridad (18), no permiten invertir en mejorar esta. Otros riesgos considerados con prioridad (18) están relacionados con las actividades de mantenimiento, operaciones, inspecciones y planes de prevención, que son la clave para mejorar este proceso cuando se gestiona la eficiencia energética, menor prioridad (12), se concede al combustible ya que la mayoría utiliza Diesel y (6) a la legislación existente, los recursos humanos que están capacitados, los planes de mantenimiento que se cumplen y los planes de emergencias que son de obligatorio cumplimiento. En la tabla 5, se presentan los resultados de la evaluación de los riesgos para el proceso de control de emisiones, considerando las actividades externas relacionadas en la tabla 2.

Datos de la tabla 2 para las actividades externas:

Total de actividades externas: 10

Total de consecuencias externas: 32

El análisis externo parte de la base de implementación del sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire por lo que las actividades consideradas, son elementos del proceso de control de emisiones que requieren un control periódico, por tanto la mayor prioridad (18) es para el incumplimiento de la normativa vigente, el uso de los equipos de monitoreo, el inventario de emisiones, datos, con prioridad (12) se consideran los resultados del proceso, con más baja prioridad (6) están los recursos humanos y el plan de monitoreo, quedando con (4) los cálculos y las herramientas.

Tabla 5. Resultados de la evaluación de los riesgos externos para el proceso control de emisiones según el procedimiento para el proceso de supervisión y control.				
Cantidad de consecuencias externas	Ocurrencia	Severidad	Detección	Prioridad
17	P	MS	Alto	18
1	P	S	Alto	12
11	PP	MS	Medio	6
3	PP	S	Medio	4

Verificar

Para la aplicación de la gestión comparada de los riesgos en el proceso de control de emisiones, se utilizó una adecuación de la herramienta diagrama causa-efecto que consistió en la ubicación de los riesgos internos y externos de las actividades identificadas como objetivos de control y obtenidos con la matriz de gestión del riesgo como de alta prioridad, para ser comparados, como causas del efecto principal a minimizar del proceso, se detallan las subcausas que provocan los riesgos y se establecen las prioridades para la ejecución de las acciones de mejoras. Esto se realizó a través de la tormenta de ideas generada por el grupo de expertos evaluados para la investigación. Los resultados de la aplicación de la metodología de la gestión comparada de riesgos en el proceso de control de emisiones atmosféricas se presentan en la figura 4:

Riesgos Internos

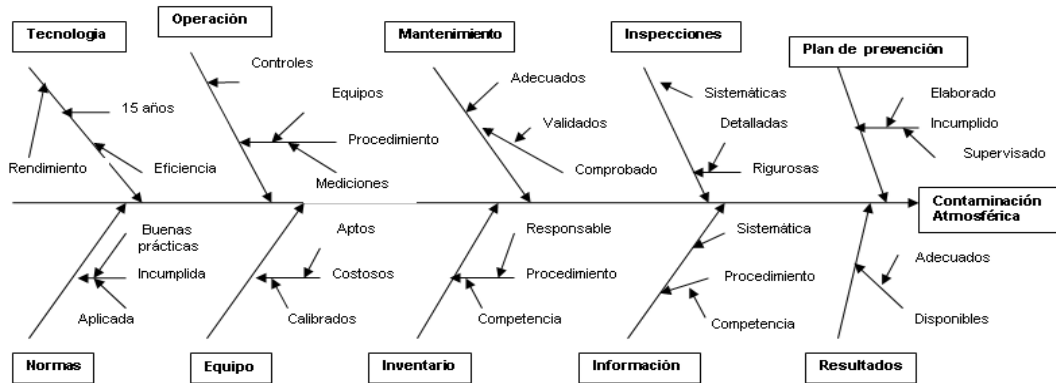


Fig. 4. Diagrama causa-efecto para la gestión comparada de riesgos en el control de la contaminación atmosférica.

Riesgos Externos

Los resultados de la aplicación de la gestión comparada de riesgos son:

Efecto: Contaminación Atmosférica en salud, ecosistemas, flora, fauna y patrimonio.

Total de riesgos: 10 (5 internos y 5 externos)

Causas primarias: 16

Causas secundarias: 13

El análisis costo-beneficio de los resultados de la comparación de los riesgos internos y externos, mostró que al realizar acciones para controlar los riesgos internos, tales como el incremento de la eficiencia energética, contribuye a la disminución de las emisiones de los contaminantes atmosféricos generados, y el costo es menor.

Oportunidades en lo interno para la ciudad de Cienfuegos:

- Los especialistas energéticos en las entidades generadoras estudiadas han sido formados y poseen las competencias requeridas, como resultado del trabajo realizado por el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos.
- Existe un trabajo iniciado en 1998 para el incremento de la eficiencia térmica en calderas pirotubulares que puede recuperarse[26].
- Se cuenta con la base legal y normativa para uso y explotación de calderas, según el catálogo de Normas Cubanas 2015.
- Se cumple la planificación del mantenimiento a los equipos generadores de vapor, información suministrada en entrevista por ALASTOR.
- Existe una preparación sobre el uso de documentos normativos, legales y reglamentarios, información suministrada en entrevista por Unidad Territorial de Normalización (UTN).
- Existe voluntad de cooperación entre las organizaciones relativa al uso de equipos para la ejecución de acciones de monitoreo, resultados de encuestas a especialistas [24].

Oportunidades en lo externo para la ciudad de Cienfuegos:

- Aplicar el procedimiento de supervisión y control mediante la gestión comparada de los riesgos en la evaluación de la calidad del aire.
- Obtener la información que permita el análisis y la comunicación para la toma de decisiones.

Actuar

4. Tratamiento de los riesgos internos.

Riesgos internos

Se propone implementar un plan de mejoras que consiste en:

- Elaborar listas de chequeo y procedimientos, tomando como base los requisitos legales y normativos nacionales, relacionados con la operación y el mantenimiento de las Calderas.
 - Obtener eficiencia energética por el incremento de la eficiencia térmica.
 - Lograr el autocontrol de los recursos humanos en la operación, con el uso de listas de chequeo y procedimientos de forma sistemática.
 - Aumentar las actividades de mantenimiento para los generadores de vapor que cuentan con más de 15 años de explotación, realizar acciones predictivas y preventivas, así como supervisar todas estas actividades.
 - Realizar inspecciones a los generadores de vapor más rigurosas, enfocadas al logro de la eficiencia energética.
 - Capacitar a los operadores en el uso de documentos normativos relacionados con calidad del aire para lograr buenas prácticas.
 - Revisar que los planes de prevención consideren la contaminación atmosférica y los efectos que puede provocar el mal funcionamiento de los generadores de vapor.
 - Elaborar planes de emergencia que establezcan acciones para la alerta tecnológica y simulacros que involucren a todos los posibles receptores.
 - Mantener la cooperación para el uso de instrumentos de medición TESTO, FIRITE, que midan la emisiones de contaminantes atmosféricos, permitan la elaboración y cuantificación de las mismas, en inventarios de fuentes fijas de combustión elaborados con una frecuencia anual [24].
- Se definen responsabilidades y fechas de cumplimiento para los tratamientos propuestos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para la comprobación de la adecuación del procedimiento se convocó a un equipo de gestión, el que mediante tormenta de ideas, elaboro una encuesta en la que se definieron ocho aspectos: importancia de evaluar los riesgos en el control de la contaminación atmosférica (1), adecuación de las matrices de identificación (2), evaluación y gestión de los riesgos internos y externos (3), metodología adecuada (4), identificación de los riesgos adecuada (5), análisis de los riesgos adecuada (6), tratamientos de los riesgos adecuada (7), asignación de responsabilidades adecuada y plan de acción eficaz (8), con cinco criterios para la evaluación: no importante, poco importante, medianamente importante, importante, muy importante. Los resultados de la aplicación de la aproximación al método de expertos y de la encuesta de adecuación del procedimiento se presentan a continuación:

Total de encuestados: 8

Aspectos considerados: 8

De los aspectos evaluados se puede concluir que la aplicación del procedimiento es adecuada, esto corrobora que la hipótesis sobre la problemática de la contaminación atmosférica ocupa la atención de un gran número de científicos, actualmente, y que la gestión de riesgos, a su vez, se ha convertido en una herramienta clave para la predicción y gestión del riesgo a diferentes niveles con la finalidad de facilitar la toma de decisiones. Los resultados en la implementación de este procedimiento y del sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cienfuegos, con las acciones propuestas a corto, mediano y largo plazo para la mejora del desempeño ambiental de la localidad, se sistematizarán a través

de la firma de un proyecto de colaboración entre la Universidad de Cienfuegos y el Centro Provincial de Meteorología, entidad responsable de esta actividad, según su objeto social.

1. El procedimiento propuesto constituye una vía para analizar los generadores de vapor desde el punto de vista interno y externo, con buenas prácticas internacionales como la gestión del riesgo combinada con el método comparado para implementar acciones de mejoras y tomar decisiones a partir del análisis costo-beneficio de estas.
2. La gestión comparada de riesgos en el control de la contaminación atmosférica aplicada constituye un instrumento que utiliza una combinación acertada de la gestión del riesgo, con la herramienta de calidad modificada diagrama causa-efecto que demostró a partir de los riesgos internos y externos considerados de prioridad alta la posibilidad de establecer los planes de mejoras y las prioridades de acción de los mismos.
3. El procedimiento fue evaluado por expertos, los cuales consideraron atractiva la propuesta para aplicar en el control de la contaminación atmosférica de generadores de vapor.

REFERENCIAS

- [1]. Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal. *Libros Blancos*. D.R. [en línea]. Impreso en México 101 p. 2012. [consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.11-Gestion-Calidad-del-Aire.pdf>.
- [2]. CEEMA. Colectivo de autores. *Gestión y Economía Energética*. Ed. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. 2006. 104 p. Cuba: Universidad de Cienfuegos. ISBN: 959-257-114-7. [consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.ucf.edu.cu/index.php/idi/centros-de-estudio/ceema>.
- [3]. Thollander P and Dotzauer E. (2010). "An energy efficiency program for Swedish industrial small-and medium-sized enterprises" [en línea]. *Journal of Cleaner Production*. No. 18. pp. 1339-1346 [consulta: Junio de 2014]. Disponible en: <http://www.dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.02>. DOI:10.1016/j.jclepro.2010.04.02.
- [4]. Suk S, Liu X and Sudo K. (2013). "A survey study of energy saving activities of industrial companies in the Republic of Korea" [en línea]. *Journal of Cleaner Production*. No. 41. pp. 301-311. [consulta: Diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.029>. DOI:org/10.1016/j.jclepro.2012.10.029.
- [5]. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACION, "Sistemas de Gestión de la Energía-Requisitos con orientación para su uso", *NC ISO 50001*, La Habana: ONN, 2011, 35 p.
- [6]. Russo A, Raischel F, Lind Pedro G. "Air quality prediction using optimal neural networks with stochastic variables" [en línea]. *Atmospheric Environment*. No. 79. pp. 822-830. 2013. [consulta: Marzo de 2015]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.072>. DOI:org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.072
- [7]. Cremades V L, Rincón G. "Valoración cualitativa de la calidad de un inventario de emisiones industriales para el modelado de dispersión de contaminantes en la costa nororiental de Venezuela". [en línea]. En: *INTERCIENCIA*, Vol. 36. No. 2. [consulta: Octubre de 2012]. Disponible en: <http://www.dialnet.unirioja.es>. ISBN: 0378-1844/11/02/128-07.
- [8]. Ponche J.-L. and Vinuesa J.-F. "Emission scenarios for air quality management and applications at local and regional scales including the effects of the future European emission regulation (2015) for the upper Rhine valley" [en línea]. *Atmos. Chem. Phys. European Geosciences Union*. No. 5. pp. 999–1014, 2005. [consulta: Octubre de 2012]. Disponible en: <http://www.atmos-chem-phys.org/acp/5/999/>. SRef-ID: 1680-7324/acp/2005-5-999.
- [9]. López Cabrera C. M. "Introducción a la Gestión de la calidad del aire, Instituto de Meteorología, Centro de química y contaminación atmosférica". 2006. 703 p. DESOFT. Ciudad de La Habana. Cuba. ISBN: 978-959-282-049-4.
- [10]. EPA. QA. "Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II. Ambient Air Quality Monitoring Program". [en línea]. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards. 2013. Air Quality Assessment Division. RTP, NC 27711. [consulta: Diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.QA-Handbook-Vol-II.PDF>. EPA-454/B-13-003.

- [11]. Granada Aguirre L. F. "Procedimiento para la gestión de las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas en Cali-Colombia". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Instituto Superior Politécnico "osé Antonio Echevarría". Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana. 2010. <http://www.cujae.edu.cu/search/tesis/>
- [12]. Naiker. Y, Diab, R.D. Zunckel, M. Hayes E.T. "Introduction of local Air Quality Management in South Africa: overview and challenges" [en línea]. *Environmental science and policy*. No. 17, pp. 62-71. 2012. [consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.doi:10.1016/j.envsci.2011.11.009>. DOI:10.1016/j.envsci.2011.11.009.
- [13]. Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. "Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual para la elaboración de planes de Gestión de la Calidad del Aire". [PDF] [en línea]., Bogota D. C, Colombia, 2009. 44p. [consulta: Septiembre de 2013]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co>. ISBN 4166 051009.
- [14]. Bermúdez García J, M. "Aplicación de instrumentos de Economía Ecológica con enfoque de Producciones Mas Limpias en el proceso de producción de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos". Tesis presentada en opción al título académico de master en Producciones +Limpias. Universidad de Cienfuegos "Carlos R. Rodríguez. Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Centro de Producción Más Limpia. 2011. <http://www.ucf.edu.cu/index.php/idi/centros-de-estudio/ceema>
- [15]. Daniel, S.E, Diakoulaki, D.C, Papis, C.P. "Operations research and environmental planning" [en línea]. *European Journal of Operational Research*. No. 102, pp. 248-263. 1997. [consulta: Junio de 2010]. Disponible en: [http://www.PII_S0377-2217\(97\)00_1_07-0](http://www.PII_S0377-2217(97)00_1_07-0) .
- [16]. Longhurst, J.W.S; Beattie C.I; Chatterton T.J; Hayes E.T. "Local air quality management as a risk management process: Assessing managing and remediating the risk of exceeding an air quality objective in Great Britain" [en línea]. *Environment International*. No. 32, pp. 934-947. 2006. [consulta: Febrero de 2014]. Disponible en: <http://www.doi:10.1016/j.envint.2006.06.006>. DOI:10.1016/j.envint.2006.06.006
- [17]. Schoenbach, V. J. *Comprendiendo los Fundamentos de la Epidemiología un texto en desarrollo* [en línea]. Chapel Hill: Departamento de Epidemiología. Escuela de Salud Pública. Universidad de Carolina del Norte. 2003. [consulta: Diciembre de 2010]. Disponible en: <http://www.epidemiolog.net>.
- [18]. International Organization for Standardization (ISO). "Risk Management- Principles and guidelines". [en línea]. ISO 31000: 2009, 30p. [consulta: Diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue-ics.htm>
- [19]. International Organization for Standardization (ISO). "Quality Management systems-Requirements" [en línea]. ISO 9001: 2015, 46 p. [consulta: Diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue-ics.htm>.
- [20]. Contraloría General de la República de Cuba. "Normas del Sistema de Control Interno". Resolución No 60/11. La Habana. Cuba. 2011, 18 p. <http://www.contraloría.cu/documentos/folletoSistema CI.pdf>
- [21]. Varela Álvarez, E, J. "Gestión y gobernanza local en perspectiva comparada: las políticas públicas de moderación administrativa en los gobiernos locales de Galicia y el norte de Portugal". Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Universidad Complutense, Madrid, España. 2002. 432 p.
- [22]. Pérez Liñan, A. "El método comparativo: Fundamentos y Desarrollos Recientes" [en línea]. Universidad de Pittsburgh. (Versión 1.2. nov de 2007). 2007. 36 p. [consulta: febrero de 2014]. Disponible en: <http://www.2007fundamentos.pdf>.
- [23]. Cruz Virosa, I; Luzardo Martínez, F. (2010). "La gestión de la calidad del aire: Una mirada a sus procesos en Cuba". *Revista Normalización*. vol. 2. ISSN: 0138-8118. <http://www.cgdc.cubaindustria.cu/products/revista-normalización.htm>
- [24]. Cruz Virosa, I; Cabello Eras, JJ, Sorinas González, L. "Propuesta de procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos". *Revista Ingeniería Industrial*. Vol. XXXVI. No. 1. enero-abril, 2015, p 2-16. ISSN: 1815-5936. Disponible en: <http://www.rii.cujae.edu.cu>

- [25]. Cruz Virosa, I, Cabello Eras, JJ, Sorinas González, L. "Evaluación de la calidad del aire en Cienfuegos. Mejoras en el desempeño ambiental". *CUBASOLAR*. Revista Científica de las Fuentes Renovables de Energía. No. 52, abril-junio. 2015. ISSN: 1028-6004. RNPS: 2220. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu>
- [26]. Lapido Rodríguez, M. "Incremento de la Eficiencia Térmica en Calderas Piro-tubulares por disminución de las pérdidas por calor sensible". Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Mecánica. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. 1998.

AUTORES

Ibis Cruz Virosa

Ingeniera Química, Master en corrosión y protección de metales y master ejecutiva en tecnología y gestión medioambiental, profesora Asistente, Centro de Estudios de Energías y Medio Ambiente, CEEMA, Universidad de Cienfuegos, Cuba.

e-mail: icvirosa@ucf.edu.cu

Miriam L. Filgueiras Sainz de Rozas

Ingeniera Electricista, doctora en ciencias técnicas, profesora auxiliar, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas, Facultad de Eléctrica, CUJAE, Cuba.

e-mail: miriaml@electrica.cujae.edu.cu

Luis Sorinas González

Ingeniero Termo Energético, Doctor en Ciencias Técnicas, profesor Titular. Centro de Estudios en Gestión de Ciencia e Innovación del Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (InSTEC). Cuba.

e-mail: sorinas@instec.cu

Juan José Cabello Eras

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias, profesor Titular. Universidad de la Costa. Colombia.

e-mail: jjcabe2013@gmail.com

Lissy Fernández Pérez,

Ingeniera Química, Máster en gestión y tecnología ambiental. Auditora líder (IRCA) en los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente, seguridad y salud y energético por las normas ISO y NC-ISO. Lloyd's Register Havana. Cuba.

e-mail: lissy@lloyds.cu