ECO SOLAR

REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

REVISTA CIENTÍFICA de las FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA

52

Presencia de metales pesados en material particulado
en aire. Estación de monitoreo INHEM, Centro Habana 1

Evaluación de la calidad del aire urbano en Cienfuegos.
Mejoras en el desempeño ambiental local 15

Utilización de modelos de dispersión atmosférica
en los escapes de sustancias peligrosas 34

Cálculo de la huella ecológica en la Ecoing 5
para portadores energéticos 49

Contaminantes atmosféricos procedentes de un generador
de vapor instalado en la UEB Conrado Piña 63

Aplicación de modelos de dispersión en la evaluación
del impacto ambiental atmosférico de proyectos de inversión 73

editorial cubasolar

Presencia de metales pesados en material particulado en aire. Estación de monitoreo INHEM, Centro Habana

Heavy metals presence in particulate material. INHEM monitoring station, Centro Habana

Por M.Sc. Miriam Martínez Varona,*
Lic. Mileydis Guzmán Vila,*
*Tec. Adisbel Pérez Cabrera**
*y Tec. Ariadna Fernández Arocha**
** Instituto Nacional de Higiene, Epidemiologia y Microbiología (INHEM), La Habana, Cuba.*
e-mail: mmartinez@inhem.sld.cu

Resumen

A pesar de que en la actualidad aún existe incertidumbre acerca de los efectos provocados por las diferentes especies químicas, la mayoría de los estudios apuntan que el mayor impacto en la salud viene causado por las partículas de carbono elemental (CE),compuestos orgánicos(CO), especialmente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), sulfatos, nitratos, y determinados metales como As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb. Objetivos: Determinar las concentraciones de partículas PM10, así como la composición en metales (Pb, Cd, As y Ni), de interés sanitario en la estación de monitoreo del INHEM. Materiales y métodos: se realizó un estudio longitudinal descriptivo del comportamiento de 119 muestras de material particulado (PM10) y de cuatro metales de interés sanitario (Pb, Cd, As y Ni) presentes en la fracción de PM10 en el período de enero de 2013 a diciembre de 2014. Las bases de datos fueron confeccionadas en Excel y procesadas mediante SPSS 11.5. El análisis estadístico incluyó valores de tendencia central, porcentajes de transgresión de las concentraciones máximas admisibles (CMA) y valores máximos. Se evaluó la correlación entre los metales y entre estos y el PM10 mediante el coeficiente Rho de Spearman. Resultados: Los valores de las medias de los metales y de la fracción de PM10 resultaron inferiores a las CMA, se observó una fuerte correlación entre el Pb y Cd y entre la fracción de PM10 con el Ni, Cd, y en menor medida entre PM10 y As.
Palabras clave: Contaminación atmosférica, PM10, Pb, Cd, As y Ni en material particulado

Abstract

Although at present there is still uncertainty about the effects caused by different chemical species, most studies suggest that the greatest impact on health is caused by elemental carbon particles (EC), organic compounds

(CO), especially polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), sulphates, nitrates, and certain metals such as As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni and Pb. The objective of this paper is to determine the concentrations of PM10 particles, as well as the composition in metals (Pb, Cd, As and Ni), of sanitary interest at the INHEM monitoring station. The Materials and Methods used are a descriptive longitudinal study of the behavior of 119 samples of particulate material (PM10) and four metals of sanitary interest (Pb, Cd, As and Ni) present in the fraction of PM10 in the period of January 2013 till December 2014. The databases were prepared in Excel and processed through SPSS 11.5. The statistical analysis included values of central tendency, percentages of transgression of the maximum admissible concentrations (CMA) and maximum values. The correlation between the metals and between these and the PM10 were evaluated by Spearman's Rho coefficient. The results obtained were: the values of the metal averages and the PM10 fraction were lower than the CMA, a strong correlation was observed between the Pb and Cd and between the PM10 fraction with the Ni, Cd, and to a lesser extent between PM10 and As.
Keywords: Atmospheric pollution, PM10, Pb, Cd, As and Ni in particulate material

Introducción

La contaminación ambiental es una compleja mezcla de gases, material particulado y componentes orgánicos, presente en el aire exterior e interior. Entre los componentes de la contaminación ambiental se encuentran los metales pesados; elementos que están presentes en el ambiente a través del ciclo geológico y por diversas actividades antropogénicas, como la industrialización, la combustión, los procesos de fundición, el tráfico vehicular, la minería, los escurrimientos agrícolas y la actividad petrolera, entre otros [Hossein, *et al*., 2013; Parra, 2014; Naccari, *et al*., 2009; Calderón, *et al*., 2004].

Se reporta que la contaminación del aire a nivel urbano, generada por vehículos, industrias y producción de energía, ocasiona la muerte de aproximadamente 1,2 millones de personas anualmente [World…, 2013]. Este fenómeno es de suma importancia en los países en desarrollo, ya que están expuestos a altos niveles de contaminación, incluso mayores que en países desarrollados [Qu, *et al*., 2012; Zaady, *et al*., 2010; Järup, 2003].

Los metales pesados se definen como aquellos que poseen una gravedad especifica mayor a 5 g/cm–3; son contaminantes inorgánicos ubicuos, altamente resistentes y no biodegradables [Arogunjo, 2007; Malk y Zeb, 2009], que una vez liberados al ambiente no se descomponen y por el contrario persisten [Hofer, *et al*., 2010; Cvjetko, *et al*., 2010]. Estos

contaminantes son liberados al ambiente por procesos naturales y antropogénicos, y su exposición es altamente reconocida como una amenaza para la salud humana. Los metales pesados han sido relacionados en humanos con problemas de retraso en el desarrollo, cáncer, daño renal, neurotoxicidad y muerte. Las mayores amenazas para la salud humana por parte de los metales pesados, están asociadas a la exposición a plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As), siendo el plomo y el cadmio los más tóxicos para humanos y animales, los cuales afectan principalmente el sistema nervioso central y los riñones, respectivamente [Molina, 2012; Hofer, *et al*., 2010; Rathanavel y Thillai, 2013); Rashed y Soltan, 2005; Tona, *et al*., 2013].

A pesar de que en la actualidad aún existe incertidumbre acerca de los efectos provocados por las diferentes especies químicas, la mayoría de los estudios apuntan que el mayor impacto en la salud viene causado por las partículas de carbono elemental (CE), compuestos orgánicos (CO), especialmente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), sulfatos, nitratos, y metales como As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb [WHO, 2003; Wichmann y Peters, 2003].

La presencia de cadmio y níquel como contaminante del aire está relacionada con la utilización de metales como el plomo y zinc en refinado y fabricación de sustancias. Si bien es cierto que unos 27 metales pesados se consideran tóxicos en mayor o menor proporción, los que se valoran con mayor peligro en el aire son: mercurio, níquel, cadmio, plomo, berilio y antimonio, asociados generalmente a fuentes industriales [Velasco, 2005].

Las partículas, solas o en combinación con otros contaminantes (por ejemplo metales) representan un peligro grave para la salud, ya que ingresan al cuerpo humano por las vías respiratorias y pueden tener un efecto tóxico. Los metales pesados en el aire se catalogan como contaminantes primarios, por ser sustancias que provienen directamente de las emisiones [Velasco, 2005].

Tomando como antecedente un primer estudio realizado en la misma estación de monitoreo en el período de noviembre de 2006 a abril de 2007, donde se analizaron muestras de aerosol obtenidas durante cinco meses para investigar el contenido elemental del material particulado (MPA), donde se obtuvieron concentraciones de 14 elementos (S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br y Pb) usando la técnica de emisión de rayos X inducidos por partículas (PIXE) [Piñera, et al., 2010], se realizó un estudio similar utilizando la absorción atómica para determinar la presencia de metales en material particulado.

Objetivo general

Determinar las concentraciones de partículas PM10, así como la composición en metales (Pb, Cd, As y Ni), de interés sanitario en la estación de monitoreo del INHEM.

Objetivos específicos

Cuantificar los niveles de inmisión de los metales de interés sanitario (Pb, Cd, As y Ni) presentes en la fracción de PM [Malik y Zeb, 2009].

Materiales y métodos

Se realizó un estudio longitudinal descriptivo, cuyo universo de estudio estuvo constituido por 119 determinaciones cada 5 días de material particulado menor de 10 micras (PM10) y metales (Pb, Cd, As y Ni) del aire, obtenidas en la estación de monitoreo Centro Habana, ubicada en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, como se aprecia en el mapa con las principales fuentes alrededor de la misma. El período de estudio fue de enero de 2013 a diciembre de 2014.

El muestreo se realizó según las normas establecidas para el monitoreo manual de 24 horas [World…, 1994], así como su posterior análisis en el laboratorio. Las técnicas analíticas empleadas fueron: material particulado de bajo volumen para PM10 UNE-EN 12341 [Normas…, 1999]. Para determinar la presencia de metales se utilizó se utilizó la norma UNE 77230 [Normas…, 1998] y UNE-EN 14902 [Normas…, 2006]. En todos los casos los valores de concentración de los contaminantes se expresaron en mg/m^3.

Se evaluó el comportamiento diario de los contaminantes, estratificado por días de semana y por meses.

Los datos primarios fueron procesados mediante MS EXCEL 2000 y posteriormente procesados mediante el sistema SPSS 11.5. (Statistical Package for Social Sciences) (SPSS 2002).

El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central y el porcentaje de transgresión de la norma para cada contaminante.

Se tomó como concentración máxima admisible (CMA) para el PM10 50 µg/m3; 1 $µg/m^3$ para 24 horas y 0,5 media anual en el caso del plomo (Pb); para el cadmio (Cd) 0,02 $µg/m^3$ para 24 horas y 0,01 $µg/m^3$ media anual; en el níquel (Ni) 0,1 $µg/m^3$ para 24 horas y 0,02 $µg/m^3$ media anual, y para el arsénico (As) 0,02 $µg/m^3$ 24 horas y 0,01 $µg/m^3$ media anual, de acuerdo a la NC 1020 [2014].

Se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de la distribución de las concentraciones de los metales estudiados.

Con vistas a evaluar la relación entre las concentraciones de los metales entre sí, y entre estos y el PM10, se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman, dada la distribución asimétrica de los mismos.

La concentración final de cada metal analizado fue calculada mediante la expresión siguiente:

$\mu g/m^3$ = ($\mu g/mL$ * 50 mL)/volumen de aire filtrado en m^3

Donde:
$\mu g/mL$ = Lectura registrada por el equipo de absorción atómica
50 mL = Volumen de muestra analizada

Fig. 1. Mapa de la zona urbana de La Habana, que muestra la situación del sitio de muestreo (en rojo en el centro). Se pueden ver además las avenidas e industrias principales. El Monumento de la Plaza de la Revolución (10) se incluyó para tener una referencia de la ciudad. A la derecha una tabla con los nombres de los lugares de interés y distancias hasta el lugar de muestreo.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se observan los valores de tendencia central; en el caso de la fracción de PM10 la media se encuentra por debajo de la CMA para promedio de 24 horas; sin embargo, se obtuvieron máximos que aunque no llegan a duplicar las CMA, son a tomar en consideración; con relación a las muestras estudiadas 11,8 %; sobrepasan los valores de las CMA referidos en la NC 1020-2014.

Al analizar el comportamiento de los metales en el caso de Pb y As se obtuvieron valores muy por debajo de las CMA; sin embargo, para Ni y Cd se obtuvieron valores máximos que superan la norma para promedio de 24 horas; si analizamos los resultados con el valor de la media anual

en ambos casos, Ni y Cd, la media obtenida está por encima de la recomendada en la NC.

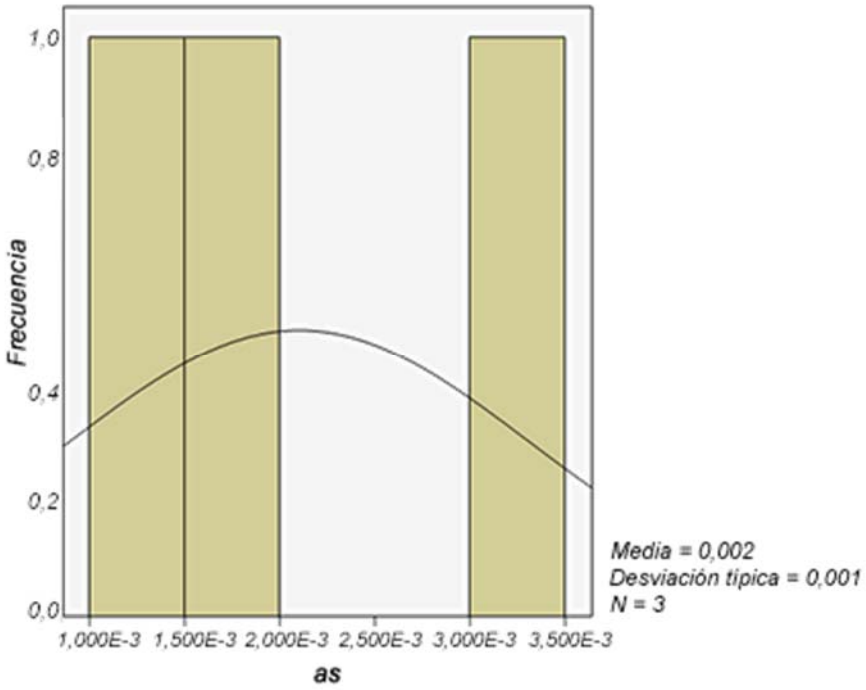
Según Fernández, *et al*. [2000] se plantea que los metales Pb, Cu, Ni, Cr, Cd y Fe, encontrados en las muestras de partículas suspendidas totales son atribuidos principalmente al tráfico vehicular, mientras que metales como Fe, Al, Pb, Cu y Cr aparecen en diferentes tipos de fuentes como suelo, tráfico vehicular e industrias. Otros autores [Sternbeck, *et al*., 2002; Machado, *et al*., 2008] consideran que los metales derivados de los vehículos son principalmente Cu, Zn, Cd, Sb, Ba y Pb; sin embargo, la combustión es una fuente insignificante de Ba, Cu, Pb y Sb. En el estudio realizado en la estación de monitoreo del INHEM en el período 2006-2007 [Piñera, *et al*., 2010], se planteó que el Ni es emitido generalmente por la quema de combustibles residuales.

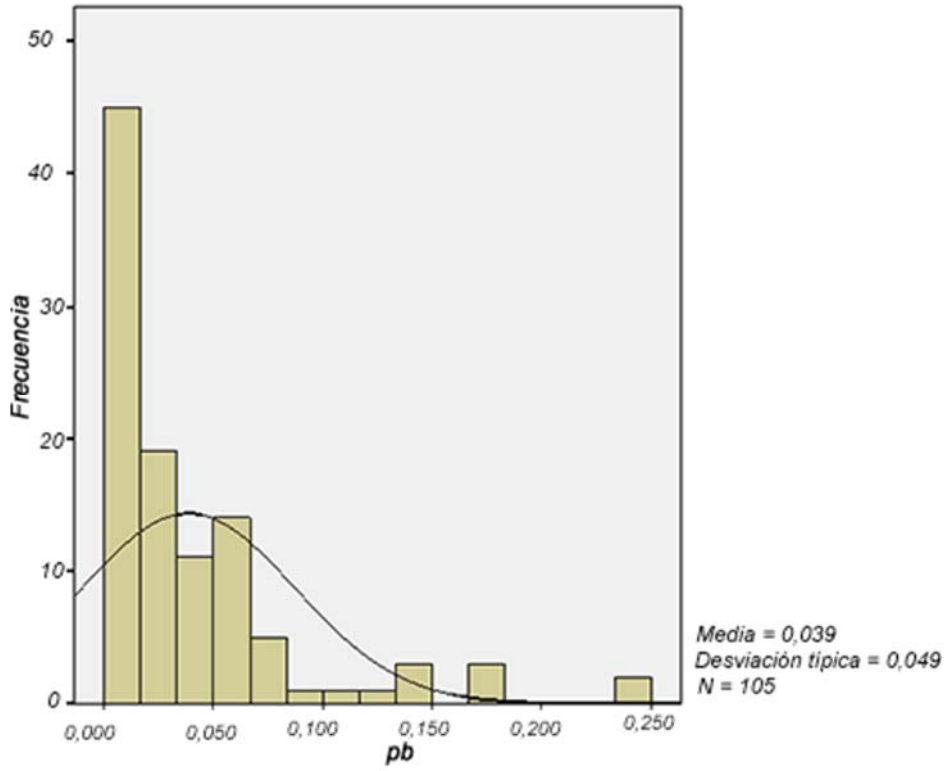
Tabla 1. Valores resúmenes y porcentajes de transgresión de las CMA. Período 2013-2014

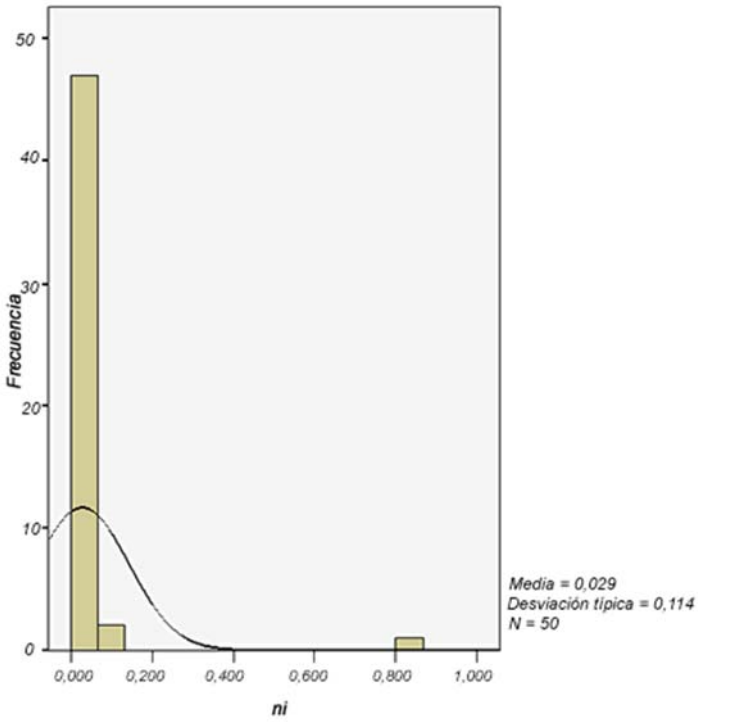
Contaminante	**Concentraciones (µg/m*3*)**				**Porcentaje superior a la CMA para promedio de 24 horas**
	Media	**mínimo**	**Máx.**	**CMA**	
PM10	30,6748	1,80	**82,80**	**50**	11,8
Pb	0,03856	0,001	0,249	1	-
Cd	0,00460	0,001	**0,026**	**0,02**	1
Ni	0,02888	0,002	**0,806**	**0,1**	2
As	0,00210	0,001	0,003	0,02	-

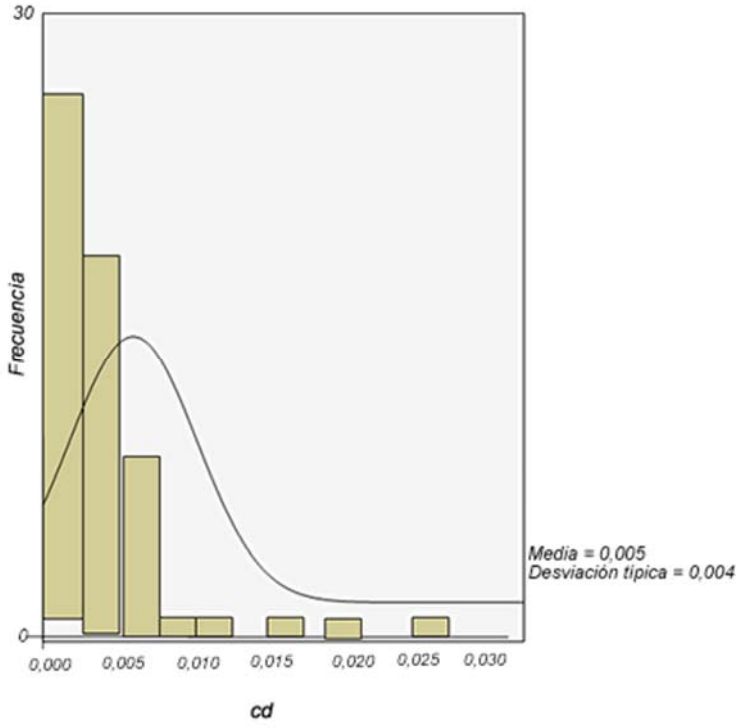
Al aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de los metales se aprecia que no eran significativas ($p < 0,05$), y por lo tanto rechazamos la hipótesis nula, es decir, todos los metales mostraron una distribución no normal como se muestra en las figuras 2, 3, 4 y 5; por tal motivo se aplicó el test de correlación de Rho de Spearman para determinar la correlación entre todos los metales.

Al aplicar el mismo test en la fracción de PM10, la significación fue ($p > 0,05$), por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, es decir PM10 mostró una distribución normal. Se procedió a realizar métodos estadísticos no paramétricos en todo el estudio; para la matriz de correlación entre los metales y el PM10 se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman.


1,0
0,8
0,4
0,2
0,0
Frecuencia
1,000E-3
1,500E-3
2,000E-3
2,500E-3
3,000E-3
3,500E-3
as
Media = 0,002
Desviación típica = 0,001
N = 3


50
40
30
20
10
0
Frecuencia
0,000
0,050
0,100
0,150
0,200
0,250
pb
Media = 0,039
Desviación típica = 0,049
N = 105





Figs. 2, 3, 4 y 5. Histogramas del comportamiento de la normalidad de los metales.

En la tabla 2 se aprecia una fuerte correlación entre el Pb y el Cd; esto se puede explicar ya que se plantea en la literatura, por la mayoría de los

autores, que el origen de estos dos metales es atribuido principalmente al tráfico vehicular [Sternbeck, et al., 2002; Machado, et al., 2008].

La tabla 3 muestra la correlación entre la fracción de PM10 y los metales estudiados; se aprecia una correlación fuerte entre el Ni y la fracción de PM10, al igual que con el Cd y el As; esta última es una correlación más baja y en ambos casos la correlación es negativa. Este resultado puede ser explicado ya que no necesariamente la fracción de PM10 contiene metales, y se sabe que está constituida por muchos otros metales no estudiados y otros compuestos químicos.

Tabla 2. Coeficiente de correlación entre los metales Rho de Spearman

Metales	**As**	**Ni**	**Cd**
Pb	R = 0,138 Sig. 134	R = –0,081 Sig. 383	R = 0,592(*) Sig. 000
Cd	R = 0,119 Sig. 198	R = –0,178 Sig. 0,053	
Ni	R = 0,65 Sig. 482		R = –0,178 Sig. 0,053

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).*

Tabla 3. Coeficiente de correlación entre los metales y PM10 Rho de Spearman

Metales	**As**	**Ni**	**Cd**	**Pb**
PM10	R = –0,223(*) Sig. 0,015	R = 0,305(**) Sig. 0,001	R = –0,355(**) Sig. 0,000	R = –0,082 Sig. 0,373

** La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).*
*** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).*

Con relación a las figuras 6 y 7 se analizan el comportamiento de los metales estudiados y la fracción de PM10 todos los días de la semana, y se aprecia que en sábados y domingos existe una disminución marcada en la fracción de PM10; sin embargo, se observa una ligera disminución en el caso del Pb el lunes, y para el Ni el miércoles y el viernes.

Esto son resultados esperados en el caso de PM10, ya que en esos días disminuye el tráfico vehicular en la zona de estudio, y como hemos estando planteando se conoce que el origen de los metales estudiados es atribuido

fundamentalmente al tráfico vehicular. En el caso de los metales Pb y el Ni no se comportaron de la forma esperada.

Estudios realizados en la propia estación concuerdan con estos resultados obtenidos [Martínez, et al., 2010; Martínez, et al., 2011], donde se observa una disminución del tránsito automotor y las actividades industriales en el territorio cercano del punto de muestreo.

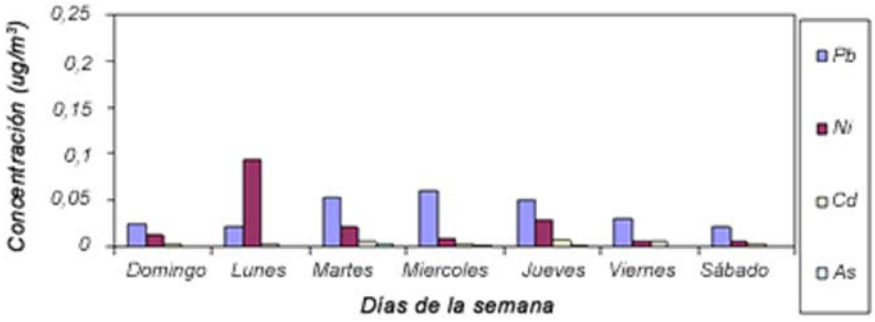


Fig. 6. Comportamiento de los metales estudiados por días de la semana.

Fig. 7. Comportamiento de la fracción de PM10 por días de la semana.

Cuando se analiza el comportamiento de los metales estudiados y de la fracción de PM10 por meses en el período 2013-2014, podemos apreciar en las figuras 8 y 9 que no existe un comportamiento estacionario definido, aunque sí en todos los casos un incremento en el mes de julio, época de verano, lo cual coincide con los últimos trabajos realizados en dicha estación [Martínez, et al., 2010; Martínez, et al., 2011].

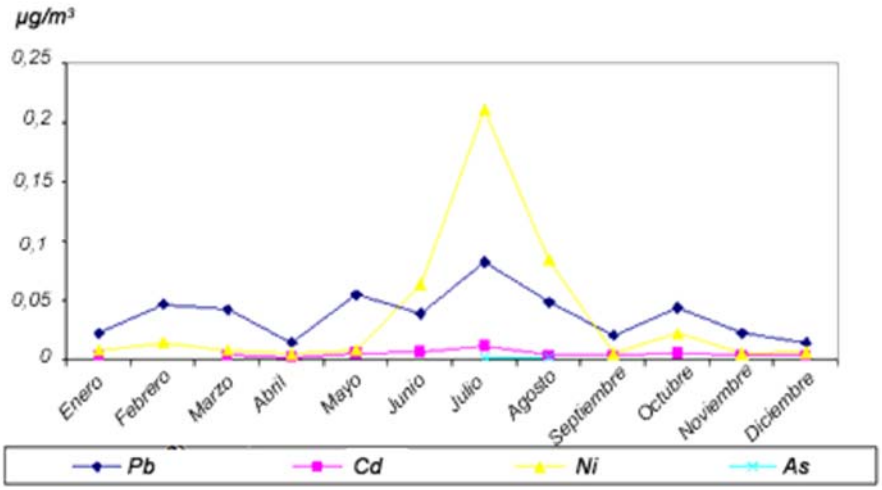


Fig. 8. Comportamiento de los metales estudiados enero 2013-diciembre 2014. Medias mensuales.

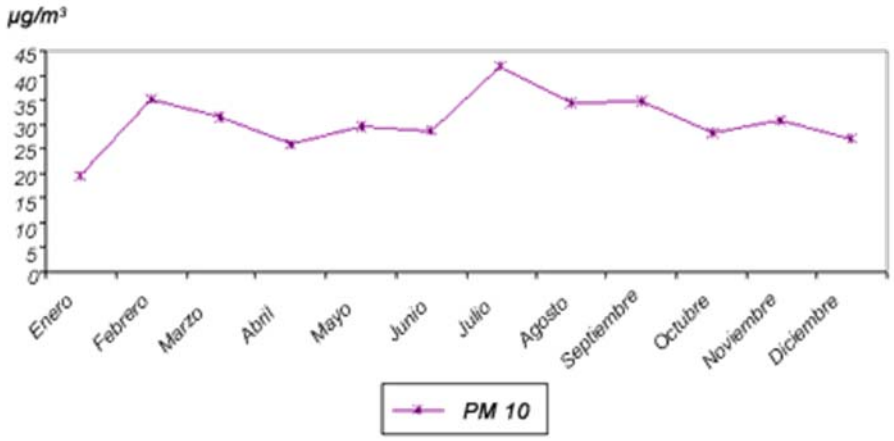


Fig. 9. Comportamiento de la fracción de PM10 enero 2013-diciembre 2014. Medias mensuales.

Conclusiones

- Los valores de las medias de los metales y de la fracción de PM10 resultaron inferiores a las CMA.
- Se aprecia una disminución marcada en la concentración de la fracción de PM10 los fines de semana en relación con el resto de la semana.
- Se observó una fuerte correlación entre el Pb y Cd y entre la fracción de PM10 con el Ni, Cd, y en menor medida entre PM10 y As.
- Las fracciones de PM10 y los metales estudiados mostraron un aumento de las concentraciones en el mes de julio.

- Se observó que en 11,8 % de las muestras, la fracción de PM10 superó la CMA.

Referencias

AROGUNJO, A. M. (2007). «Heavy Metal Composition of Some Solid Minerals in Nigeria and Their Health Implications to the Environment», en *Pax. J. Biol. Ci*., 10 (24): 4438-4443, 2007.

CALDERÓN, L.; W. REED, R. R. MARONPOT, C. HENRÍQUEZ, R. DELGADO, A. CALDERÓN, et al. (2004). «Brain Inflammation and Alzheimer´s-Like Pathology in Individuals Exposed to Severe Air Pollution», en *Toxicol. Pathol*. 2004; 32 (6): 650-658.

CVJETKO, P., S. TOLIC, S. SIKIC, B. BALEN, M. TKALEC, Z. VIDAKOVIC, et al. (2010). «Effect of Copper on Thetoxicity and Genotoxicity of Cadmiun in Duckweed (*Lemna minor* L.)», en *Arth. Hig. Rada. Toksikol*., 61: 287-296, 2010.

FERNÁNDEZ, A.; M. TERNERO, F. BARRAGÁN Y J. JIMÉNEZ (2000). «An Approach to Characterization of Sources of Urban Airborne Particles Through Heavy Metal Speciation», en Chemosphere - 2000. *Global Change Science2*, 123-136, 2000.

HOFER, C.; F. J. GALLAGHER Y C. HOLZAPFEL (2010). «Metal Accumulation and Performance of Nestlings of Passerine Bird Species at an Urban Brownfield Site», en *Environ. Pollut*., 158: 1207-1213, 2010.

HOSSEIN, S. A.; S. A. HASHEMI Y S. Y. TORABIAM (2013). «Studying the Reaction of Long Oak Apple Trees to the Absorption of Lead in the Industrial Park of Rasht», en *J. Agric. Biol. Sci*., 8 (2): 97-100, 2013.

JÄRUP, L. (2003). «Hazards of Heavy Metal Contamination», en *Br. Med. Bull*., 68: 167-182, 2003.

MACHADO, A.; N. GARCÍA, C. GARCÍA, L. ACOSTA, A. CÓRDOVA, M. LINARES, D. IRALDOTH Y H. VELÁSQUEZ (2008). «Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular», en *Rev. Int. Contam. Ambient*., 24 (4) 171-182, 2008.

MALIK, R. N. Y N. ZEB (2009). «Assessment of Environmental Contamination Using Feathers of *Bubulcus ibis* L., as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution, Pakistan», en *Ecotoxicology*, 18: 522-536, 2009.

MARTÍNEZ VARONA, M.; E. MOLINA ESQUIVEL Y A. FERNÁNDEZ AROCHA (2010). «Comportamiento de contaminantes atmosféricos en una zona de ciudad de La Habana en el período 2005-2009», en *Higiene y Sanidad Ambiental*, 10: 645-649, 2010.

MARTÍNEZ VARONA, M.; G. MALDONADO, E. MOLINA ESQUIVEL Y A. FERNÁNDEZ AROCHA (2011). Concentraciones diarias de contaminantes del aire en La Habana (Cuba). Hig. Sanid. Ambient. Disponible en: www.saludpublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc5154246108197_Hig. Sanid.Ambient.11.786-792.(2011).pdf.
MOLINA, V. B. (2012). «Non Carcinogenic Health Risks of Heavy Metals in Mudfish from Laguna Lake», en *Sci. Diliman*., 24 (1): 23-32, 2012.
NACCARI, C.; M. CRISTANI, F. CIMINO, T. ARCORACI Y D. TROMBETTA (2009). «Common Buzzards (Buteo buteo) Bio-indicators of Heavy Metals Pollution in Sicily (Italy)», en *Environ. Int*., 35: 595-598, 2009.
Norma UNE-EN 12341: 1999. *Calidad del aire. Determinación de la fracción PM10 de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia*. La Habana: 1999.
Norma UNE 77230: 1998. *Determinación del contenido de plomo particulado en aerosoles captados en filtros. Método de espectrometría de absorción atómica*. La Habana: 1998.
Norma UNE-EN 14902 2006. *Método normalizado para la medida de Pb, Cd, As y Ni en la fracción PM10 de la materia particulada en suspensión*. La Habana: 2006.
NC1020: 2014 *Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables*. La Habana: 2014.
PARRA, E. (2014). «Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados», en *Rev. CES Salud Pública*, 5(1): 59-69, 2014.
PIÑERA, I.; G. PÉREZ, F. ALDAPE, M. J. FLORES, E. MOLINA, M. RAMOS, M. MARTÍNEZ Y R. GUIBERT (2010). «Estudio de partículas finas de la atmósfera en Centro Habana», en *Contrib. Educ. Prot. Med. Amb*., 9: E39-E47, 2010.
QU, C. S.; Z. W. MA, J. YANG, Y. LIU, J. BI Y L. HUANG (2012). «Human Exposure Pathways of Heavy Metals in a Lead-Zinc Mining Area, Jiangsu Province, China», en *PLoS ONE*, 7 (11): e46793, 2012.
RASHED, M. N. Y M. E. SOLTAN (2005). «Animal Hair as Biological Indicator for Heavy Metal Pollution in Urban and Rural Areas», en *Environ. Monit. Asses*., 110: 41-53, 2005.
RATHANAVEL, C. Y P. THILLAI (2013). «Quantification of Heavy Metals and Minerals in Selected Indian Medicinal Plants Using Atomic Absorption Spectrophotometer», en *Int. J. Pharm. Bio. Sci*., 4 (3): 897-908, 2013.
STERNBECK, J.; A. SJÖDIN Y K. ANDREASSON (2002). «Metal Emissions from Road Traffic and the Influence of Resuspension - Results from Two Tunnel Studies», en *Atmos. Environ*., 36, 4735-4744, 2002.

TONA, G. O.; V. O. ADETUNJI, S. A. AMEEN Y A. O. IBIKUNLE (2013). «Evaluation of Lead and Cadmium Heavy Metal Residues in Milk and Milk Products Sold in Ogbomoso, Southwestern Nigeria», en *Pak. J. Nutr*. 12 (2): 168-171, 2013.
VELASCO GARCÍA, MAURICIO (2005). «La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales». Tesis, 2005.
WHO (2003). *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Ginebra: World Health Organization, 2003.
WICHMANN, E. Y A. PETERS (2000). «Epidemiological Evidence on the Effects of Ultrafine Particle Exposure», en *Phil. T. Roy. Soc*., (358): 2751-2769, 2000.
World Health Organization United Nations Environment programme. *GEMS/Air Methodology Reviews Quality Assurance in Urban Air Quality Monitoring*. WHO/UNEP. v.1. 1994.
World Health Organization (2013). «The Health and Environment Linkages Initiative (HELI). The Urban Environment». Disponible en: www.who.int/heli/risks/urban/urbanenv/en/index.html.
ZAADY, E.; L. BRENIG, D. CARATI, A. MEURRENS, Y. LÉNELLE, P. VANDERSTRAETEN, et al. (2010). «Heavy Metals Identified in Airborne Particles During Weekend Periods in Brussels Urban Environment», en *Forum Geographic*, 9 (9): 87-92, 2010.

Evaluación de la calidad del aire urbano en Cienfuegos. Mejoras en el desempeño ambiental local

Evaluation of urban air quality in Cienfuegos. Improvements in local environmental performance

Por M.Sc. Ibis Emilia Cruz Virosa,*
*Dr. Juan José Cabello Eras**, Dr. Luis Sorinas Gonzalez***,*
*Ing. Ana del R. Varela Haro**** y M.Sc. Sinai Barcia Sardinas******
** Universidad de Cienfuegos, Cuba.*
*** Universidad de la Costa, Colombia.*
**** Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Cuba.*
***** Unidad Territorial de Normalización (UTN), Cienfuegos, Cuba.*
****** Centro Provincial de Meteorología, Cienfuegos, Cuba.*
e-mail: icvirosa@ucf.edu.cu y jjcabe2013@gmail.com

Resumen

La implementación de un sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cienfuegos, constituye una herramienta que permite una mejora en la gestión de la calidad del aire urbano en esa localidad. Los procesos involucrados, control de la contaminación atmosférica, vigilancia de la calidad del aire y comunicación, gestionados mediante un ciclo de mejora continua permiten conocer, evaluar, comunicar e implementar acciones que mitiguen los daños y efectos de la industrialización y la urbanización a esa escala. El sistema ejemplificado en este trabajo responde al nuevo modelo económico cubano; a los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución 133, 137 y 218; también se adecua a las estructuras de los gobiernos municipales del país y a la estrategia ambiental nacional. Las metodologías empleadas en la aplicación del sistema son: el inventario de emisiones de fuentes fijas de combustión de la ciudad, la selección de 80 % de los focos más representativos aplicando el principio de Pareto, el monitoreo de emisiones en Calderas con los equipos Testo 300-l, Testo 450 y Firite, la vigilancia de inmisiones en una zona con el modelo de dispersión de contaminantes Disper 2.0 y la comunicación de los resultados mediante indicadores; se analizan los efectos en los receptores y se proponen medidas con el objetivo de lograr mejoras con el sistema implementado.
Palabras claves: Sistema de Gestión, calidad del aire, calidad del aire urbano

Abstract

The implementation of a management system for the evaluation of air quality in the city of Cienfuegos is a tool that allows improving urban air quality management. The processes involved, air pollution control, monitoring of air quality and communication, managed through a cycle of continuous improvement allow us to know, evaluate, communicate and implement actions to mitigate the effects of industrialization and urbanization at that scale. The system illustrated in this paper responds to the new Cuban economic model; guidelines of the Economic and Social Policy of the Party and the Revolution 133, 137 and 218. It is also in line with the municipal government's structures and the national environmental strategy. The methodologies used in the application of the system are: inventory of emissions of stationary combustion sources in the city, selection of 80% of the most representative foci applying the Pareto principle, monitoring of emissions in boilers with Testo 300 equipment -I, Testo 450 and Firite, monitoring of immissions in an area with the dispersion model of Disper 2.0 pollutants and the communication of results through indicators. The paper argues the effects on the receivers and propose measures for achieving improvements with the implemented system.
Keywords: Management system, air quality, urban air quality

Introducción

A escala local la contaminación atmosférica provoca daños como el efecto invernadero, *smog* fotoquímico y lluvias ácidas, que tienen consecuencias adversas en las personas, los ecosistemas, la vegetación, la fauna y el patrimonio; estos problemas constituyen una amenaza, pues son inmediatos y corresponde a los gobiernos locales tomar las decisiones para su control [Seoánez, 2002].

La emisión [Oficina…, 2000] de contaminantes a la atmósfera está sometida a un complejo proceso conocido como dispersión de contaminantes. Debido a su importancia, se han identificado factores que influyen sobre los mecanismos principales [Amigo, 2002], y de ellos depende la concentración de inmisión [Oficina…, 2000]. Estos factores constituyen los datos requeridos para la evaluación de este fenómeno, para a su vez conocer el estado de la calidad del aire en un punto, a una distancia X de la fuente o a grandes escalas [Oficina…, 1999].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha identificado la contaminación del aire urbano como un problema crítico de salud pública [Organización…, 2005]. Reportes recientes establecen que las megaciudades más contaminadas del mundo se encuentran en China,

Estados Unidos, Unión Europea, India, Rusia, México, Brasil, Indonesia e Irán.

Sin embargo, en los últimos años existe una tendencia al incremento de los efectos de los contaminantes atmosféricos en ciudades más pequeñas. Los estudios sobre las fuentes de contaminación han determinado que las grandes fuentes estacionarias, situadas a alguna distancia de las ciudades más densamente pobladas, dispersan sus emisiones en las capas más altas de la atmósfera; como resultado, las fuentes pequeñas tanto móviles como estacionarias contribuyen más a las concentraciones de contaminantes del ambiente urbano, y a los efectos perjudiciales que ellas causan sobre la salud [WBI, 2000].

En Cuba, establecer estrategias ambientales multidisciplinarias, integrales y efectivas es una necesidad ineludible a todos los niveles, tanto global, nacional, territorial como local. La importancia de los territorios en el tema ambiental es destacada en la Estrategia Ambiental 2011-2015 a través de sus principios: reconocimiento del derecho ciudadano a un medioambiente sano, donde la elevación constante de la calidad de vida de la población constituye el centro del quehacer ambiental nacional; participación activa de todos los actores sociales, tanto a nivel central como local, sobre la base de una acción coordinada, fundada en la cooperación, la corresponsabilidad y consideración de la territorialidad y la descentralización, como ejes de la gestión ambiental nacional.

La gestión ambiental también es considerada en la política del Estado cubano, plasmada en los lineamientos del PCC a continuación:

Lineamiento 218. Evaluación de impacto ambiental. Prestar atención prioritaria al impacto ambiental asociado al desarrollo industrial existente y proyectado, en particular, en las ramas de la química; la industria del petróleo y la petroquímica; la minería, en especial el níquel; el cemento y otros materiales de construcción; así como en los territorios más afectados; incluyendo el fortalecimiento de los sistemas de control y monitoreo.

Lineamiento 133. La investigación científica y la innovación tecnológica. Sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente y adecuar la política ambiental a las nuevas proyecciones del entorno económico y social. Priorizar estudios encaminados al enfrentamiento al cambio climático y, en general, a la sostenibilidad del desarrollo del país. Enfatizar la conservación y uso racional de recursos naturales como los suelos, el agua, las playas, la atmósfera, los bosques y la biodiversidad, así como el fomento de la educación ambiental.

Lineamiento 137. Propiciar el desarrollo de estudios relativos a la interacción de la sociedad y el medio ambiente [Partido…, 2011].

En la ciudad de Cienfuegos se han realizado estudios aislados sobre la calidad del aire: el Proyecto GEO-ciudades del PNUMA, el Monitoreo de la calidad del aire por encargo estatal en el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), el Proyecto de Cubaenergía para implementación del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA): Sistema Informático para el cálculo de emisiones en CTE Cienfuegos [Bermúdez: 2011], Refinería de Petróleo y Grupos Electrógenos [Cubaenergía, 2011; 2013]; sin embargo, excepto el primero, los datos de esos estudios son considerados información confidencial y no permiten conocer la situación actual de la contaminación atmosférica provocada por esas fuentes. Una situación similar existe en el país, por lo que se hace necesario apoyar a las ciudades en el fortalecimiento de las capacidades de sus autoridades locales y crear estructuras que atiendan y socialicen los problemas existentes a esa escala y en zonas de interés, para su solución.

La implementación de un sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cienfuegos basado en principios normalizados a nivel internacional [Oficina…, 2005c], constituye una herramienta que permite una mejora en la gestión de la calidad del aire urbano en esa localidad. Los procesos involucrados, control de la contaminación atmosférica, vigilancia de la calidad del aire y comunicación, gestionados mediante un ciclo de mejora continua [Oficina…, 2009], permiten conocer, evaluar, comunicar e implementar acciones que mitiguen los daños y efectos de la industrialización y la urbanización a esa escala.

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de la implementación de un Sistema de gestión que evalúa la calidad del aire urbano, para ayudar a la consecuente toma de decisiones en la ciudad de Cienfuegos.

Materiales y métodos

Las metodologías empleadas en la aplicación del sistema son: gestión por procesos [Oficina…, 2005c], inventario de emisiones de fuentes fijas de combustión de la ciudad [Oficina…, 1999; Comisión…, 2009], aplicación del principio de Pareto [Juran, 1997], monitoreo de emisiones en Calderas con los equipos Testo 300-l, Testo 450 y Firite, cálculo de las emisiones máximas admisibles [Borroto y Rubio, 2007], vigilancia de inmisiones en una zona con el modelo de dispersión de contaminantes Diper 2.0, y la comunicación de los resultados mediante indicadores [Oficina…, 2005a].

Resultados

El esquema del sistema para la evaluación de la calidad del aire urbano en la ciudad de Cienfuegos, toma como base las normas internacionales de gestión [Oficina…, 2005c; Oficina…, 2008] y responde al nuevo modelo económico cubano y a los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución 133, 137 y 218; también se adecua a las estructuras de los gobiernos municipales del país y a la estrategia ambiental nacional. El esquema se presenta a continuación:

Fig. 1. Sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire urbano en la ciudad de Cienfuegos.

Para la implementación del sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire urbano en la ciudad de Cienfuegos se identificaron tres procesos claves [Cruz, *et al*., 2010].

El desarrollo de las actividades que involucran a cada proceso se realizó sobre la base del esquema: entradas, salidas, recursos y controles. Una descripción de los procesos claves se muestra a continuación:

Proceso de control de emisiones

Objetivo: Proporcionar una herramienta para la estimación de las emisiones de contaminantes criterios NO_2 y SO_2, y elaborar los inventarios de emisiones de fuentes fijas locales con una frecuencia anual, para proporcionar información a los tomadores de decisiones.

Tabla 1. Componentes del proceso de control de emisiones

Entradas	Inventario de emisiones. Monitoreo
Recursos	Equipos de medición. Personal calificado
Controles	Documentos normalizativos. Procedimientos
Salida	Reporte de cuantificación de emisiones

Proceso de vigilancia de inmisiones

Objetivo: Evaluar la calidad del aire en la ciudad mediante el cálculo de las inmisiones de contaminantes, criterios NO_2 y SO_2; conocer su dispersión teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas predominantes en las zonas de estudio y los datos de las fuentes.

Tabla 2. Componentes del proceso de vigilancia de inmisiones

Entrada	Modelos de dispersión de contaminantes
Recursos	Personal calificado
Controles	Documentos normalizativos. Procedimientos
Salidas	Estado de la calidad del aire. Efectos de los contaminantes

Proceso de comunicación

Objetivo general: Procesar los datos y la información de los procesos relacionados en el sistema de gestión, y transformarlos en indicadores para uso de los actores claves en la toma de decisiones.

Tabla 3. Componentes del Proceso de Comunicación

Entrada	Reporte de cuantificación de emisiones. Estado de la calidad del aire
Recursos	Personal calificado
Controles	Documentos normalizativos. Procedimientos.
Salidas	Estado de la calidad ambiental. Indicadores de desempeño.

Salidas de los procesos

Salidas: Proceso de control de emisiones.
El inventario de emisiones se realizó según los parámetros de expulsión definidos en los modelos 1 y 2; en los Anexos B y C de NC 39, 1999, se consideraron todas las entidades que emiten los contaminantes atmosféricos criterios NO_2 y SO_2.

La búsqueda de datos se realizó ajustando la información recibida por tres fuentes diferentes:

1. Datos de las entidades **(**datos primarios)**.** Modelo primario de recolección de datos. Referencia Norma Cubana 39: 1999.
2. Datos Dirección Provincial de Economía y Planificación. Modelo 5073 Consumo de Portadores Energéticos anuales (Años 2011-2012-2013-2014).
3. Informe de Proyecto. Caracterización de las fuentes de contaminación atmosférica en la provincia de Cienfuegos. Inventario de Emisiones 2001. Unidad de Gestión CITMA.

Esto contribuyó positivamente al logro de una información, aunque no detallada, sí pertinente y confiable.

Inventario de emisiones

El inventario toma como base la información recopilada por las diferentes fuentes y tiene como objetivo determinar la concentración de los contaminantes criterios NO_2 y SO_2 en el momento de la emisión para cada fuente emisora. Otros datos de interés son:

- Composición del combustible. (Fuente: Certificado de Conformidad del producto. Laboratorio Refinería de Petróleo. Cienfuegos.)
- Análisis de Gases en Base Seca.

El inventario de emisiones de fuentes fijas de la ciudad se realizó en una hoja de cálculo Excel. Luego se priorizaron para el estudio las fuentes fijas de combustión y se procedió a la división del área que comprende la ciudad por zonas de estudio. La cantidad de fuentes fijas de combustión por zonas se presenta a continuación:

Zona 1: Ciudad: 9
Zona 2: Alrededores de la ciudad: 6
Zona 3: Zona Industrial O´Bourke: 4

La relación de estas fuentes fijas de combustión se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Relación de fuentes fijas de combustión de la ciudad

No	Entidad	Combustible	Sector
Zona 1 Ciudad			9
1	Hospital Pediátrico	Fuel Oil	CAP
2	Hospital Clínico Quirúrgico GAL	Fuel Oil	CAP
3	Facultad de Ciencias Médicas	Diésel	MES
4	Hogar de Ancianos	Diésel	MINSAP
5	Estadio 5 de Septiembre	Diésel	INDER
6	Centro Especializado Ambulatorio (CEA)	Diésel	CAP
7	Comedor Escolar	Diésel	MINED
8	Hotel Jagua	Diésel	MINTUR
9	Pedagógico	Diésel	MES
Zona 2 Alrededores de la ciudad			6
10	Fábrica de Refrescos. Rafael Espinosa	Diésel	MINAL
11	Fábrica de Refrescos. Pueblo Griffo	Diésel	MINAL
12	Lavandería Unicornio. SERVISA	Diésel	MINTUR
13	Fábrica de Conservas. Faro	Fuel Oil	CAP
14	Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos	Diésel	MES
15	Empresa de Glucosa	Fuel Oil	MINAZ
Zona 3 Industrial O´Bourke			4
16	Politécnico 5 de Septiembre	Diésel	MINED
17	Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos	Crudo	MINEM

18	Grupo de Generación Distribuida	Crudo	MINEM
19	Empresa Productora de Piensos	Diésel	MINAGRI

Para la selección de las fuentes de mayor incidencia se aplicó el principio de Pareto. Para la construcción del Gráfico de Pareto los tipos de fuentes fijas de combustión se subdividieron según NC TS 803: 2010, en correspondencia con el tipo de combustible; estas se presentan a continuación:

1. Central Termoeléctrica Crudo (a1): 1
2. Grupo de Generación Distribuida Diésel (d1): 1
   Estas dos fuentes realizan monitoreos pero consideran la información confidencial, por lo que no se incluyen en el estudio.
3. Calderas de vapor a) Calderas de biomasa (c1): 0
   a) Calderas de crudo (c2): 0
   b) Calderas de fuel oil (c3): 4
   c) Calderas de diésel (c4): 13
   d) Calderas de gas (c5): 0

Análisis Pareto. Categorías de fuentes
Datos/Variable: Categorías de fuentes
Recuentos totales: 19
Número de clases: 4

Tabla 5. Principio de Pareto con frecuencias acumuladas

Etiqueta de clase				Puntaje	Puntaje		Porcentaje
	Rango	Recuento	Ponderación	Ponderado	Acum.	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			

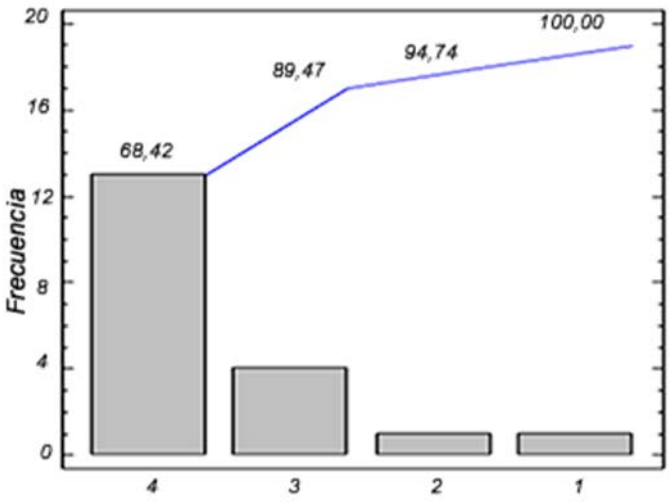


Fig. 2. Gráfico de Pareto para categorías de fuentes.

Se seleccionaron 17 fuentes fijas que representan 89,47 % del total para realizar el monitoreo. El plan elaborado se presenta a continuación:

Tabla 6. Plan de monitoreo de emisiones industriales

Fuente	Contaminantes médicos	Frecuencia	Horario	Tiempo de medición
Fija de combustión (3 muestras)	CO NOx SO_2	Anual	-Arrancada -Condiciones normales de operación	1 hora

Los equipos utilizados fueron los Analizadores de Gases Firite, Testo 300–l y Testo 450.
Los cálculos para la estimación de las emisiones de los gases de combustión se realizan a partir de la estequiométrica de la reacción de combustión según las ecuaciones 1, 2 y 3 [Borroto y Rubio, 2007]. En la integración del inventario de emisiones a escala local se colocan los resultados de los cálculos de los gases de combustión y de las cantidades de cada contaminante primario obtenidas de las mediciones y las estimaciones; el modelo para el registro de la cuantificación de las emisiones se presenta en una hoja de cálculo Excel para las fuentes seleccionadas.
Las ecuaciones para la estimación de emisiones son:

Volumen de gases de combustión seco (Vg)
$Vg = Vg^{\circ} + (\alpha\text{-}1)\, V^{\circ} + 0{,}00161\, d\, (\alpha\text{-}1)\, V^{\circ}$ m3/kg **(1)**

$$Vg = VRO2 + V^{\circ} N2 + V^{\circ}H_2O + (\alpha\text{-}1)\, V^{\circ} + 0{,}00161\, d\, (\alpha\text{-}1)\, V^{\circ}\ m^3/kg \quad \textbf{(2)}$$

Volumen de gases de combustión húmedo (Vg)

$$Vg = VRO2 + V^{\circ} N2 + VH_2O + (\alpha\text{-}1)\, V^{\circ}\ m^3/kg \quad \textbf{(3)}$$

El Reporte de Cuantificación de Emisiones contiene los siguientes datos: resultados de los cálculos, volumen de gases secos y húmedos emitidos por fuentes m3N, emisión de cada contaminante en (mg/m3N), comparación con las emisiones máximas admisibles para cada contaminante según [Oficina…, 2010], flujo de contaminantes en kg/año.

Análisis de resultados del proceso control de emisiones

Los valores de las emisiones de SO_2 y NO_2 constituyen indicadores de la condición ambiental en cuanto a contaminación atmosférica. Los datos del monitoreo de los años 2011-2013 se llevaron a gráficos de control por cada contaminante y se realizó una comparación con el año base 2011; estos últimos se presentan a continuación:

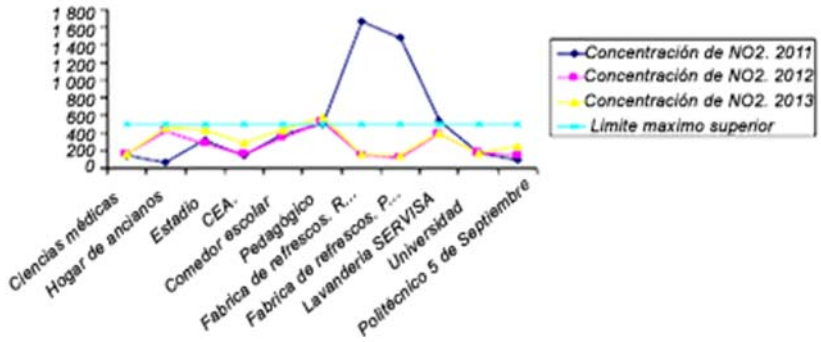


Fig. 3. Gráfico de control de emisiones de NO2 para diésel.

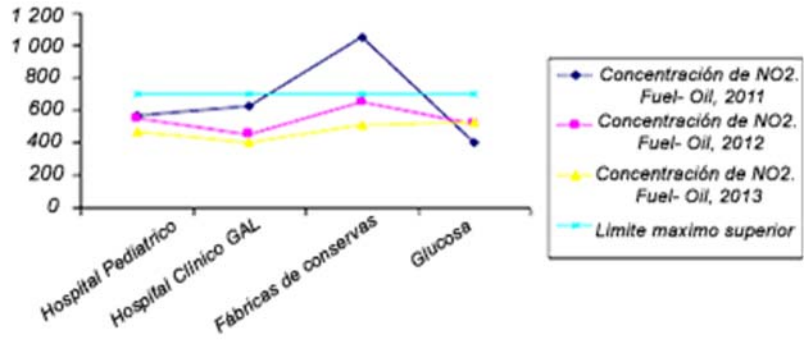


Fig. 4. Gráfico de control de emisiones de NO2 para fuel-oil.

Las fuentes que superan los valores de emisiones de NO2 en 2011 son: fábrica de refrescos Rafael Espinosa, fábrica de refrescos Pueblo Griffo y fábrica de conservas Faro; estas fuentes se encuentran en la zona de alrededores de la ciudad, por lo que cumplen con las condiciones de planificación física en cuanto a zonas de protección sanitaria; se consultaron además los radios mínimos admisibles según lista del apartado 4.5 de la norma NC 39: 1999 y se comprobó que los mismos se cumplen.

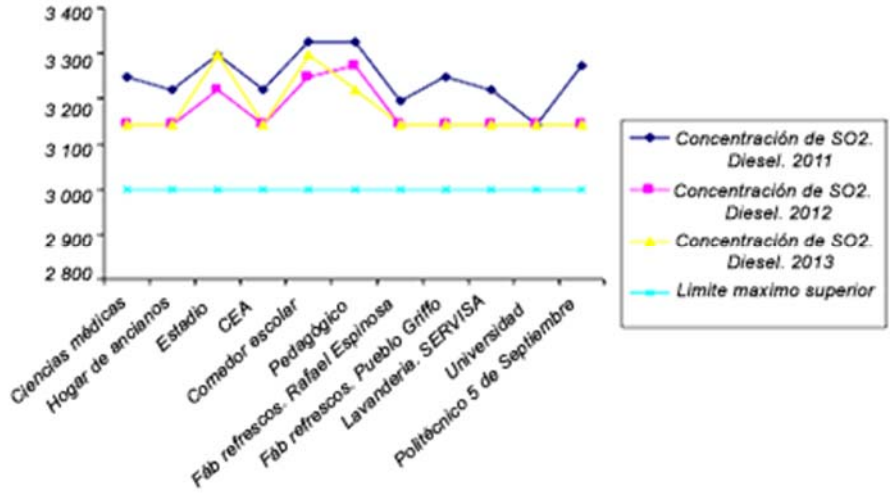


Fig. 5. Gráfico de control de emisiones de SO2 para diésel.

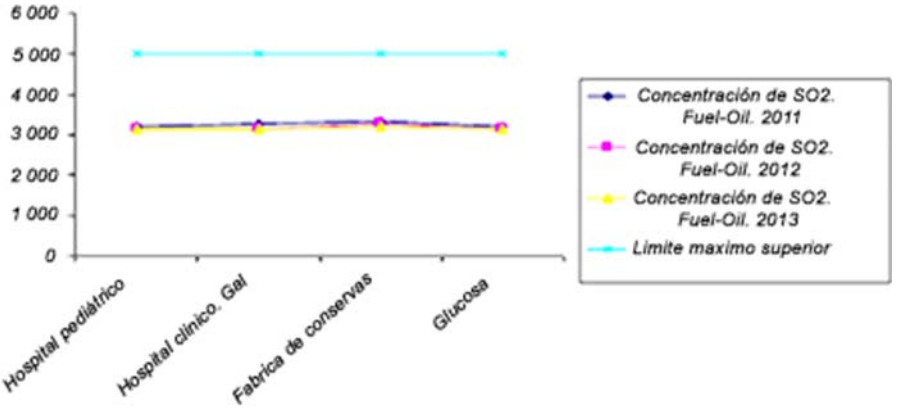


Fig. 6. Gráfico de control de emisiones de SO2 para fuel-oil.

En el caso de las emisiones de SO_2 todas las fuentes que utilizan diésel superan la emisión máxima admisible según [Oficina…, 2010]: 3000 (mg/Nm^3); la causa puede ser los valores en la composición del combustible según Certificados de Conformidad del Laboratorio Refinería de Petróleo de Cienfuegos, de aproximadamente 1,9 % de SO_2 para el diésel y aproximadamente 2,00 % de SO_2 en la del fuel-oil, que tiene una

emisión máxima admisible mayor según [Oficina…, 2010]: 5000 (mg/Nm^3), aunque los valores para el diésel no exceden considerablemente la norma.

En el análisis también se debe considerar que la mayor influencia reductora sobre la concentración máxima de las sustancias contaminantes es provocada por la altura H de la chimenea; debe calcularse la altura mínima admisible de expulsión de un contaminante para garantizar en todo momento la condición higiénica. El segundo factor en importancia es el flujo másico M y su grado de depuración, dado que CMA es proporcional a M. Otro factor es el número de chimeneas N para expulsiones en caliente [Oficina…, 1999].

Salidas: Proceso de vigilancia de inmisiones.

1. Búsqueda de datos.

Datos meteorológicos

- Estabilidad atmosférica (K) = 4
- Dirección del viento NE = 225º
- Velocidad media del viento: 10 km/h
- Altura de capa límite: 1250 m
- Temperatura máxima del aire: 28 ºC = 303 K (media de 30 años)

Datos de la fuente

- Cantidad de fuentes fijas (según zona de estudio)
- Tipo de fuente contaminante
- Flujo de salida del contaminante (g/s)
- Altura de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del contaminante (m/s)
- Temperatura del gas en el punto de salida (K)
- Diámetro del orificio de salida del gas (m)
- Tiempo de operación (h)

Los datos aparecen en una hoja de cálculo Excel para cada fuente fija de combustión considerada en la evaluación.

Los equipos de combustión evaluados, calderas, se ubicaron en el momento de su instalación de conjunto con Planificación Física en las zonas habitables del territorio, para las cuales se calcularon las zonas de protección sanitaria de los establecimientos de servicios a la población e instalaciones menores productivas en las que se encuentran (clases IV y V) [Oficina…, 1999]. Estas condiciones se tomaron en cuenta para el análisis.

El procesamiento de datos se realizó para cada fuente fija de combustión, ubicadas por zonas de estudio, aplicando el Modelo de Dispersión: Software Disper 2.0.

Los resultados de la modelación de la dispersión para NO_2, se presentan en un mapa que representa el indicador de las zonas de riesgo por alta concentración del contaminante.

Fig.7. Resultados de la modelación de la dispersión para NO2

El análisis de los resultados para este contaminante, basado en las normas de calidad del aire NCA, denominadas en Cuba como CMA de contaminantes en el aire, tiene como objetivo principal la protección de la salud a toda la población, incluyendo los grupos más susceptibles y su cumplimiento es obligatorio [Oficina…, 2014a]; sin embargo, para las fuentes que ejercen mayor influencia se analizan los siguientes factores: flujo de salida del contaminante, altura de la chimenea y tiempo de operación; los datos se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Datos de entidades que mayor influencia ejercen en los riesgos de contaminación por NO2

Entidad	Flujo de salida del contaminante (Kg/año)	Tiempo de operación (h)	Altura de la chimenea (m)
Zona 1			
H. Pediatric	783,958712	8	20
H. GAL	2119,6712	10	15

Zona 2			
Fábrica de Conservas	693,224957	12	12
Empresa de Glucosa	6768,82944	24	15 y 25

La comparación de la concentración de NO_2 en la modelación con la CMA de NO_2, según la NC 1020: 2014 CMA anual ($\mu g/cm^3$) = 35, no es representativa, ya que este límite se establece para afectaciones a la salud humana y los valores altos se encuentran a alturas y dirección de la dispersión no percibidas por estos receptores; las altas concentraciones se dirigen a la bahía.

Los resultados de la modelación de la dispersión para SO_2, se presentan en un mapa que muestra el indicador de las zonas de riesgo por alta concentración del contaminante.

Fig. 8. Resultados de la modelación de la dispersión para SO_2

Los mapas de dispersión para los contaminantes NO_2 y SO_2 indican las áreas con valores de inmisión en riesgo con color rojo.

Salidas: Proceso de comunicación.

Indicadores internos
1. Indicadores de la Condición Ambiental (ICA). (NC ISO 14031: 2005).

Constituyen los resultados de los procesos:
Proceso control de la contaminación atmosférica.
I_1: Concentración de contaminantes emitidos comparados con la norma NC TS 208: 2010.

I_2: Concentración de contaminantes emitidos comparados con la línea base. Gráficos de control.
Proceso vigilancia de la calidad del aire.
I_3: Evaluación de impacto de fuentes,
I_4: Presentación en mapas (Sistema de Información Geográfica) de las zonas de riesgo por alta concentración del contaminante.

2. Resultados de la evaluación de la calidad del aire.

Indicadores externos.
Escenarios de riesgos.
El análisis del indicador de la condición ambiental I4 permite conocer que los riesgos de contaminación se localizan fundamentalmente en la zona 2, alrededores de la ciudad, con tendencia a la dispersión hacia la bahía, por lo que las altas concentraciones según las alturas de las chimeneas no deben afectar la salud humana.
Sistemas de alertas.
Es importante alertar que el receptor más afectado por las inmisiones es el ecosistema bahía, para lo que se requiere consultar los valores guías de OMS [Organización…, 2005] y valorar las CMA para ese medio.

3. Resultados de las mejoras en el desempeño ambiental.

En el plan de acción para la mejora del desempeño en la gestión de la calidad del aire en la ciudad de Cienfuegos, se proponen las acciones preventivas siguientes:

1. Lograr la eficiencia energética en las calderas monitoreadas [Lapido, 1998; CEIM, 2006].
2. Cumplir los planes de mantenimiento preventivo internos y los externos ejecutados por Alastor.
3. Cumplir los planes de capacitación del personal involucrado en los procesos de control de la contaminación y vigilancia de inmisiones.

Conclusiones

1. El sistema de gestión para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cienfuegos, constituye una herramienta que permite una mejora en la gestión de la calidad del aire urbano en esa localidad.
2. Los procesos identificados cumplen los objetivos de su diseño y permiten conocer, mediante indicadores, la condición ambiental, la calidad del aire y el desempeño ambiental para ayudar a la toma de decisiones.

Referencias

AMIGO HERRERO, LUIS (2002). Redes de Control. Programa de Postgrado en Tecnología y Gestión Ambiental. Escuela de Organización Industrial (EOI). España: 2002.

ANPP (1997). «Ley 81 de Medio Ambiente», en *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, edición 11de Julio de 1997, La Habana, Cuba.

BERMÚDEZ GARCÍA, JOSÉ M. (2011). «Aplicación de instrumentos de economía ecológica con enfoque de producciones más 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. Cienfuegos: 2011.

BORROTO NORDELO, ANÍBAL Y ÁNGEL RUBIO GONZÁLEZ (2007). «Combustión y generación de vapor», Maestría en Eficiencia Energética, Universidad de Cienfuegos, Ministerio de Educación Superior, Editorial Universo Sur, 2007.

CEIM. Confederación Empresarial de Madrid. Guía de Ahorro Energético en Instalaciones Industriales. Editora: Gráficas Arias Montano S.A., Centro de Ahorro y Eficiencia Energética de Madrid, 2006. Disponible en: www.madrid.org/caeem.

CEPAL (2000). Corp., M, «Calidad del aire y su impacto en la salud en América Latina y el Caribe», CEPAL/OPS, Serie Seminarios y Conferencias, No. 9, 2000.

Comisión Nacional de Medio Ambiente (Conama) (2009). «Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro reemisiones y transferencia de contaminantes», Santiago de Chile, 2009, 146 p. Disponible en: www.retc.conama.cl/archivo/guia conama.pdf.

CONESA FERNÁNDEZ, V. (2000). *Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000.

CRUZ VIROSA, I.; F. MARTÍNEZ LUZARDO Y A. R. VARELA HARO (2010). «La gestión de la calidad del aire, una mirada a sus procesos en Cuba», en *Revista Normalización*, v. 2, art 2, 2010. ISSN: 0138-8118.

Cubaenergía (2011). *IV Taller Internacional de Contaminación Atmosférica vs. Desarrollo Sostenible. Conferencias*, CD-ROM. La Habana: 14-16 de septiembre de 2011.

Cubaenergía (2013). *V Taller Internacional de Contaminación Atmosférica vs. Desarrollo Sostenible. Conferencias*, CD-ROM. La Habana: 17-19 de septiembre de 2013.

JURAN, J. M. (1997). *Manual de control de calidad Jurán*, 4ta Edición, Bogotá, Mc GrawHill, 1997. ISBN: 8448101499.

LAPIDO RODRÍGUEZ, MARGARITA (1998). «Incremento de la eficiencia térmica en calderas pirotubulares 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, 1998.
LÓPEZ CABRERA, C. M. (2006). *Introducción a la gestión de la calidad del aire*. La Habana: Instituto de Meteorología, Centro de Química y Contaminación Atmosférica (Desoft), 2006, ISBN: 978-959-282-049-4.
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (2011). «Estrategia Ambiental Nacional», en *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, Edición Ordinaria, La Habana, 2011.
Oficina Nacional de Normalización (1999). *Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Obligatoria. NC 39*. La Habana: ONN, 1999.
Oficina Nacional de Normalización (2000). *Calidad del Aire. Aspectos Generales. Vocabulario. NC ISO 4225:2000*. La Habana: ONN, 2000.
Oficina Nacional de Normalización (2004). *Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso. NC ISO 14001*. La Habana: ONN, 2004.
Oficina Nacional de Normalización (2005a). *Gestión Ambiental. Evaluación del desempeño ambiental. Directrices. NC ISO 14031*. La Habana: ONN, 2005.
Oficina Nacional de Normalización (2005b). *Seguridad y Salud en el Trabajo. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Requisitos. NC 18001*. La Habana: ONN, 2005.
Oficina Nacional de Normalización (2005c). *Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. NC ISO 9000*. La Habana: ONN, 2005.
Oficina Nacional de Normalización (2008). *Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos. NC ISO 9001*. La Habana: ONN, 2008.
Oficina Nacional de Normalización (2009). *Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad. NC ISO 9004*. La Habana: ONN, 2009.
Oficina Nacional de Normalización (2010). *Calidad del aire. Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor, NC-TS 803*. La Habana: ONN, 2010.
Oficina Nacional de Normalización (2011). *Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso, NC ISO 50001*. La Habana: ONN, 2011.
Oficina Nacional de Normalización (2014a). Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables, NC 1020. La Habana: ONN, 2014.
Oficina Nacional de Normalización (2014b). *Calidad del aire. Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas, NC 1059*. La Habana: ONN, 2014.

Organización Mundial de la Salud (2005). «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre», Actualización Mundial 2005. Disponible en: www.who.sde.phe.oeh.06.02.spa.pdf.
Partido Comunista de Cuba. (2011). *Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*. La Habana: VI Congreso del PCC, 2011.
PNUMA-CITMA (2008). *Proyecto Agenda 21. «Perspectivas del Medio Ambiente Urbano»*. La Habana: GEO Cienfuegos, Editorial Academia, 2008. ISBN 978-959-270-109-0.
SEOÁNEZ CALVO, M. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica*. España: Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Problemas, tratamiento y gestión., Ediciones Mundi-Prensa. 2002. ISBN 84-8476-035-9.
WBI. Módulo 1: «Introducción a la gestión de la calidad del aire urbano». Instituto del Banco Mundial. Bekir Onursal y de Surhid P. Gautum. «Contaminación atmosférica causada por vehículos: experiencias de siete centros urbanos latinoamericanos», publicadas por el Banco Mundial en 1997. La presentación de Anthony Bigio (Instituto del Banco Mundial) en la Reunión Anual de la Asociación de Gestión del Aire y de los Desechos celebrada en junio de 2000.

Utilización de modelos de dispersión atmosférica en los escapes de sustancias peligrosas

Use of atmospheric dispersion models in the emission of hazardous substances

Por Dr. Allan Pierra Conde y M.Sc. Iván Casals Blet***
** Ministerio de Educación Superior (MES), Cuba.*
** *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.*
e-mail: apierra@mes.gob.cu y icasals@ismm.edu.cu

Resumen

Este trabajo explora la aplicación de herramientas informáticas de modelado de dispersión atmosférica en la elaboración e implementación de los Planes de Reducción de Desastres (PRD). Las legislaciones más recientes a nivel internacional destinadas a controlar los riesgos tecnológicos han incorporado estas herramientas en la definición de las zonas de vulnerabilidad. Esto permite conocer la concentración a la cual están expuestas las personas durante un escape de sustancias peligrosas. En este contexto, este trabajo desarrolla una implementación del cálculo de las concentraciones mediante el uso del programa ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) y la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Finalmente, se presenta un ejemplo donde se aplican estas estrategias a la determinación de zonas de vulnerabilidad para un objetivo con peligro químico. De los resultados obtenidos se concluye que a pesar de poseer una precisión limitada, el algoritmo que utiliza ALOHA es una herramienta útil si no se disponen de modelos más sofisticados.
Palabras claves: modelación, dispersión atmosférica, escapes de sustancias peligrosas, reducción de desastres

Abstract

This paper explores the application of computer tools for atmospheric dispersion modeling in the preparation and implementation of Disaster Reduction Plans (PRD). The most recent international legislations aimed at controlling technological risks, have introduced these tools in the definition of zones of vulnerability. This allows knowing the concentration to which people are exposed during an escape of hazardous substances. In this context, this paper shows an implementation of the calculation of the concentrations through the use of the ALOHA software (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) developed by the EPA (Environmental Protection Agency) and the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Finally, we present an example with the application of these strategies to

determine zones of vulnerability for an objective with chemical danger. The conclusion is that regardless of having limited accuracy, the algorithm used by ALOHA is a useful tool if more sophisticated models are not available.
Keywords: modeling, atmospheric dispersion, leakage of hazardous substances, disaster reduction

Introducción

En la «Apreciación general de peligros de desastres en Cuba» (en específico de origen tecnológico), contemplada en la Directiva No.1 del 2010 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la Reducción de Desastres, se encuentran señalados los accidentes con sustancias peligrosas, dados por el manejo inadecuado de las sustancias y desechos peligrosos que se fabrican, importan, exportan, almacenan, transportan o manipulan en nuestro país, lo cual constituye un peligro potencial para la población y el medio ambiente. La apreciación del peligro sobre el manejo de sustancias químicas peligrosas incluye la probabilidad de accidentes por escapes de cloro y amoníaco (por accidente en instalaciones, en ductos o por la transportación); estos accidentes pueden ser inducidos por eventos hidrometeorológicos extremos, sismos e incendios en áreas rurales.

Las emisiones de sustancias tóxicas en la industria

Las instalaciones industriales que procesan, manipulan o transportan sustancias peligrosas están expuestas a sufrir incidentes de diversa gravedad, y a pesar de las técnicas empleadas y las medidas adoptadas para la prevención de estos accidentes, no es posible reducir a cero el riesgo de los mismos. Siempre existirá alguna probabilidad de que ocurra un fallo con consecuencias potencialmente graves para las personas. Para que las consecuencias de escapes de sustancias peligrosas sean mínimas es necesario desarrollar los Planes de Reducción de Desastres que permitan la protección de los posibles afectados. Entre los diferentes accidentes graves que pueden producirse, las emisiones y la formación de nubes tóxicas están consideradas como los de mayor peligrosidad respecto a sus consecuencias y también presentan una alta complejidad en cuanto a su modelización. En el caso particular de las sustancias peligrosas (ya sean emisiones gaseosas o de vapores producidos por derrame de líquidos volátiles) es importante establecer el contorno de la nube formada, a fin de delimitar las zonas donde la concentración de esta sustancia pone en riesgo la integridad de las personas.

El modelado de los fenómenos de dispersión implica la resolución de los balances de masa, momento y energía, generando sistemas de ecuaciones a derivadas parciales cuya complejidad está asociada a la duración y tipo

de la emisión (continua o discontinua; gaseosa o en dos fases), tipo de sustancia (densidad mayor o menor que el aire), condiciones atmosféricas, etc. Estos modelos permiten la predicción, en un punto cualquiera de coordenadas (x, y) a cierta distancia de la fuente, de las concentraciones C de la sustancia emitida.

La modelización de estos accidentes constituye un aspecto básico de la prevención y protección, dado que el nivel y extensión de las consecuencias permite establecer la proporcionalidad de las medidas necesarias para evitarlas o mitigarlas. Pero, desafortunada-mente, la variedad de escenarios posibles y la complejidad de los mecanismos, parámetros y variables implicados, dificultan las predicciones, afectando los resultados con elevados niveles de incertidumbre.

Características de la dispersión de gases

Gases neutros y pesados:
Las características de la sustancia liberada a la atmósfera (densidad, temperatura, presencia de gotas, etc.), determinan el comportamiento de la nube formada. Los gases que tienen características de sustentación similares a las del aire son denominados «neutros», y para predecir su dispersión se utiliza un modelo gaussiano. En este modelo, el viento y la turbulencia atmosférica son las fuerzas que mueven las moléculas del gas a través del aire. Así, la nube es arrastrada en la dirección del viento formando una suerte de pluma. A causa del mezclado turbulento se difunde en la dirección transversal, generando una curva con forma de campana para la concentración.

Cuando se derrama un gas «denso», es decir, un gas cuya densidad es mayor que la del aire o se encuentra a muy baja temperatura, el comportamiento inicial difiere sustancialmente del de un gas neutro. En un primer momento el gas se desploma debido a que es más pesado que el aire que lo rodea; la nube se desplaza en la dirección del viento extendiéndose debido a la gravedad; más adelante, en la dirección del viento la nube se diluye, su densidad se aproxima a la del aire y se comporta como gas neutro.

Pérdidas continuas y discontinuas
Si el orificio por donde se produce la pérdida es relativamente pequeño, o la masa contenida en el recipiente es muy grande, el tiempo de duración del derrame será grande. En estas condiciones los gases se dispersarán en la atmósfera formando una pluma que alcanzará su máxima extensión, y se mantendrá durante todo el tiempo que dure el derrame. Este escenario se conoce como pérdida continua. Cuando la rotura es muy grande o catastrófica, o la masa contenida en el recipiente es pequeña, la liberación

de prácticamente toda la masa se realiza en forma muy rápida, formándose una nube denominada «puff» que no se haya unida a la fuente del derrame, y se aleja en la dirección del viento modificando su tamaño y posición a medida que el tiempo transcurre. Este escenario es considerado como una pérdida instantánea.

La descripción contenida en este trabajo está referida a las nubes gaseosas formadas a partir de sustancias puras inicialmente en estado líquido o gaseoso, aunque posteriormente puedan formar material particulado (gotículas, microcristales, etc.).

Niveles de intervención

La peligrosidad viene determinada por el nivel de toxicidad de las sustancias involucradas y por la persistencia y alcance de las nubes. Una gran parte de las sustancias habituales en la industria presenta elevada toxicidad, provocando efectos agudos, incluso letales, en cortos periodos de tiempo; en muchos casos estos efectos se manifiestan a concentraciones muy pequeñas como consecuencia de su elevada reactividad con componentes biológicos esenciales, que alteran los equilibrios que sustentan la vida. Las características de las emisiones, fundamentalmente las cantidades involucradas, la dinámica atmosférica y las condiciones del entorno, determinan la dirección, persistencia y alcance de las nubes, cuyas consecuencias finales dependen de los elementos vulnerables presentes, pudiendo afectar a zonas muy extensas.

A los efectos de este análisis definiremos como *niveles de intervención* aquellos valores que se toman como referencia para la toma de decisiones en el Plan de Reducción de Desastres, y que sirven de base para evaluar la vulnerabilidad en función de los resultados de la modelación. Los ERPGs: Emergency Response Planning Guidelines han sido desarrollados por la American Industrial Hygiene Association (AIHA).

Sus principales características son las siguientes:

- Tipo de población aplicable: general, puede ocurrir que individuos muy sensibles sufran reacciones adversas por debajo de los límites establecidos.
- Tiempo de exposición: una hora.
- Factores de seguridad: no tiene.
- Niveles de efectos:
  ERPG-1: Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se considera que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando solo efectos adversos ligeros y transitorios, o percibiendo un olor claramente definido.

ERPG-2: Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles, o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.
ERPG-3: Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida.

Modelación de la dispersión atmosférica

Para evaluar el alcance de consecuencias, se dispone actualmente de numerosos modelos informáticos, Mazzola y Addis [1995] y Less [2001], que partiendo de las características de la sustancia y de las condiciones del equipo accidentado (volumen, cantidad retenida, orificio de fuga, etc.) determinan la cronología de la emisión (instantánea, semicontinua o continua). El resultado se introduce en el módulo de dispersión, que necesita también las variables meteorológicas responsables del transporte y dilución de la nube, proporcionando información sobre sus parámetros característicos, tales como perfiles concentración-tiempo (para determinadas posiciones), concentración-distancia (para determinados instantes), dosis-distancia, etc. En Cuba ha sido usado el programa Phast Micro 6.1 desarrollado por la compañía Det Norske Veritas, por los especialistas del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) encargados de la elaboración de los estudios de Peligros Vulnerabilidad y Riesgos (PVR) para el cálculo de consecuencias.

El programa ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) fue desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) y la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), tiene una amplia difusión a nivel internacional y es utilizado por las autoridades de Defensa Civil del Municipio Moa como soporte técnico en el Plan de Reducción de Desastres de la zona. El programa ALOHA tiene grandes ventajas por tener la entrada y salida de datos muy orientado a las acciones de protección civil. Utiliza el modelo gaussiano para predecir la dispersión de gases neutros [Palazzi, et al., 1982], y para el caso de los gases pesados, ALOHA realiza los cálculos de dispersión utilizando una versión simplificada del modelo DEGADIS 7 [Havens y Spicer, 1985].

Este modelo fue elegido por ser aceptado en forma generalizada y haber sido extensamente probado. Los modelos establecidos en ALOHA permiten considerar dispersiones originadas en fuentes continuas o instantáneas. Como resultado de la resolución de los modelos implementados, se obtiene la distancia máxima a la cual se alcanza determinada concentración de

interés. A partir de esta información el programa establece el contorno de la nube formada para la concentración elegida (valor umbral) y predice, en forma gráfica, el perfil de concentración en función del tiempo para cualquier punto de coordenadas (x, y) a cierta distancia de la fuente.

La elección responde a la ventaja de estar disponible en Internet, lo que posibilita su utilización generalizada por parte de los especialistas o interesados en esos temas. Además de esta ventaja, cabe destacar las siguientes:

1. Ha sido desarrollado por la EPA y la NOAA, gozando de reconocido prestigio.
2. Está específicamente diseñado para su aplicación en escenarios accidentales, pudiendo simular emisiones desde tuberías y recipientes utilizados en la industria o derrames que formen charcos y la simultánea dispersión, tanto de nubes neutras como pesadas.
3. Dispone de una amplia base de datos de sustancias y permite la introducción de otras.
4. Entre otros resultados, permite la obtención de perfiles concentración-tiempo de las nubes en los puntos requeridos, lo que resulta especialmente útil.

Como principales inconvenientes del programa cabe citar:

1. El cálculo de la dispersión de las nubes está limitado a 60 minutos y a 10 km del origen de la emisión, y solo determina valores de concentración o dosis a nivel del suelo.
2. Las predicciones del modelo deben tomarse con reservas para pequeñas velocidades de viento, en condiciones atmosféricas muy estables y en lugares muy cercanos al origen de la emisión.
3. El modelo no permite operar con partículas o mezclas de sustancias.
4. Está diseñado para terreno llano (aunque considera rugosidades u obstáculos).

Los resultados se presentan en forma de texto y gráficamente. El texto incluye la información siguiente:

1. Datos introducidos o internos:
Información sobre el lugar: localización, número de renovaciones/hora en el interior del edificio, fecha y hora.
Información sobre la sustancia: nombre, masa molecular, TLV-TWA, IDLH, ERPG, etc., concentración mínima de referencia, punto de ebullición, presión de vapor y concentración de saturación.
Información atmosférica: velocidad y dirección del viento y altura de la medida.

Persistencia o no de inversión, clase de estabilidad, temperatura y humedad relativa, rugosidad del terreno y cobertura de nubes.

2. Resultados:
Información sobre la emisión/caudal, duración, altura de la emisión y cantidad total fugada.
Información complementaria: tipo de nube (neutra o pesada), concentración mínima de referencia (LOC), alcance máximo de la concentración LOC.
Información dependiente del tiempo: concentración y dosis estimadas en el punto seleccionado. Concentraciones y dosis máximas en el exterior e interior del edificio.

Los resultados gráficos presentados son los siguientes:
Isopleta de la concentración LOC en el diagrama x-y;
Perfil concentración-tiempo para la posición especificada por el usuario;
Perfil dosis-tiempo para la posición especificada por el usuario, y
Perfil caudal de fuga-tiempo.

Aplicación del programa en los planes de reducción de desastres

El estudio de caso fue realizado en el marco de la colaboración del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) y el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo de Desastre (CGRR) del Consejo de Defensa Municipal (CDM) de Moa; el mismo se propone como base para ser considerado como apoyo a la toma de decisiones del CDM de Moa; se modelan las situaciones de desastre cuyo riesgo fue valorado como alto, que incluye la fuga del contenido de una bala de la Planta de Amoniaco.

El amoniaco es una sustancia que se disuelve fácilmente en agua, formando hidróxido de amonio, que es una base fuerte. Al entrar en contacto con la mucosa y las lágrimas, el amoniaco se hidroliza, provocando una irritación inmediata debido al alto valor del pH.

Los niveles de intervención para la concentración de sustancias tóxicas se definen sobre la base de los valores ERPG (Guía para la Respuesta a Situaciones de Emergencia, en inglés). La ERPG establece tres *niveles de intervención,* todos referidos a los efectos que podría producir una exposición de hasta una hora de duración. Los *niveles de intervención* asumidos se ofrecen en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de intervención considerados para el amoniaco (ERPG)

Concentración en aire, ppm	Afectaciones	Color
25	ERPG-1: Efectos a la salud más severos que un leve olor o irritación.	
200	ERPG-2: Daños irreversibles a la salud o síntomas que pueden obstaculizar la protección individual.	
1000	ERPG-3: Amenaza para la vida o afectaciones serias a la salud.	

Para todos los *niveles de intervención* se da el color de referencia que se utilizará en la representación de las isolíneas en la representación gráfica de los resultados.

Caracterización de las variables climáticas del territorio

A continuación se reseña el comportamiento de las principales variables climáticas que tienen incidencia en la modelación de la dispersión de las sustancias tóxicas en la atmósfera.

Temperatura del aire

El régimen de temperaturas del aire es el típico de zonas costeras de la región tropical, con un valor medio anual superior a 26 ºC y temperatura máxima y mínima absolutas anuales de 36 y 12 ºC, respectivamente. En la figura 1 se muestra el promedio anual de la temperatura horaria.

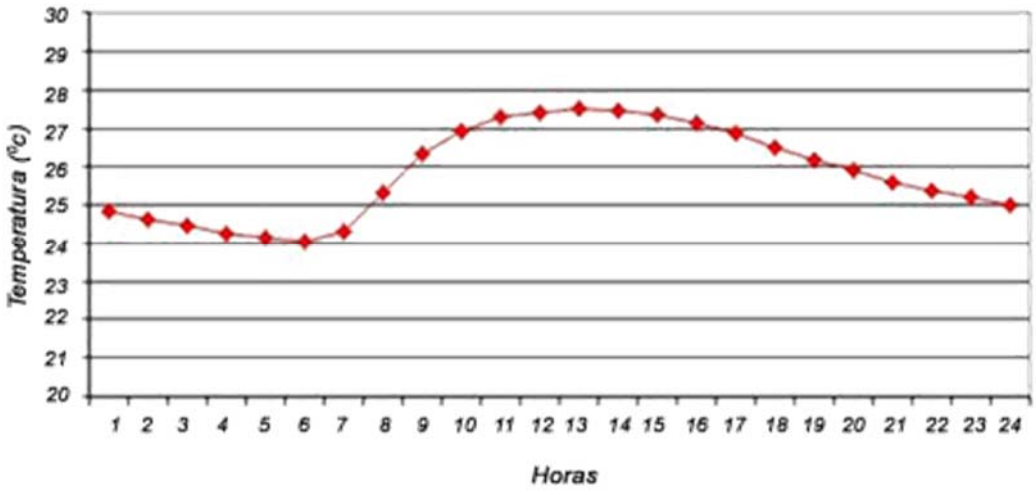


Fig. 1. Temperatura horaria promedio anual.

Humedad relativa

En Moa la humedad relativa es alta, tanto a las 07:00 (80-85 %) como a las 13:00 horas (70-75 %). La figura 2 muestra el comportamiento del promedio anual de la humedad relativa horaria en el periodo muestreado.

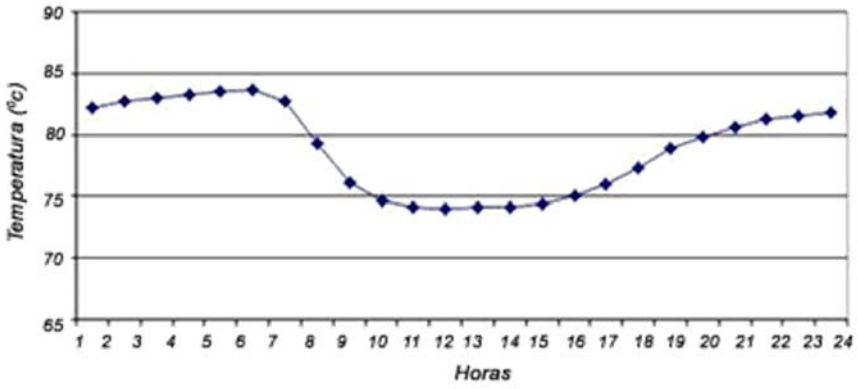


Fig. 2. Humedad relativa horaria promedio anual.

Radiación solar

El régimen de radiación en Cuba presenta variaciones espaciales relacionadas fundamentalmente con factores orográficos. En la figura 3 se muestra la radiación solar (P.A.R. MJ/m2) horaria promedio anual para las diferentes horas del día.

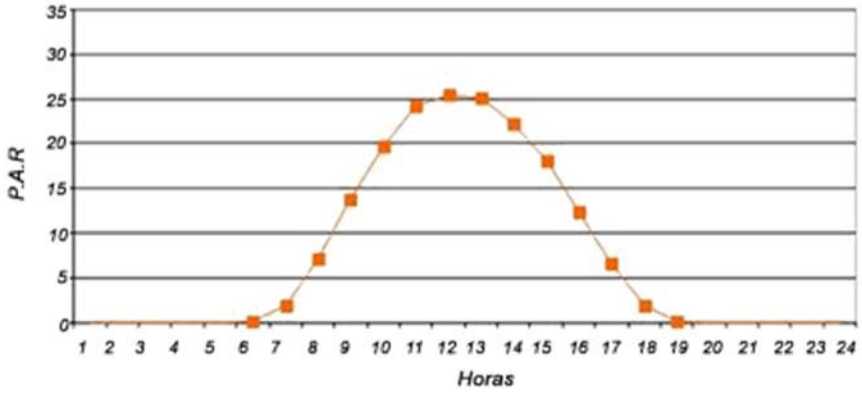


Fig. 3. Radiación solar promedio anual.

Vientos

El sistema local de vientos en Moa refleja una mayor frecuencia de casos con rumbos del 1er y 2do cuadrantes (entre NNE y ESE). La distribución anual es presentada en la figura 4, donde se aprecia el reinante del ENE con una frecuencia de 25 % y otro máximo del E con 22 % de frecuencia de aparición; las mismas presentan velocidades por encima de los 5 m/s en 20 y 10 % de los casos, respectivamente. La otra componente significativa (>10 %) es del ESE, la cual presenta velocidades por debajo de los 5 m/s.

Ello representa que existen condiciones favorables para que el amoniaco liberado en la planta de almacenamiento sea transportado hacia las áreas residenciales de la ciudad de Moa.

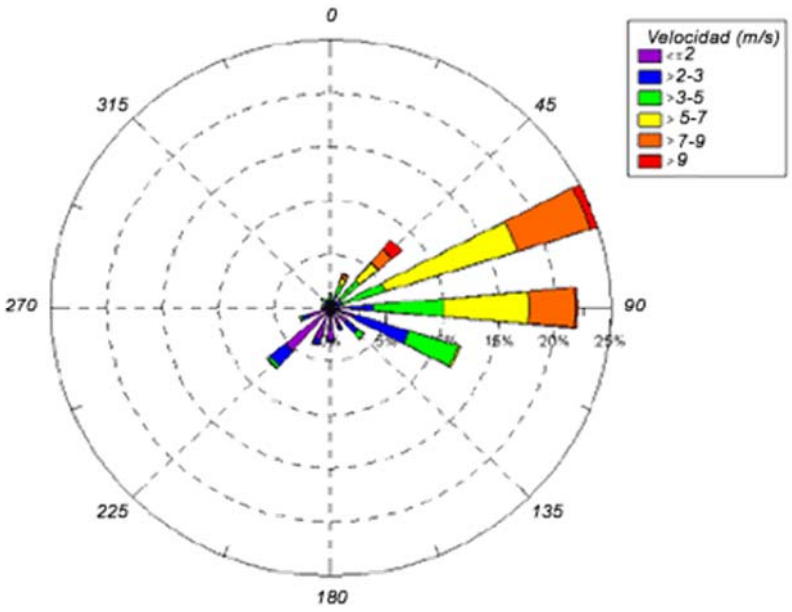


Fig. 4. Rosa de los vientos anual.

Estabilidad vertical de la atmósfera

En el presente análisis se usan las clases de estabilidad de Pasquill-Guifford (PG), que han tenido un amplio reconocimiento. En la figura 5 se muestran las frecuencias de ocurrencia en por ciento de las diferentes clases de estabilidad PG en la zona de estudio en el periodo muestreado.

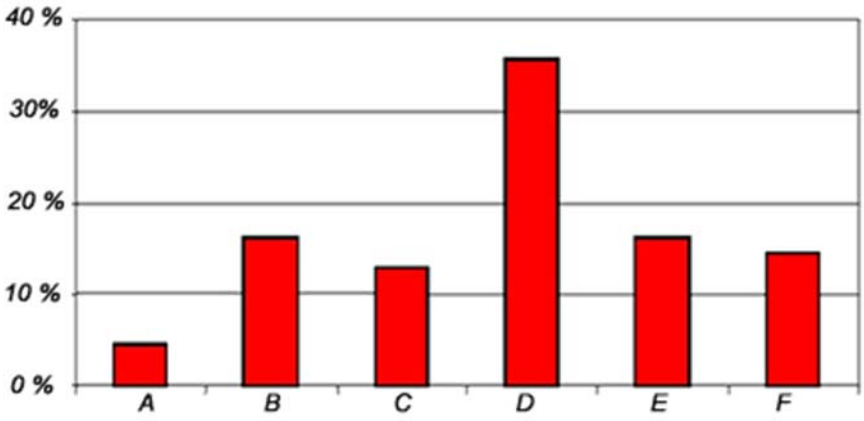


Fig. 5. Frecuencia de ocurrencia de las diferentes clases de estabilidad PG.

Para analizar las consecuencias se analizan cinco escenarios de fuga, cuyo resumen se da en la tabla 2. En todos los casos se considera que el

inventario máximo expuesto a la fuga es el volumen máximo de una bala, equivalente a 100 toneladas de amoniaco líquido almacenado a temperatura ambiente. El análisis de distintos diámetros de fuga permite valorar la magnitud del peligro que representa la fuga, en un rango que va desde el escenario más conservador, hasta otros más realistas.

Tabla 2. Escenarios de fuga considerados en el análisis

Simbología	Escenario
NH3-1	Fallo catastrófico de una bala con 100 toneladas de amoniaco
NH3-2	Fuga por un orificio en parte líquida, Deq.=1”
NH3-3	Fuga por un orificio en parte líquida, Deq.= ¾”
NH3-4	Fuga por un orificio en parte líquida, Deq.=1/2”
NH3-5	Fuga por un orificio en parte líquida, Deq.= 1”

En el cálculo se asumen, de manera conservadora, las peores condiciones de estabilidad atmosférica para la dispersión gaseosa, correspondientes a la categoría F (muy estable) con velocidad del viento de 2 m/s. Estas condiciones se alcanzan en períodos de calma, propios de horas de la madrugada. Adicionalmente se presentan los resultados para las condiciones meteorológicas consideradas más probables para las horas del día: categoría D (estable) con velocidad del viento de 5 m/s.

En lo adelante se referirá a la condición de estabilidad atmosférica expresando la categoría propiamente dicha y la velocidad del viento en m/s. Así, cuando aparezca 2/F se refiere a atmósfera con categoría de estabilidad F y velocidad del viento de 2 m/s. Para todos los casos se supone una temperatura ambiente de 25 ºC y humedad relativa de 100 %.

En la tabla 3 se dan los parámetros de la modelación de los escenarios propuestos. El programa ALOHA permite la modelación de una fuga de hasta una hora de duración, y da crédito a los resultados obtenidos hasta un máximo de 10 km de distancia del punto de descarga.

Tabla 3. Parámetros de la fuga

Escenario de fuga	Gasto	Duración de la fuga	Estado de la sustancia
NH3-1	1510 kg/seg	1 minuto	Flash
NH3-2	613 kg/min	Limitado a 1 hora	Mezcla de gas y aerosol
NH3-3	345 kg/min	Limitado a 1 hora	Mezcla de gas y aerosol
NH3-4	153 kg/min	Limitado a 1 hora	Mezcla de gas y aerosol
NH3-5	33.5 kg/min	Limitado a 1 hora	Gas

A manera de ilustración, en la figura 6 se grafican las zonas de afectación para una fuga catastrófica, considerando las condiciones atmosféricas más probables.

Fig. 6. Zona de afectación por fallo catastrófico de una bala de amoniaco. Condiciones atmosféricas 5/D. Vientos del Este.

En la figura 7 se representan las zonas de afectación ante fugas significativas de amoniaco, asociadas al fallo parcial de una línea o de un recipiente con un diámetro equivalente de una pulgada, considerando las condiciones atmosféricas más conservadoras. Para todos los casos solamente se reflejan las isolíneas de los niveles de intervención ERPG-1 (línea roja) y ERPG-2 (línea carmelita), que son los de mayor importancia para el PRD.

Fig. 7. Zona de afectación para una fuga de Deq. = 1".
Condiciones atmosféricas 2/F. Vientos del Este.

Cálculo de consecuencias

Para realizar una estimación de las posibles afectaciones a la población residente se empleó una metodología consistente en exportar los polígonos de las áreas de afectación modelados con ALOHA para los diferentes escenarios previstos al SIG MapInfo Professional®, mediante la aplicación de MapBasic® PlotALOHA [Karpovich, 2008]; en el SIG se superponen los polígonos exportados con el mapa topográfico de Moa, encontrándose asociada al mismo una tabla con los datos censales del 2007 de la Dirección Municipal de Estadística de Moa a nivel de manzana; a partir de esto se hace una consulta SQL tomando el criterio conservador de considerar en el análisis los polígonos censales que intersecten el perímetro de la zona de afectación [Chakraborty y Armstrong, 1997]. En las figuras 8 y 9 se representan los diferentes escenarios modelados.

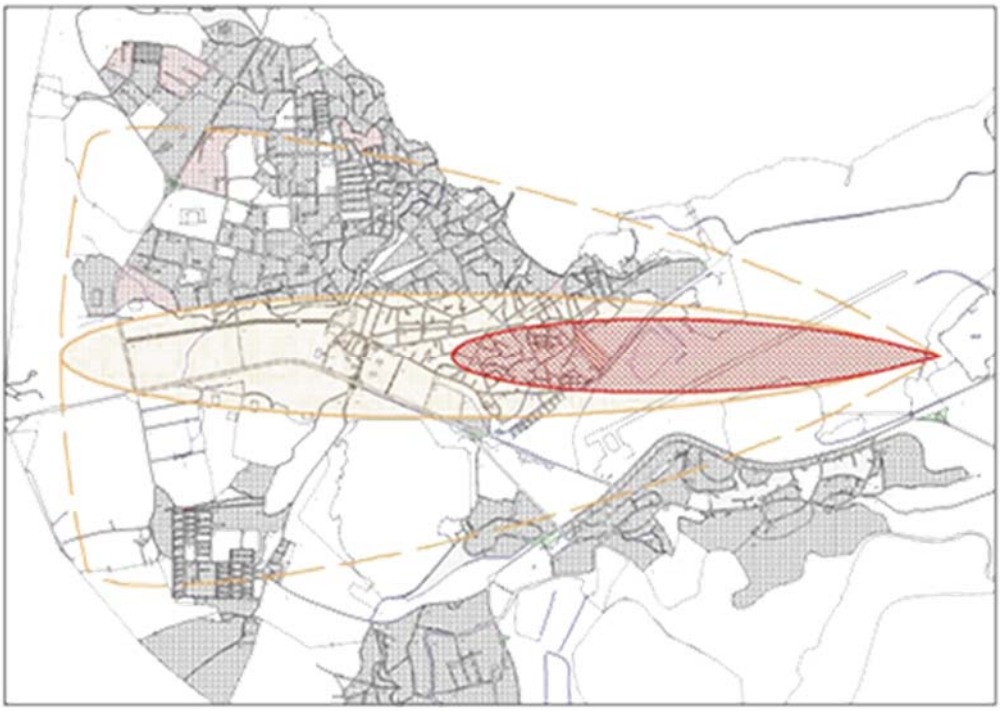


Fig. 8. Modelación para el escenario 2F/NH3-2.

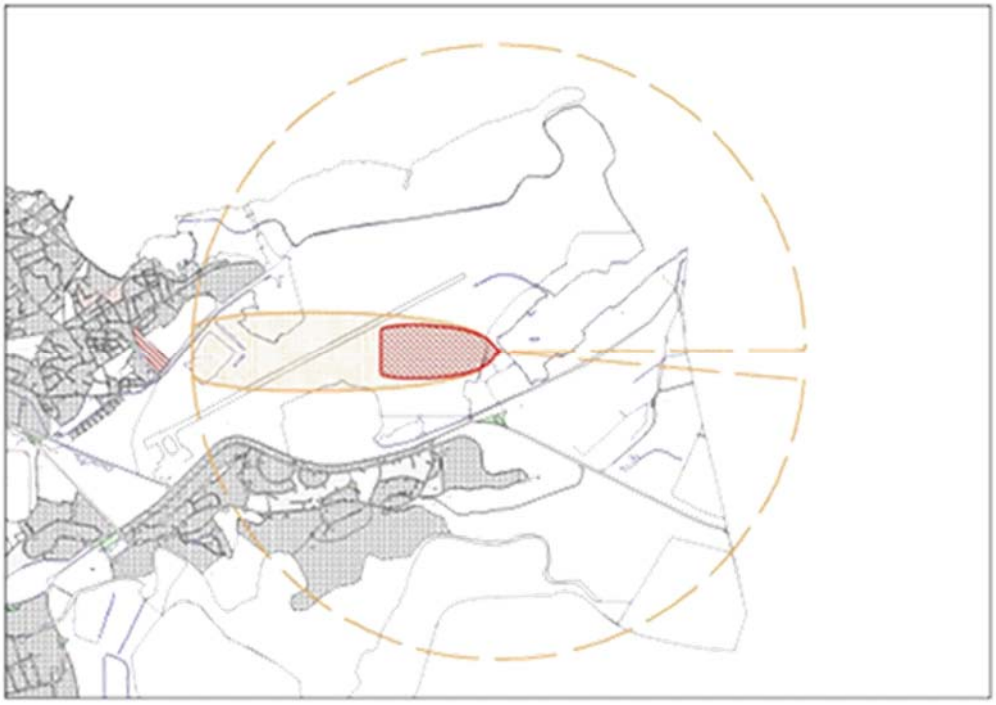


Fig. 9. Modelación para el escenario 5D/NH3-2.

Conclusiones

El modelado de la dispersión de sustancias peligrosas en la atmósfera permite estimar la forma y cantidad en que estas sustancias se distribuyen en las cercanías del punto de emisión, y de qué manera pueden llegar a afectar a las personas expuestas. Una de las aplicaciones más concretas de esta información es el desarrollo de Planes de Reducción de Desastres que permiten, a través de la consideración de diferentes escenarios posibles, definir zonas de peligro para la población.

Referencias

CHAKRABORTY, J. Y M. ARMSTRONG (1997). «Exploring the Use of Buffer Analysis for the Identification of Impacted Areas in Environmental Equity Assessment», en *Cartography and Geographic Information Systems*, 24(3), 145-157, 1997.

Consejo de Defensa Nacional (2010): *Directiva No. 1 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la Reducción de Desastres*. La Habana: 2010.

Dirección General de Protección Civil (2002). Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. España: 2002.

EPA (2002). «Downloading, Installing and Running ALOHA. Computer-Aided Management of Emergency Operations. United States Environmental Protection Agency». Disponible en: www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm.

ERPG (2002). SCAPA ERPG Working List.American Industrial Hygiene Association. Disponible en: www.bnl.gov/scapa/scapwl.htm.

HAVENS, J. A. Y T. O. SPICER (1985). «Development of an Atmospheric Dispersion Model for Heavier-than-Air Gas Mixtures», en *US Coast Guard Report*, CG-D-22-85, vols. I, II, III.

KARPOVICH, ROBERT (2008). Comunicación privada. Ambient Air Quality Services, Inc. 107 Hidden Fox Drive, Lincoln University, PA 19352, e-mail: rkarpovich@aaqs.com

LESS, F. P. (1996): *Loss Pevention in the Process Industries*, Vol. 1, 2nd Edition, Butterworth Heinemann.

MAZZOLA, C. Y R. ADDIS (1995). Atmospheric Dispersion Modeling Resources.U.S, Department of Energy, Emergency Management Advisory Committee, Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions and Oak Ridge Associated Universities. Disponible en: www.bnl.gov/scapa/admr.pdf.

PALAZZI, E.; M. DE FAVERI, M., G. FUMAROLA Y G. FERRAIOLO (1982). «Diffusion from a Steady Source of Short Duration», en *Atmospheric Environment*, 16 (12): 2785-2790.

Cálculo de la huella ecológica en la Ecoing 5 para portadores energéticos

Calculation of the ecological footprint in the Ecoing 5 due to the use of for energy carriers

*Por M.Sc. Ing. R. M. Cordoví Cuza**
*y M.Sc. Ing. E. Viant Garrido***
** Empresa Constructora de Obras de Ingeniería (Ecoing 5), Cuba.*
*** Cubaenergía.*
e-mail: rosa@e5ch.netcons.com.cu y eviant@cubaenergia.cu

Resumen

La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, y se relaciona con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos. Consecuentemente, es un indicador clave para la sostenibilidad de cualquier organización, por lo que este trabajo tiene por objetivo fundamental el cálculo de la huella ecológica de la ECOING No.5 asociada a los portadores energéticos que consume. Esta organización se encuentra entre las mayores consumidoras de la capital por la actividad que realiza, además de ser altamente contaminante al medioambiente, por lo cual es de vital importancia el monitoreo de las emisiones de CO_2 a la atmósfera y su minimización a través del control de los portadores energéticos. Se obtuvo la carga contaminante por concepto de consumo de portadores energéticos, así como un plan de medidas para su disminución. Para ello se utilizaron los indicadores correspondientes al año 2013 y hasta el cierre de abril del 2014.
Palabras claves: Huella ecológica, carga contaminante

Abstract

The ecological footprint is an indicator of the environmental impact generated by human demand for existing resources on the planet's ecosystems, and is related to the ecological capacity of the Earth to regenerate its resources. Consequently, it is a key indicator for the sustainability of any organization, so the main objective of this paper is the calculation of the ecological footprint of ECOING No.5 associated with the energy carriers used by the organization. This organization is among the largest energy consumers of La Habana province due to the activity carried out. Besides it also greatly contributes to polluting the environment, which is why monitoring and controlling CO_2 emissions to minimize it is of vital

importance. The pollution associated to the activity of the organization was obtained from the consumption of energy carriers, as well as a plan of measures to reduce it. We used the indicators from the period 2013-2014 (April).
Keywords: Ecological footprint, pollution

Introducción

La Empresa Constructora de Obras de Ingeniería 5 tiene su domicilio legal en Calzada de Managua km. 8½, Calvario, municipio de Arroyo Naranjo, La Habana. Creada el 17 de diciembre de 1976, pertenece al Grupo Empresarial de la Construcción y se subordina al Ministerio de la Construcción, se encuentra en Perfeccionamiento Empresarial desde el año 2001, es una Empresa Provincial con personalidad jurídica independiente y patrimonio propio, con categoría I, que tiene como objeto social:

- Brindar servicios de construcción civil y montaje de nuevas obras, edificaciones e instalaciones, demolición, reconstrucción y(o) rehabilitación de edificaciones, instalaciones y otros objetivos existentes; reparación y mantenimiento constructivo; recogida de escombros vinculados a la construcción y desastres naturales, y su posventa en pesos cubanos y pesos convertibles.
- Realizar la producción y comercialización mayorista de hormigones hidráulicos y asfálticos, así como la fabricación y/o recuperación de agregados, partes, piezas de repuesto e insumos de la mecanización, y realizar su comercialización mayorista, todo ello en pesos cubanos y convertibles.
- Brindar servicios de preparación técnica de obras, alquiler de equipos de construcción complementarios, asistencia técnica, asesoría y consultoría en actividades de construcción científico-técnicas y de ejecución de proyectos de I+D, e innovación tecnológica en actividades de construcción; diagnóstico, reparación y mantenimiento a equipos de transporte automotor de construcción, complementarios y sus agregados, transportación de carga general y especializada de recogida de desechos sólidos; alquiler de almacenes y de parqueo, todos ellos en pesos cubanos.
- Brindar servicios de alimentación a sus trabajadores, previa autorización de la Dirección del Grupo Empresarial de la Construcción en La Habana, en pesos cubanos.

Nuestra organización se estructura de la forma siguiente:

- Unidad Básica de Producción Industrial, conformada por 2 colectivos de ejecución (Planta de Asfalto de San José y Planta de Asfalto de Guanabacoa).
- Unidad Básica de Fresado y Pavimentación, conformada por 2 colectivos de ejecución: Colectivo de fresado y colectivo de pavimentación.
- Unidad Básica de Servicios Técnicos a la Maquinaria, con 3 grupos (uno de piezas y agregados, un segundo de mantenimiento y servicios y el otro de reparación de equipos y maquinado). Además, cuenta con el Taller Central.
- Brigada de Puentes y Túneles (compuesta por tres cuadrillas: de puentes, de registros y de túneles).
- Brigada de Logística (compuesta por el Grupo de ATM y el Grupo de Servicios a Trabajadores).

Tiene como misión: Somos la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería No. 5 que brinda servicios de construcción y mantenimiento de viales y aeródromos con efectividad, nos distingue la profesionalidad y experiencia de nuestros trabajadores, logrando la satisfacción de nuestros clientes contribuyendo al desarrollo económico y social de nuestro país.

Su visión es: Somos una organización de alto desempeño, líder en la aplicación de tecnologías de ejecución de pavimentos flexibles, construimos con personal altamente calificado y comprometido.

Desarrollo

Debido a indicaciones del país de implantar los Sistemas de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Sistema de Medioambiente, la Gestión Integrada del Capital Humano para el Fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial en la empresa según lo dispuesto en el Decreto 281 [CECM, 2007], se programó la tarea de integrar estos sistemas al Sistema de Gestión de la Calidad ya certificado por la NC ISO 9001:2001, y transitar hacia la NC ISO 9001:2008.

Con la introducción de las normas, regulaciones e indicaciones que emite el país, se gestionan integralmente todos los procesos y se logra mejor organización y disciplina, así como la participación eficaz y eficiente de los trabajadores con mayores aportes a la sociedad socialista, facilitando el tránsito hacia el reconocimiento social de esta empresa.

En el 2002 se diseña e implanta un Sistema de Gestión de la Calidad en la organización, y en el 2006 se obtuvo el Certificado de Calidad para el proceso de Fresado en Frío de Pavimentos Flexibles, otorgado por la ONN (Oficina Nacional de Normalización). Entre 2008 y 2011 se experimentaron

cambios significativos que afectaron la estructura a tal punto que se reflejaron tanto en los resultados económicos como en los valores del centro, por tal motivo se realizó un diagnóstico el cual arrojó la no correspondencia del sistema con sus procesos, no reflejando la gestión real de la organización.

De acuerdo con los resultados obtenidos en dicho diagnóstico, y los lineamientos del VI Congreso del PCC, a partir de enero del 2012 la Ecoing 5 pasa a ser una Empresa Provincial donde cambia la estructura y algunas de las misiones productivas y de gestión, por lo que se diseñan cambios radicales en la misma. Estos cambios llevaron a una innovación organizacional, en la que se diseñó un Sistema Integrado de Gestión que permitió perfeccionar la Organización General de la Empresa, al lograrse una estructura que se acerca más a los procesos de trabajo de la entidad. Se definieron las funciones y facultades de los dirigentes y trabajadores, así como las responsabilidades, los procedimientos, los procesos y los recursos que se establecen para llevar a cabo la gestión integrada de los sistemas, dándole cumplimiento al marco regulatorio nacional y teniendo especial cuidado en el cumplimiento de los requisitos de las 4 normas certificables; NC ISO 9001:2008 [ININ, 2008], NC ISO 14001:2004 [ININ, 2004a], NC 18001:2005 [ININ, 2004b], NC 3001: 2007 [ININ, 2007].

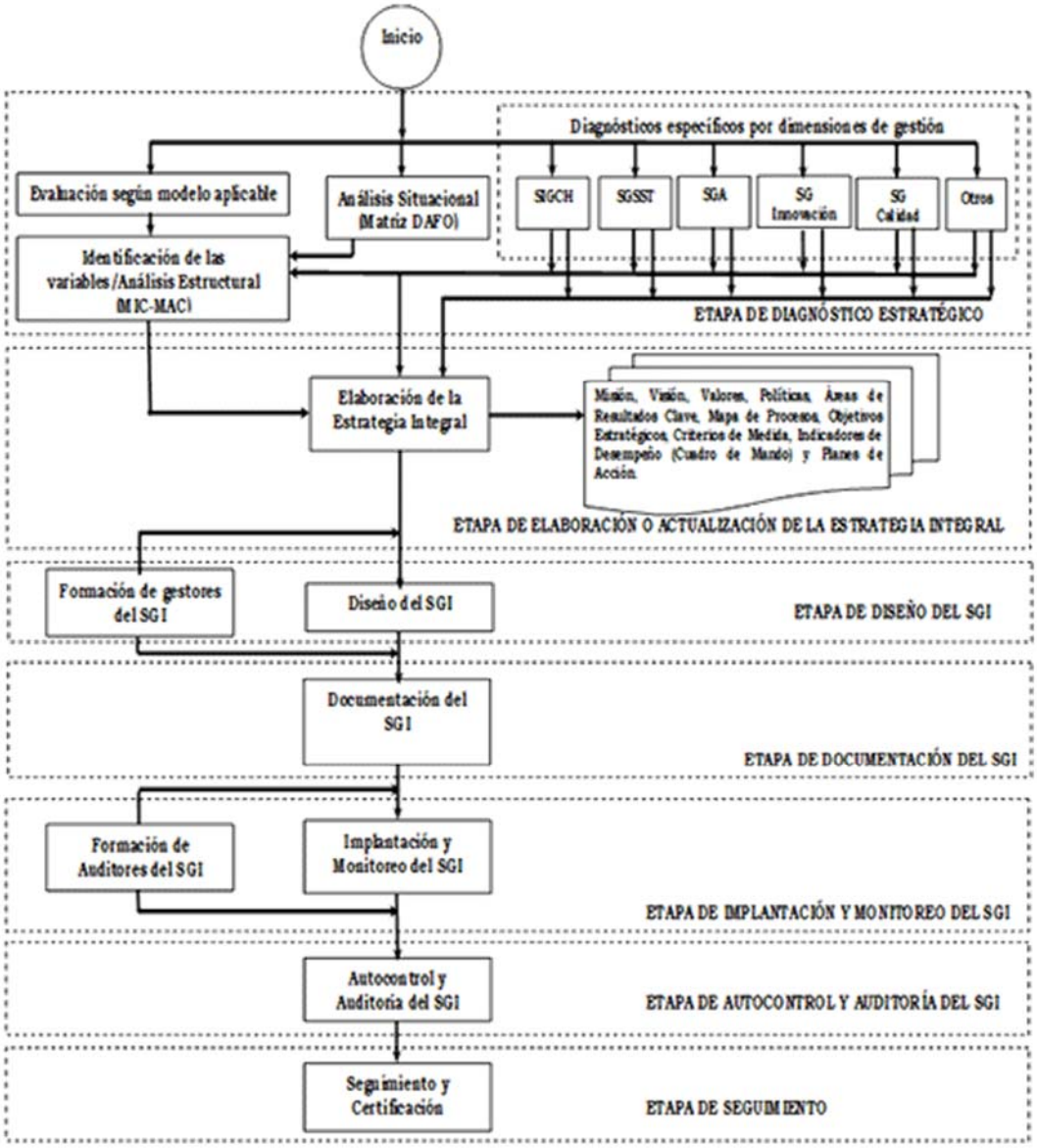


Fig. 1. Algoritmo para el diseño del Sistema Integrado de Gestión de la Ecoing 5 [Cabezas y Calderón, 2011].

En la figura 2 se muestra el mapa de procesos de la organización.

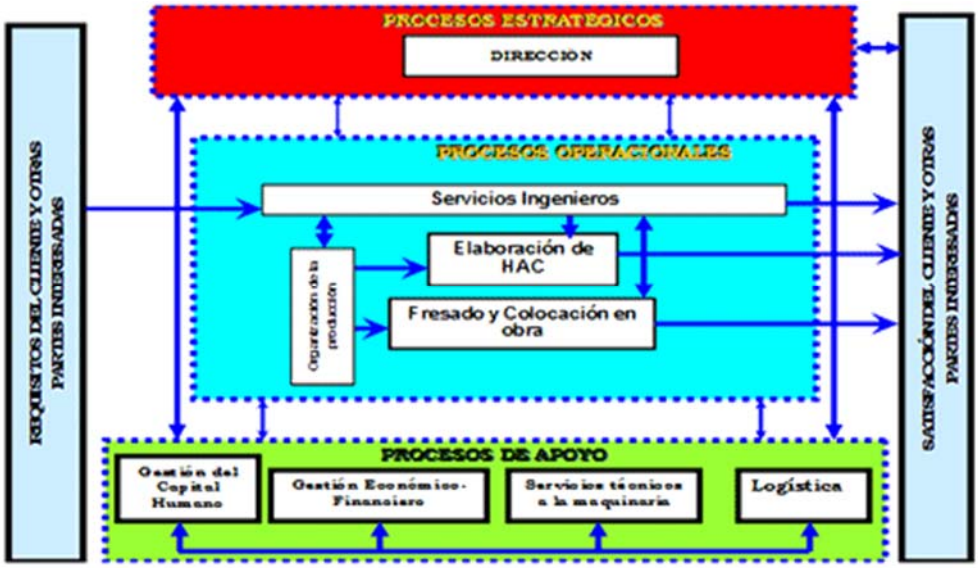


Fig. 2. Mapa de procesos.

En la organización, uno de sus objetos sociales es la elaboración de hormigón asfáltico caliente, una mezcla de áridos más asfalto bien dosificados a una temperatura y tiempo adecuados, además de su colocación en obra. Este producto se utiliza para la reparación vial y los aeródromos, colocándose por capas de espesores previamente determinados según diseño de mezclas que deben cumplir los requisitos normativos establecidos (NC 160:2002 Carreteras. Hormigón Asfáltico Caliente. Colocación en Obra, y NC 253: 2005 Carreteras. Materiales bituminosos. Hormigón Asfáltico Caliente. Especificaciones), teniendo en cuenta las necesidades de los clientes y otros interesados. Actualmente se trabaja en ampliar el alcance a los Procesos de Elaboración de Hormigón Asfáltico Caliente y Colocación en Obra, así como en lo referente a la Gestión Medioambiental (NC ISO 14001:2004), Seguridad y Salud en el Trabajo (NC-18001:2005), y Gestión Integrada del Capital Humano (NC-3001:2007), conformando un Sistema de Gestión Integrada con el Sistema de Dirección y Gestión de la Empresa Estatal Socialista Cubana, según el Decreto 281-2007.

Nuestra organización es altamente impactante al medioambiente por la actividad que realiza y los recursos que consume, por lo que es necesario el control de la emisión de CO_2 a la atmósfera, y es por ello que este trabajo constituye la premisa fundamental para el control de esas emisiones. Es necesario destacar que los resultados presentados corresponden a la empresa en su totalidad, y en estudios posteriores se particularizará en los procesos operacionales (Elaboración de HAC y Fresado y Colocación en Obra del HAC).

En la búsqueda de información sobre el tema, se pudo constatar que la huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, y se relaciona con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos. Consecuentemente, es un indicador clave para la sostenibilidad de cualquier organización, y de ahí que el presente trabajo consiste en el cálculo de la huella ecológica de la Ecoing 5 asociada a los portadores energéticos que consume. Para ello se utilizaron los indicadores correspondientes al año 2013 y hasta el cierre de abril del presente año. Existen diversos conceptos de huella ecológica encontrados en la investigación realizada para este trabajo, dados por varios autores [Asociación…, 2009; Baracca, 2007; Moreno, 2008; Ruiz, 2008; Serrano, *et.al.,* 2006; Rees y Wackernagel, 1996]. A continuación se exponen algunos de ellos:

1. La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos.
2. Representa el área de tierra o agua ecológicamente productivos (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos, e idealmente también el volumen de aire), necesarios para generar recursos y asimilar los residuos producidos por cada población, de acuerdo a su modo de vida, de forma indefinida. La medida puede realizarse a muy diferentes escalas: individuo (la huella ecológica de una persona), poblaciones (la huella ecológica de una ciudad, una región, un país,...), comunidades (la huella ecológica de las sociedades agrícolas, las sociedades industrializadas, etc.).
3. Al consumir recursos de forma irracional se reduce la superficie de bosques, praderas, desiertos, manglares, arrecifes, selvas, y la calidad de los mares. Al impacto de una persona, ciudad o país sobre la Tierra, para satisfacer lo que consume y absorber sus residuos, se conoce como huella ecológica.
4. La huella ecológica es un indicador ambiental de carácter integrador del impacto que ejerce una cierta comunidad humana, país, región o ciudad sobre su entorno. Es el área de terreno necesario para producir los *recursos* consumidos y asimilar los *residuos* generados por una población determinada con un modo de vida específico, donde quiera que se encuentre esa área.

El objetivo fundamental de calcular las huellas ecológicas consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida, y compararlo con la biocapacidad del planeta. Consecuentemente, es un indicador clave para la sostenibilidad de cualquier organización.

El cálculo de la huella ecológica es complejo y en algunos casos resulta acaso imposible, lo que constituye su principal limitación como indicador; en cualquier caso, existen diversos métodos de estimación a partir del análisis de los recursos que una persona consume y de los residuos que produce, así como de las hectáreas utilizadas para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo. La ventaja de medirla para entender la apropiación humana está en aprovechar la habilidad para hacer comparaciones. Es posible comparar, por ejemplo, las emisiones producidas al transportar un bien en particular, con la energía requerida para el producto sobre la misma escala (hectáreas).

La metodología de cálculo consiste en contabilizar el consumo de las diferentes categorías y transformarlo en la superficie biológica productiva apropiada, a través de índices de productividad. Estas categorías son:

- Cultivos: área para producir los vegetales que se consumen. Constituye la tierra más productiva ecológicamente, y genera la mayor producción neta de biomasa utilizable por las comunidades humanas.
- Pastos: área dedicada al pastoreo de ganado.
- Bosques: área en explotación para producir madera y papel.
- Mar productivo: área para producir pescado y marisco.
- Terreno construido: áreas urbanizadas u ocupadas por infraestructuras.
- Área de absorción de CO_2: superficie de bosque necesaria para la absorción de la emisión de CO_2 debido al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía. Se contabilizan consumos en la producción de bienes, gastos en vivienda y transportes, entre otros.

El análisis de la huella ecológica ha sido aplicado a varios niveles, desde la escala global hasta el nivel hogareño. Aunque la misma aspira a ser sobre todo un indicador cuantitativo y preciso, sus principales frutos los ha dado como marco conceptual para comparar sociedades completamente dispares y evaluar su impacto sobre el medio ambiente planetario.

Estas primeras conclusiones hacen necesario distinguir dos elementos fundamentales: 1) en el mundo industrial actual los impactos se reflejan a nivel planetario, y 2) la huella ecológica tiene poco que ver con el espacio físico ocupado por un grupo humano. De esta manera, la huella ecológica de la mayoría de los países desarrollados supera ampliamente su propia superficie, ya que extraen recursos y vierten residuos en lugares muy alejados de su territorio.

Huella ecológica de empresas

Según Rees y Wackernagel [1996] también es aplicable a las empresas, dado que estas al igual que los ciudadanos son consumidoras de recursos y generadoras de residuos, por lo que se tienen los elementos necesarios para calcular una huella. Para las empresas, aplicar este método se puede cuestionar la unidad de medida del indicador de huella ecológica, ya que es en hectáreas por superficie producida, la cual es aplicable para calcular la huella de un país o una región. Sin embargo, el cálculo de la huella en función del CO_2 es más atractivo para las empresas y algunos autores la denominan como huella de carbono. Al realizar el cálculo por esta metodología se están considerando las exigencias que deben afrontar en el marco del Protocolo de Kyoto.

Así pues, sabiendo que el poseedor de un producto es el poseedor provisional de su huella total acumulada, definimos huella ecológica corporativa como el impacto ambiental, en hectáreas, de cualquier organización, provocado por:

1. La compra de todo tipo de productos y servicios, reflejada en las cuentas contables.
2. La venta de productos procedentes de la producción primaria de alimentos y otros recursos forestales o bióticos, es decir, cuando hortalizas, frutas o carnes entran por primera vez en la cadena del mercado.
3. La ocupación de espacio.
4. La generación de desechos claramente reflejados en su memoria ambiental.

Todos los impactos considerados en la huella ecológica corporativa son perfectamente controlables y auditables, y, por lo tanto, resultan objetivos y transparentes.

Es importante destacar que prácticamente todos los datos de cálculo de la huella ecológica corporativa se pueden obtener de la contabilidad de la organización, motivo por el cual se puede aplicar a cualquier organismo y a cualquier escala; de tal modo elimina cualquier tipo de arbitrariedades y facilita la comparación. La huella ecológica corporativa es un rastreador de la huella ecológica habitual (basada en el ciudadano, como consumidor final), pues analiza el impacto de todo producto o prestación de servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para calcular la huella ecológica de los recursos, correspondiente a energía fósil, debemos conocer su consumo en *gigajoule*, para lo cual se debe

multiplicar dicho consumo en toneladas por su intensidad energética, medida en *gigajoule*/toneladas.

Obtenido el consumo en la unidad correspondiente, y conocida la productividad, se calcula la huella, propiamente dicha, de cada tipo de ecosistema: la huella del consumo de hortalizas se asignará a terrenos cultivables; la del consumo de pescado se asignará al mar; la del consumo de madera se asignará a bosques; la del consumo de carne se asignará a pastos; la de la ocupación del espacio construido se asignará a terreno construido, y la del consumo de materiales o energía se asignará a energía fósil. Este último punto presupone que la producción de materiales o energía produce emisiones de CO_2, las cuales precisan de superficies forestales para su absorción.

Visto lo anterior, se pudiera realizar el cálculo según la naturaleza asociada a cada uno de los elementos de nuestra organización, de:

- Cálculo de la huella asociada al consumo eléctrico.
- Cálculo de la huella asociada al consumo de combustible.
- Cálculo de la huella asociada al consumo de materiales.
- Cálculo de la huella de los servicios.
- Cálculo de la huella de los residuos, emisiones y vertidos.
- Cálculo de la huella asociada al consumo de agua.
- Cálculo de las huellas social y cultural.

En el caso que nos ocupa se propone el cálculo de la huella ecológica, o de carbono asociada a las emisiones a la atmósfera de CO_2, debido a la alta incidencia que tiene nuestra actividad fundamental en el medioambiente. Para ello se tomaron los datos correspondientes al año 2013 y hasta el mes de abril del 2014, tal y como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Portadores energéticos y consumo real

Indicadores	**U/M**	**Consumo real/2014**
Energía eléctrica	MWh	193,880
Diésel	L	880 940
Gasolina	L	21 120
Fuel oil	L	369 690

Tabla 2. Emisión de CO2 a la atmósfera por consumo de energía eléctrica

Indicadores	U/M	Acumulado /2014	Combustible equivalente en kg	Emisión de CO_2 (t)
		Real		
Energía eléctrica	MWh	193,880	42 653,60	116,328

Para determinar la cantidad de kilogramos de combustible consumida en la generación de electricidad, se consideró el índice de 220 g de diésel por cada kWh generado. Este índice es el límite inferior referido al costo energético para producir electricidad en el país, donde se obtiene que al consumir 193 880 MWh (que es el total de energía eléctrica consumida en la empresa), se han necesitado 42 653,60 kg de combustible equivalente para generarla, y se han enviado a la atmosfera 116 328 toneladas de CO_2 hasta el mes de abril, solamente por concepto de uso de electricidad. El factor de emisión usado para determinar la carga contaminante de CO_2, es de 0,60 t por MWh consumido.

Combustible diésel

Para el cálculo de las emisiones de CO_2 por concepto de consumo de combustible diésel tenemos que:

Tabla 3. Emisión de CO2 a la atmósfera por consumo de diésel

Indicadores	U/M	Acumulado /2014	Combustible equivalente en kg	Emisión de CO_2 (t)	
		Real			
Consumo diesel	Litros	193,880	612,66	162,47	162 471,4 kg

El factor de emisión seleccionado es de 3,16 kg de CO_2 por kg de combustible.

La densidad del diésel considerado es de 0,838 kg/L. Como resultado del cálculo se tiene que por consumo de diésel se emitieron a la atmósfera 162,47 toneladas de CO_2.

Gasolina

La gasolina es otro de los combustibles que se consume masivamente y tiene gran incidencia y contribuye a la generación de emisiones de CO_2 a la atmósfera.

Tabla 4. Emisión de CO2 a la atmósfera por consumo de gasolina

Indicadores	U/M	Acumulado /2014	Gasolina (kg)	Gasolina (t)	Emisión de CO_2 (t)	
		Real				
Gasolina	Litros	21 120	15 269,76	15,27	67,5	67 584 kg

La densidad de la gasolina es de 0,723 kg/L y el factor de emisión utilizado fue de 3,20 kg CO_2/kg.

La emisión de contaminantes que ingresa a la atmósfera por el uso de la gasolina es de 67,5 toneladas.

Fuel oil

El fuel oil se utiliza para la puesta en marcha de las plantas de asfalto en nuestra organización; se caracteriza por ser altamente contaminante, no solamente por la emisión en CO_2, sino también por emisiones de otros residuales altamente nocivos.

Tabla 5. Emisión de CO2 a la atmósfera por consumo de fuel oil

Indicadores	U/M	Acumulado /2014	Fuel oil (kg)	Fuel oil (t)	Emisión de CO_2 (t)	
		Real				
Fuel oil	Litros	369 690	369 616	369,6	1 167 986,5	1 167,93 kg

La densidad del fuel oil es de 0,9998 kg/L y el factor de emisión empleado es de 3,16 kgCO_2 /kg. La emisión de contaminantes que ingresa a la atmósfera por el uso de fuel oil es de 1 167 986,5 toneladas. A continuación en la figura No.3, se muestra el nivel de contaminación que provoca el consumo de este combustible.

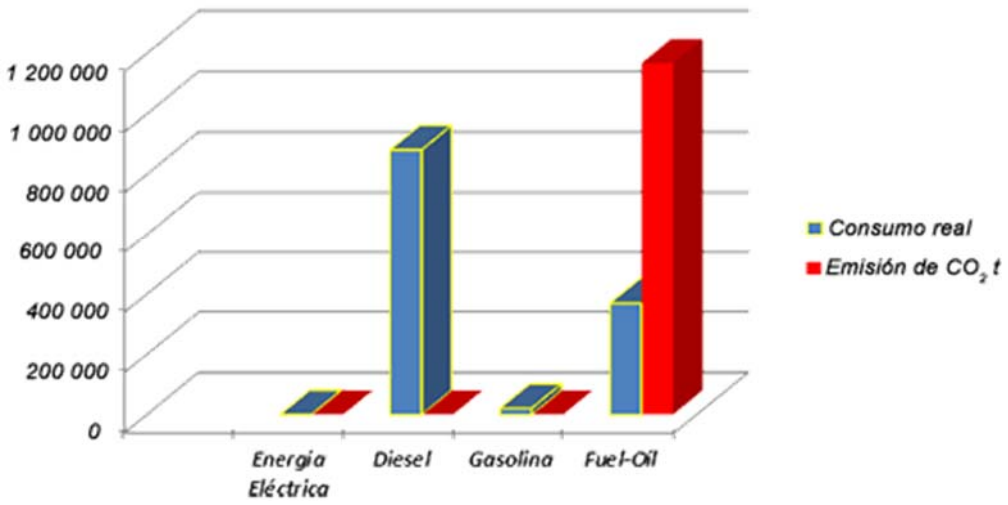


Fig. 3. Gráfico de consumo de fuel oil vs emisión de CO2.

Conclusiones

A partir de los cálculos realizados podemos decir que hasta el cierre de abril, en la Ecoing 5, para producir 59,864 toneladas de mezcla asfáltica se ha generado una carga contaminante a la atmósfera por concepto de consumo de energía eléctrica, diésel, gasolina y fuel-oil, de 1 168 327,8 toneladas de CO_2 a la atmósfera. Estos resultados serán comparados en igual período del pasado año.

Es importante señalar que estos análisis contribuyeron a la toma de decisiones por la organización para definir prioridades en cuanto al funcionamiento y mantenimiento de las plantas de asfalto de nuestra organización, así como para viabilizar las importaciones de los filtros de manga, los cuales no se fabrican en el país.

Recomendaciones

Para la disminución de la carga contaminante se recomienda:

1. Realizar un estudio integral energético en la organización para determinar cuánto debemos consumir por concepto de portadores energéticos (combustibles fósiles).
2. Realizar los mantenimientos planificados a las plantas de asfalto, asegurando el cambio de filtros de mangas.
3. Realizar un estudio de la calidad del aire en dichas plantas.
4. Chequear los índices de consumo de las UEB, realizando un análisis exhaustivo de los consumos por diferentes conceptos, para disminuirlos.

De estas recomendaciones ya se están ejecutando los mantenimientos planificados, así como los cambios de los filtros de mangas, estos últimos importados, así como el control diario de los índices de consumo de los procesos mayores consumidores implicados; estos son el procesos de elaboración de HAC (hormigón asfáltico caliente) y fresado, y colocación en obra de HAC.

Bibliografía

Asociación Danesa de la industria Eólica. *Energía eólica. Manual de referencia*. Disponible en: www.windpower.org/es/tour/wres/betz.htm. Consultado el 12 de mayo de 2009.

BARACCA, ÁNGELO (2007). «La insostenibilidad del petróleo», en *Energía y tú,* (37): 25-26, 2007.

CABEZAS, A. C. Y O. CALDERÓN (2011). *Sistemas de Gestión Integrada. Principios del Sistema de Gestión Integrada. Diplomado de Calidad*. Tercera edicion. La Habana: Gecyt, 2011.

CECM (2007). *Decreto No. 281. Reglamento para la implantación y consolidación del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal*. La Habana: 2007.

ININ (2008). *NC ISO 9001. Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario, en Normalización*. La Habana: ISO 9000, 2008.

ININ (2004a). *NC ISO 14001:2004. Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos*. La Habana, Cuba.

ININ (2004b). *NC 18001:2004. Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Requisitos*. La Habana: 2004.

ININ (2007). *NC 3001. Sistema de Gestión Integrada de Capital Humano. Requisitos*. La Habana: 2007.

MORENO, CONRADO (2008). «El concepto danés», en *Energía y tú,* (44): 22-23, 2008.

PONCE CEBALLOS, FÉLIX Y ABEL ÁLVAREZ TORRES. Grupo de Energías Alternativas del Departamento de Explotación, Facultad de Mecanización Agropecuaria. Universidad Agraria de La Habana.

REES,W. Y WACKERNAGEL, M. (1996). La huella ecológica corporativa. Our ecological footprint.
Reducing human impact on Earth. New Society Publishers.
Canadá: 160 pp.

RUIZ, REINALDO (2008). «Agua: recurso vital y finito», en *Energía y tú,* (41): 9-12, 2008.

SERRANO MÉNDEZ, *et al*. (2006). *Protección ambiental y producción más limpia*. Tabloide de Universidad para todos. La Habana: 2006.
ISBN: 978-959-270-097-0.

Contaminantes atmosféricos procedentes de un generador de vapor instalado en la UEB Conrado Piña

Atmospheric pollutants from a steam generator installed at Conrado Piña UEB

Por: Lic. A. Ferrero Campos,*
*M.Sc. M. Reinosa Valladares**,*
*y M.S.c. A. Hernández Garces****
** Grupo Empresarial de la Industria Química (GEIQ), Cuba.*
*** Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas (CIIQ), Cuba.*
**** Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Ispjae), Cuba.*
e-mail: ariana@geiq.cu; anel@quimica.cujae.edu.cu;
mirtha@inor.ciiq.minem.cu

Resumen

Con el desarrollo de la industria y el transporte, la contaminación de la atmósfera ha ido ampliándose considerablemente, advirtiéndose sus efectos a gran escala. Aunque en Cuba, de forma general, no se presenta como un gran problema, excepto en algunas zonas, ya se observan sus efectos, fundamentalmente en las variaciones del clima, aumento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos, impactos en algunos cultivos y en la salud humana. Esto implica la necesidad de cuantificar las emisiones a la atmósfera, poniendo el énfasis en aquellas fuentes ubicadas en aquellos territorios que muestran una situación preocupante con respecto a la calidad del aire, como es el caso del municipio Cotorro por su alta actividad industrial. Este trabajo tiene como principal objetivo determinar las emisiones de contaminantes atmosféricos (CO, SO_2, NOx, PST) procedentes del generador de vapor recién instalado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Conrado Piña, ubicada en el Cotorro, mediante un analizador de gases Testo 340 y factores de emisión reportados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (siglas en inglés USA EPA). Su resultado determinó que con el SO_2 se incumple la emisión máxima admisible establecida en la NC/TS 803: 2010, para la categoría de Nuevas Fuentes. Se aplicó el modelo de dispersión Berlyand, obteniéndose la concentración máxima a nivel de terreno de cada uno de los contaminantes, y comprobándose, además, que los niveles alcanzados para el SO_2 superan la máxima admisible establecida en la NC 1020: 2014, no siendo así para el resto de los gases de combustión.
Palabras claves: Emisiones, contaminantes atmosféricos, modelo de dispersión

Abstract

The development of industry and transport is one of the causes of considerably growing atmospheric pollution, and its effects can be perceived on a large scale. Although in Cuba, in general, it is not a big issue except in some areas, its effects are already observed, mainly in the variations of the climate, increase in the frequency of extreme weather events, impacts on some crops and on health human. This indicates the need to quantify the atmospheric emissions, with emphasis on those sources located in territories that show a worrying situation with regard to air quality due to high industrial activity, like for instance Cotorro municipality. The main objective of this paper is to determine the emissions of atmospheric pollutants (CO, SO_2, NOx, PST) of the recently installed steam generator at Conrado Piña Base Business Unit (UEB), located in El Cotorro, using a gas analyzer and emission factors reported by the United States Environmental Protection Agency (EPA) Testo 340. The measurements allowed to determine that the maximum permissible emission established in NC/TS 803: 2010 for the New Sources category is not met with SO_2. The Berlyand dispersion model was applied, obtaining the maximum concentration at ground level for each of the pollutants, and it was also verified that the levels reached for SO_2 exceed the maximum acceptable established in NC 1020:2014, which was not the case for the combustion gases.
Keywords: Emissions, atmospheric pollutants, dispersion model

Introducción

Desde 1970 se establecieron en Cuba actividades de vigilancia de la calidad del aire, encabezadas por el Ministerio de Salud Pública, las cuales se incluyeron en 1996 en el Programa Nacional de Prevención y Control de la Calidad del Aire [Cuesta, 2014]. Como parte de este Programa se exige que en todos los niveles del Sistema Nacional de Salud exista un registro de las fuentes contaminantes de cada localidad, clasificadas en distintas categorías, que permita planificar periódicamente las inspecciones necesarias [Cuesta, 2014]. Los principales problemas ambientales de la industria en Cuba relacionados con la contaminación del aire, están centrados fundamentalmente en las industrias química, azucarera, alimentaria, minera, ligera y sideromecánica. Entre los municipios capitalinos afectados por esta situación se encuentra el Cotorro, por la alta tasa de actividad industrial que presenta este territorio. Dentro del mismo se selecciona como objeto de estudio a la UEB Conrado Piña, perteneciente a la Empresa la Goma; se dedica a la producción y comercialización de productos derivados del caucho, para lo cual no se emplean equipos de proceso continuo sino métodos manuales, por lo que se puede afirmar que la producción se realiza con equipos obsoletos tecnológicamente. Se requiere de la generación de vapor para llevar a cabo todos los procesos

productivos que tienen lugar en esta entidad, necesitándose para ello un alto consumo de combustible, lo que trae como consecuencia la emisión continua de contaminantes a la atmósfera. Este trabajo se orienta a determinar los contaminantes atmosféricos (CO, SO_2, NOx, PST) emitidos en el generador de vapor recién instalado en esta industria, mediante un analizador de gases Testo 340 y factores de emisión reportados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USA EPA, por sus siglas en inglés).

Materiales y métodos

Medición de la concentración de contaminantes en los gases de combustión a la salida del generador de vapor en la UEB Conrado Piña. Las mediciones de los contaminantes monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2) fueron realizadas en el conducto de salida de los gases mediante un analizador de gases de combustión, modelo TESTO 340. Este equipo mide además los porcentajes de oxígeno y de exceso de aire (n), y calcula el porcentaje de CO_2 y la eficiencia (Ɛ) del proceso de combustión [Análisis…, 2007]. Para los óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (MP) se calcularon las emisiones de estos contaminantes atmosféricos a partir de ecuación (1), y se emplearon los factores de emisión publicados por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos, EPA, en la serie AP 42 para este tipo de fuente puntual o estacionaria [Emissions…, 2009].

$$E = A \times f \times [1 - (\epsilon / 100)] \quad \textbf{(1)}$$

Donde:
E: Emisiones
A: Tasa de actividad (consumo de combustible o energía, generación de energía, producción)
f: Factor de emisión no controlada, es decir, sin tratamiento
ϵ: Eficiencia de reducción de emisiones, cuando se utiliza tecnología de reducción (%). Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces $\epsilon = 0$

Determinación del consumo de combustible y datos operacionales

En la tabla 1 se muestran las principales características técnicas del generador de vapor (GV) recién instalado en la UEB Conrado Piña.

Tabla 1. Características técnicas del GV

Producción nominal de vapor	4 t/h
Producción de vapor	35,6 kg/m2
Presión máxima de trabajo	1,2 Mpa
Temperatura a la salida de los gases	241,8 ºC
Eficiencia calculada	89,2 %
Consumo de combustible	171,6 kg/h
Tipo de combustible	fuel oil

El combustible que alimenta este GV es el fuel oil, cuyos datos aparecen en la tabla 2. Su contenido de azufre es el porcentaje registrado en el Certificado de Calidad entregado por CUPET al cliente. El resto de los parámetros están en correspondencia con valores reportados para este tipo de combustible.

Tabla 2. Datos del combustible

Azufre	**Carbono**	**Hidrógeno**	**Gravedad específica a 60 ºF**
2,00 %	85,05 %	11,89 %	0,96

Cálculo del consumo de combustible

A continuación se describe la metodología aplicada para la determinación del consumo de combustible [Reinosa, 2012]. Se calcula la masa de combustible gastado en kg/h, partiendo de los galones consumidos durante las horas efectivas de trabajo en el GV. Como el GV trabaja 12 h de forma continua, este será su tiempo efectivo de trabajo.

Flujo de combustible por hora (m^3/h) = [Volumen del combustible gastado (L) / tiempo efectivo de combustión (h)] **x** (1 m^3 / 1000 L) = m^3/h **(2)**

Se conoce la gravedad específica del combustible a 60 0F, lo que permite determinar la densidad del combustible, y finalmente calcular su consumo en kg/h.

Consumo de combustible = Gasto de combustible (m^3/h) x ρcombustible 60 ºF (kg/m^3) **(3)**

El flujo de gases emitido se obtuvo por medio de la ecuación (4):

$F_{gases\ de\ combustión} = V \times C$ **(4)**

Donde:
$F_{gases\ de\ combustión}$: Flujo de los gases de combustión (m3/s)
V. Volumen de gases húmedos expresado en $m3/kg_{combustible}$, para condiciones normales
(0 ºC y 760 mmHg)
C: Consumo de combustible en kg/s

El cálculo del flujo de gases de combustión se realiza según la ecuación (5):

$$V = 22{,}4\left[\left(\frac{P_C}{12} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_S}{32} - \frac{P_{O_2}}{32}\right)\frac{n}{0{,}21} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_{O_2}}{32}\right] \quad \textbf{(5)}$$

Donde:
V: Volumen de gases húmedos en condiciones normales (0 ºC y 760 mmHg) en m^3 por kg de combustible (Nm^3 húmedo/kg)

$P_C\ P_{H_2}\ P_S\ P_{O_2}$: Son las composiciones en tanto por uno de un combustible formado por carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre
n: Coeficiente de exceso de aire. En el caso de esta fuente n = 1 + exceso de aire

Análisis de dispersión de contaminantes atmosféricos. Impacto sobre la calidad del aire

En el análisis de dispersión se empleó el modelo Berlyand (Programa CONTAMIN).

En la ventana de diálogo siguiente se introducen los siguientes parámetros:

- Altura del punto emisor – chimenea (m)
- Diámetro del punto emisor – chimenea (m)
- Flujo volumétrico de la mezcla de gases (m^3/s)
- Flujo máximo de la sustancia contaminante (g/s)
- Temperatura de la mezcla de gases a la salida de la chimenea (K)
- Temperatura ambiente del aire (K)

Luego se obtiene como resultado final del procedimiento:

- Concentración máxima (cm) del contaminante ($\mu g/m^3$) y los valores para otras distancias seleccionadas.
- Distancia de máxima concentración (m).
- Velocidad crítica del viento (m/s).

Análisis de los resultados

Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor

La NC/TS 803: 2010 establece las Emisiones Máximas Admisibles (EMA), las cuales se expresan en términos de concentración de los contaminantes en los gases secos que se expulsan a la atmósfera por las fuentes fijas, y se representan en unidades de mg/Nm^3, lo que corresponde al contenido en peso del contaminante por unidad de volumen del gas seco expulsado al aire, en condiciones de temperatura y presión normales. Las magnitudes de las EMA se han establecido en dependencia de las características de las instalaciones que generan los contaminantes; para el caso de las calderas de vapor se distinguen diferentes clasificaciones, que se subdividen en correspondencia con el tipo de combustible que utiliza. En el caso del GV objeto de estudio se clasifica como (c-4)- fuel oil [Oficina…, 2010]. En la tabla 3 aparecen los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos emitidas por el GV objeto de estudio. Para realizar la comparación de las emisiones con la norma cubana NC/ 803: 2010 fue necesario convertir los valores de concentración de los contaminantes en unidades de mg/Nm^3. Las EMA solo están referidas en la NC/TS 803: 2010 a los contaminantes SO_2, NOx y material particulado. (MP). Se debe aclarar que los NOx se expresan como NO_2.

Tabla 3. Resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos emitidas por el Generador de Vapor objeto de estudio

Contaminante	**EMA (mg/Nm3) categoría Nuevas Fuentes**	**Resultados de los muestreos**	
		1er.	**2do.**
SO_2	2000	**3234**	**2806**
NOx	460	255	255
MP	150	46	47

Según los resultados obtenidos en la tabla 3 se observa que las emisiones resultantes de los contaminantes NOx y MP no sobrepasan las EMA establecidas en la NC/TS 803: 2010, no siendo así para el caso del SO_2 cuyas concentraciones exceden las EMA. Los mayores aportes, como era de esperar, están referidos al SO_2, causados fundamentalmente por el tipo de combustible que se emplea con alto contenido de azufre, además del elevado consumo de fuel oil que tiene esta entidad. Se conoce que existe una relación directa entre el consumo de combustible y la emisión de contaminantes a la atmósfera. En tal sentido, se recomienda que se continúe con la entrega por parte de CUPET del Certificado de Calidad del combustible, con el objetivo de monitorear fundamentalmente el porcentaje de S en el fuel oil.

Evaluación del impacto sobre la calidad del aire de las emisiones de contaminantes atmosféricos producidas en el generador de vapor

La tabla 4 reporta los resultados del modelo de dispersión Berlyand, donde se registran las concentraciones máximas obtenidas durante todo el muestreo y las distancias a las que se producen estos valores.

Los resultados demuestran que para los contaminantes NOx, CO, y partículas en suspensión totales (PST), las concentraciones obtenidas mediante el Berlyand no superan las Concentraciones Máximas Admisibles (CMA**)** (µg/m³) establecidas en la NC 1020: 2014, no comportándose así para el SO_2 cuyos niveles de inmisión en ambas jornadas de muestreo sobrepasan la CMA establecida en la norma de calidad del aire [Oficina…, 2014]. En tal sentido, se observa que existe una correspondencia entre las

normas de emisiones NC/TS 803: 2010 en la categoría de Nuevas fuentes, con la recién aprobada norma de calidad del aire NC 1020: 2014, en cuanto al incumplimiento del contaminante SO_2.

Tabla 4. Resultados del modelo de dispersión Berlyand

Contaminante	**Muestreos**	**Distancia (m)**	**Concentración obtenida (µg/m³)**	**CMA (µg/m³) según NC 1020: 2014**
SO_2	**1er.**	187,98	584,70	**250**
	2do.	172,69	469,65	
NOx	**1er.**	187,98	46,02	**160**
	2do.	172,69	35,22	
CO	**1er.**	187,98	36,51	**25 000**
	2do.	172,69	27,63	
PST	**1er.**	187,98	8,34	**400**
	2do.	172,69	6,49	

Inventario de emisiones

A partir de las emisiones obtenidas se procedió a realizar el inventario de cada uno de los contaminantes atmosféricos generados en el GV de la UEB Conrado Piña. El conocimiento de estas emisiones es una valiosa herramienta de gestión ambiental para trazar estrategias de control de la contaminación. La tabla 5 muestra la carga contaminante que como promedio se emite durante la generación de vapor en esta entidad. Como no existe tecnología de reducción de emisiones, estos valores se

corresponden con la cantidad de contaminantes atmosféricos que se disponen al medioambiente.

Tabla 5. Carga contaminante

Contaminante	**Carga contaminante**	
	kg/d	**t/mes**
CO	11,23	0,27
SO_2	181	4,34
NOx	14	0,34
MP	2,55	0,06

El gráfico que aparece en la figura 1 expone las toneladas anuales de sustancias contaminantes expulsadas a la atmósfera por este GV. Las mayores cantidades están referidas al SO_2, por lo que las medidas de control deben estar orientadas a su disminución.

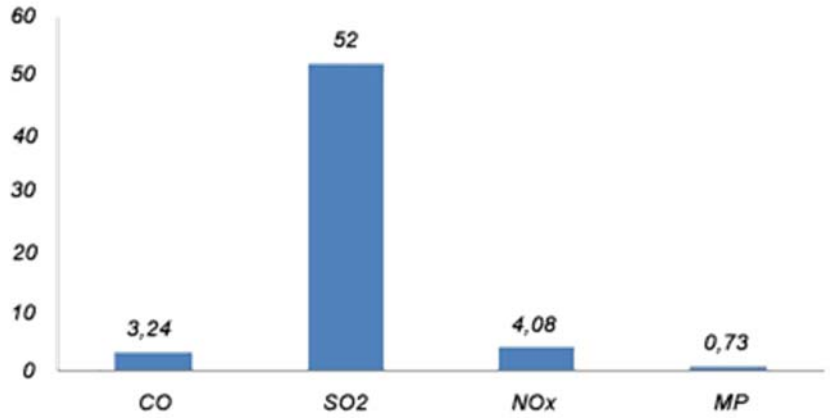


Fig. 1. Inventario de emisiones.
Fuente: elaborada por el autor.

Se conoce que las zonas de alta incidencia de SO_2 pueden llegar a provocar bronquitis, asma e incluso cáncer pulmonar, y en casos extremos

se han llegado a reportar alteraciones del sistema nervioso [NHEM, 1992], enfermedades que pueden incrementar su incidencia en la población expuesta a las múltiples fuentes contaminantes presentes en el Cotorro.

Conclusiones

1. Como resultado del muestreo y caracterización de los gases de combustión emitidos por el generador de vapor recién instalado en la UEB Conrado Piña, se determinó que en el SO_2 se incumple la emisión máxima admisible establecida en la NC/TS 803: 2010, para la categoría de Nuevas fuentes.
2. Se aplicó el modelo de dispersión Berlyand, obteniéndose la concentración máxima a nivel de terreno de cada uno de los contaminantes (SO_2, NOx, CO, PST), y comprobándose además que los niveles alcanzados para el SO_2 superan las CMA establecida en la NC 1020: 2014, no siendo así para el resto de los gases de combustión.
3. Se realizó el inventario de emisiones. Las mayores cantidades están dadas por el SO_2, emitiéndose cada año 52 toneladas a la atmósfera.

Referencias

Análisis de gases de combustión en la industria. Guía práctica para medir emisiones y procesos (2007). Oficina Central de Testo: Testo in Germany and Worldwide.

CUESTA SANTOS, O. (2014). «El aire que respiramos». Disponible en: digital@juventudrebelde.cu.

Emissions Factors & AP 42/Clearing for Emission Inventories (2009). Disponible en: www.epa.gov/ttnchie1/ap42.

NHEM (1992). *Contaminación del aire y la salud*. Serie Salud Ambiental. Editorial Ciencias Médicas, vol. 2, 1992.

Oficina Nacional de Normalización (2010). *NC 803:2010. Calidad del aire. Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor*.

Oficina Nacional de Normalización (2014). *NC 1020:2014. Calidad del aire-contaminantes-concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables*.

REINOSA, M. (2012). «Obtención de factores de emisión en la industria farmacéutica cubana». Tesis Presentada en Opción al Título Académico de Máster en Ingeniería Ambiental. 2012, ISPJAE: La Habana, Cuba.

Aplicación de modelos de dispersión en la evaluación del impacto ambiental atmosférico de proyectos de inversión

Application of dispersion models in the evaluation of the atmospheric environmental impact of investment projects

Por M.Sc. Iván. Casals Blet y Dr. Allan Pierra Conde***
** Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.*
***Ministerio de Educación Superior (MES).*
e-mail: icasals@ismm.edu.cu y apierra@mes.gob.cu

Resumen

En este trabajo se muestran las experiencias prácticas del uso de modelos de cálculo en la evaluación del impacto ambiental atmosférico en proyectos de inversión minero-metalúrgica en la región de Moa. Se muestra la adecuación de los términos de referencia y objetivos de los estudios según cada etapa del proyecto, así como el empleo de diferentes modelos de cálculo y normativas en correspondencia con la instancia regulatoria ante la cual se presentan los estudios. Se ha implementado la propuesta de guía para realizar los estudios de dispersión de contaminantes en el procedimiento de los estudios de impacto ambiental (EsIA), con el objetivo de asegurar que el uso de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos sea justificado y se aplique correctamente, dado que en el momento de desarrollo de los trabajos no existía la NC 1059. Esto requiere, por una parte, implementar y mantener procesos que desarrollen el conocimiento y competencia en evaluadores, analistas y tomadores de decisiones acerca del estado del arte en cuanto a la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos.
Palabras claves: Modelos dispersión, impacto ambiental, análisis de sondeo, modelo Berlyand, Screen3

Abstract

This paper shows the practical experiences on the use of calculation models in the evaluation of atmospheric environmental impact in mining-metallurgical investment projects in Moa region. It shows the adjustment of the terms of reference and objectives of the studies according to each stage of the project, as well as the use of different models of calculation and regulations in correspondence with the regulatory body before which the studies are presented. It has been implemented a guide proposal to carry out studies on the dispersion of pollutants in the environmental impact studies procedure (EsIA), with the objective of ensuring that the use of atmospheric pollutant dispersion models is justified and applied correctly,

given that at the time of development of the paper NC 1059 standard was not yet issued. This requires, on the one hand, implement and maintain processes that inspectors, specialists and decision makers develop knowledge and competence about the state of the art of dispersion modeling of atmospheric pollutants.
Keywords: Dispersion models, environmental impact, wind analysis, Berlyand model, Screen3

Introducción

En el artículo descriptivo del estado del arte de la modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos en Cuba [Montes de Oca, *et al*., 2008], se plantea que debido a la importancia que tiene esa modelación, se ha propuesto una Guía [Turtos, *et al*., 2004] para la aplicación de estos modelos en nuestro país, con el fin de lograr que los estudios locales de calidad del aire presenten mayor rigor y estén a la altura del estado del arte internacional, dado que la normativa cubana que trata el tema, en lo referente a los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, en el momento de la realización del trabajo no reflejaba los últimos avances de la ciencia en cuanto a esa modelación.

Si bien los trabajos de modelación no se realizaron acorde a la NC 1059, la Guía proporciona la visión necesaria en los enfoques de modelación recomendados y la consistencia en esos métodos de modelación. También se propone aprovechar toda la experiencia adquirida en el país en el uso del modelo de Berlyand [Comité…, 1987], tanto para estimar las concentraciones instantáneas como los promedios diarios, dándole su lugar en el esquema de evaluación por niveles, específicamente en los niveles de sondeo [Montes de Oca, *et al*., 2008].

La Guía recomienda el uso de los modelos Screen3 y Berlyand para análisis de sondeo, y en este caso ilustraremos su aplicación como parte de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) de nuevos Proyectos de Explotación Minero Metalúrgico; para ello fueron necesarias 2 etapas, tomando en consideración los diferentes factores regulatorios que inciden sobre los Proyectos. Una primera etapa emplea el procedimiento de modelación recomendado por los lineamientos del Banco Mundial para estos casos [World Bank Group, 1998], teniendo en cuenta que los EsIA son parte integrante de los Estudios de Factibilidad Banqueable que se deben presentar a los grupos financistas internacionales, y una segunda etapa en la cual se aplican los requisitos regulatorios de la normativa cubana (NC 39:1999), orientada a su presentación a la Autoridad Ambiental de la República de Cuba para tramitar los permisos y licencias consecuentes.

Desarrollo

Se aplicó un procedimiento de sondeo para determinar si los parámetros de las fuentes previstas en los proyectos provocarán que se sobrepasen o no los límites de calidad del aire en las áreas de influencia de los proyectos. El análisis de sondeo aplicado servirá para determinar de manera aproximada las concentraciones esperables en las condiciones más desfavorables.
En los estudios se emplean los elementos brindados por los proyectos para la modelación del proceso de dispersión de contaminantes en la atmósfera, en una aproximación inicial de alcance limitado, lo cual es propio de la fase de factibilidad; para el análisis pormenorizado de cada situación se requiere un estudio a largo plazo empleando modelos detallados, datos de observaciones meteorológicas horarias in situ de un periodo representativo y datos de monitoreo acumulados, además de considerar la experiencia práctica.

Consideraciones generales comunes a los procedimientos de cálculo de las dos etapas

Se procedió previamente a la determinación de los aspectos básicos tomados en cuenta en los cálculos fundamentales, tanto por los procedimientos recomendados por el Banco Mundial [U.S. Enviromental…, 1995; Comité…, 1987].

Condiciones climáticas exteriores

Del informe «Caracterización de la contaminación atmosférica de las zonas afectadas por el proceso industrial de Moa», del Instituto de Meteorología (Insmet), se asumen para el presente estudio los parámetros mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones climáticas exteriores

Parámetros considerados	**Unidad**	**Valor**
Velocidad y dirección del viento promedio anual	m/s	4,5 E
Temperatura máxima (probabilidad de 1 %)	ºC	32 ºC

En la normativa cubana no están establecidas normas para la emisión. Uno de los objetivos de los proyectos es diseñar los sistemas medioambientales y de manejos de gases para lograr el nivel más estricto de las regulaciones del Banco Mundial y las normas cubanas. Estos se resumen debajo, con la fuente indicada:

- Las emisiones de SO_2 por chimenea: 2000 mg/dry Nm3 (según el Banco Mundial).
- SO_2 GLCs promedio de 24 horas: 50 µg/m3 (según la Norma Cubana).

Estabilidad vertical de la atmósfera

La turbulencia de la atmósfera se caracteriza en base a un parámetro que se denomina clase de estabilidad, que es función de la turbulencia térmica y la turbulencia mecánica. Con el propósito de la modelación de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se han definido seis niveles de turbulencia atmosférica, referidos como clases de estabilidad de Pasquill-Guifford (PG):

- Clases PG A, B y C, asociadas con la turbulencia aumentada por el calentamiento diurno, y clasificadas como «condiciones inestables».
- Clase PG D, asociada con la turbulencia generada mecánicamente (velocidades del viento altas) o condiciones de nublados (No calentamiento o enfriamiento). La misma se clasifica como «condiciones neutrales».
- Clases PG E y F, asociadas con el cese de la turbulencia causado por el enfriamiento nocturno y son denominadas como «condiciones estables».

La tabla 2 sintetiza la definición de las clases de estabilidad para condiciones diurnas y nocturnas, según la radiación solar incidente para todos los rangos de velocidades de viento:

Tabla 2. Clases de estabilidad para condiciones diurnas y nocturnas

Velocidad del viento (m/s) a 10 m de altura	**Día**			**Noche (1)**	
	Radiación solar incidente			**4/8> Nubosidad <7/8**	**Nubosidad <3/8**
	Fuerte (mayor que 50 cal/cm^{2}h)	**Moderada (entre 25 y 50 cal/cm^{2}h)**	**Débil (menor que 25 cal/cm^{2}h)**		
< 2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E

5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D
(1) La noche se define como el período desde una hora después de la puesta de sol, hasta una hora antes de su salida. Para cielos totalmente cubiertos, tanto para el día como para la noche, debe asumirse clase de estabilidad D.					

En la figura 1 se muestran las frecuencias de ocurrencia y las diferentes clases de estabilidad PG en la zona de estudio en el periodo muestreado. La tabla 8 muestra la matriz de frecuencias relativas (%) de ocurrencia de clase de estabilidad – velocidad del viento en la que se corrobora lo anterior.

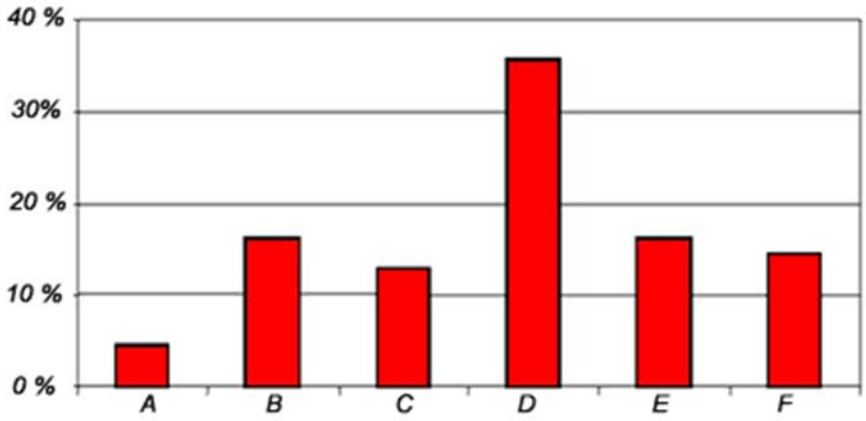


Fig. 1. Frecuencia de ocurrencia de las diferentes clases de estabilidad PG.

Selección de la topografía: urbana o rural

De los diversos criterios utilizados para la selección de la condición urbana o rural (rugosidad de la superficie, uso de la tierra, densidad de población), se adoptó el procedimiento basado en el uso de la tierra. Este procedimiento determina el empleo de parámetros de dispersión urbanos, en aquellos casos para los cuales el uso de la tierra para más de 50 % de la zona de influencia corresponda a zonas altas o medianamente industriales, comerciales o de residencias multifamiliares. Dicha zona de influencia queda determinada por un círculo de 5 km de radio con centro en el foco emisor y por la dirección respectiva del viento. El análisis de la zona de influencia muestra una clasificación rural, en la cual se desarrolle una intensa actividad minero-industrial.

Consideración del efecto de remoción por edificios cercanos

Los edificios ubicados en las inmediaciones de una chimenea influyen de manera diferente en el desarrollo de la pluma, de acuerdo a la relación entre su altura y su ancho. Bajo ciertas condiciones atmosféricas se puede producir una cavidad a barlovento del edificio. La pluma puede ser atrapada en esta cavidad, dando por resultado concentraciones locales extremadamente altas.

Se define entonces la altura de buen diseño técnico h (BDT) como:

$$h_{BDT} = \begin{cases} H_{edif} + 1{,}5\,L & \text{Si } L < H \\ 2{,}5\,H_{edif} & \text{Si } L \geq H \end{cases}$$

Donde:
Hedif: Altura del edificio
L: Menor dimensión entre el ancho proyectado en la dirección del viento y la altura

Se considera que los edificios cercanos modifican el desarrollo de la pluma si la altura de la chimenea es menor que *hBDT*.

Se considera que un edificio está lo suficientemente cerca de una chimenea como para influir en el desarrollo de su pluma, cuando la chimenea está dentro de un rectángulo descrito por una línea ubicada a una distancia 5 L del edificio en la dirección del viento, y otra paralela a la anterior ubicada a una distancia 2 L en la dirección contraria al viento.

Cálculo de las concentraciones horarias máximas para detectar la condición atmosférica de peor caso

Para detectar las condiciones atmosféricas de peor caso, es decir, aquellas que implican la concentración horaria más alta, se deben tener en cuenta todas las combinaciones posibles de clase de estabilidad - velocidad de viento – y altura de la capa de mezcla.

En un escenario complejo con varias fuentes y condiciones meteorológicas cambiantes, es apropiado calcular los impactos de cada fuente individualmente, usando la meteorología simplificada para cada fuente. Pueden sumarse entonces los impactos de todas las fuentes, esto no proporciona un estimado tan riguroso como un modelo detallado multifuente, pero garantiza una evaluación razonable del impacto global.

El método más adecuado es ejecutar la opción de la meteorología completa para cada fuente y sumar los máximos individuales de las concentraciones pronosticadas para determinar un valor máximo combinado. Este acercamiento asume que las fuentes son similares en su naturaleza. Como el valor máximo pronosticado para cada fuente está a menudo asociado con una condición meteorológica única, los máximos individuales no podrán ocurrir para la misma condición. Como consecuencia, la suma será conservadora dado que los máximos individuales ocurrirán como regla general al mismo tiempo.

Altura de la capa de mezclado

Para determinar la situación de peor caso bajo condiciones inestables y neutras (clases A, B, C y D), es necesario realizar un análisis tomando como parámetro las alturas de capa de mezcla, calculadas en base a la altura efectiva de cada una de las chimeneas en estudio.

Se calculó la altura efectiva de emisión para cada una de las chimeneas, para todas las velocidades de viento indicadas en la tabla 2. Para cada una de las velocidades de viento, se calcula también para cada chimenea en estudio un valor para la altura de la capa de mezcla.

Para la evaluación de la concentración máxima horaria, en caso de chimeneas múltiples cada celda de la tabla 2 tiene asociada una combinación de clase de estabilidad (A, B, C o D), velocidad de viento y tantas alturas de capa de mezcla como chimeneas en estudio. Para condiciones estables se consideró una altura de capa de mezcla de 10 000 m, para representar la mezcla ilimitada. En este caso el procedimiento resulta más sencillo y se limita al cálculo la concentración máxima horaria para cada una de las combinaciones clase de estabilidad (E o F) - velocidad de viento (ver Tabla 2) para todas las chimeneas en conjunto.

Fumigación

Fumigación es un término general para describir la mezcla rápida de una pluma elevada sobre el nivel del suelo. Pueden ocurrir dos tipos de fumigación:

- Fumigación por rompimiento de la inversión: Cuando ocurre una inversión localizada cerca del suelo previo a la salida del sol, con la pluma dispersándose en una capa estable. Después de la salida del sol la capa de mezclado se incrementa en altura. Cuando la capa de mezclado alcanza la pluma, esta se mezcla rápidamente produciendo a nivel de suelo concentraciones de corto tiempo relativamente altas.

- Fumigación de línea de costa: Flujos de aire estables costa adentro pueden producirse asociados a grandes cuerpos de agua. Este flujo estable se modifica mar adentro y al entrar la pluma en él puede producir episodios de altas concentraciones a nivel de suelo.

El programa Screen3 considera ambas opciones, cuando se tienen chimeneas mayores de 10 m y se usa la opción de dispersión en condiciones rurales.

Concentraciones máximas para promedios de corto y largo plazos

Dado que la salida de Screen3 está referida a periodos promedio de una hora, en aquellas situaciones para las cuales la normativa indica los límites máximos admisibles de corto plazo para períodos diferentes, se pueden obtener los valores de concentración máxima promedio de acuerdo a la expresión:

$C_{máx}(Dt) = C_{máx}(60)\ (D_t / 60) - 0.20$

Donde:
Dt: es el período promedio regulado (minutos)

Para periodos mayores que 1 hora es recomendado usar los factores de conversión dados en la tabla 3:

Tabla 3. Factores de conversión recomendados para periodos de largo plazo (EPA)

Periodo promedio	Factor multiplicativo
1 h	1,0
3 h	0,9 ± 0,1
8 h	0,7 ± 0,2
24 h	0,4 ± 0,2
Anual	0,08 ± 0,02

Fuente: Usepa.

A continuación se presentan dos casos de estudio representativos del uso de modelos de cálculo en la evaluación del impacto ambiental atmosférico en proyectos de inversión en la región de Moa.

Caso de estudio 1 referido al proyecto Ferroníquel
Moa Valores de concentración de fondo a consignar

Para evaluar la concentración de fondo nos basamos en la disponibilidad de información existente, en especial la concerniente a los datos obtenidos como parte de un estudio regional de la calidad del aire con actualizaciones periódicas desde 1997 a la fecha, y en especial el estudio de línea base ambiental realizado para el proyecto.

Las concentraciones instantáneas de SO_2 en la zona de estudio varían entre 1,9 y 168,5 µg/m^3 promedio de 24 horas, mostrando una amplia zona con valores inferiores a 20 µg/m^3 desde la ubicación de la futura planta de procesamiento del proyecto, hacia el W. Teniendo en cuenta el patrón de distribución se considera adecuado escoger el valor de 20 µg/m^3 como el más representativo de la concentración de fondo para el área en cuestión.

Características de las fuentes emisoras

La tabla 4 contiene todos los datos necesarios para caracterizar físicamente las 3 principales fuentes de emisión del proyecto y los regímenes de operación para cada chimenea. Cada fuente ha sido modelada para la situación de plena carga. Para las chimeneas del sistema de tratamiento de emisiones secundarias y el de los silos de almacenamiento, que incluye las plantas de trituración y de aglomeración, no fueron suministrados los datos de las emisiones.

Fig. 2. Vista de la planta actual, mostrando las chimeneas existentes.

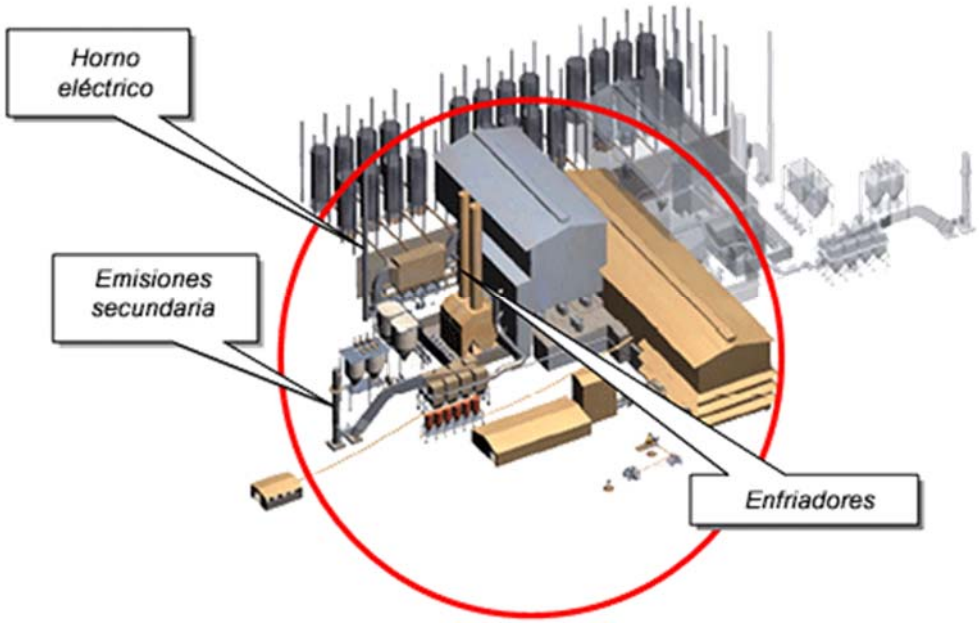


Fig. 3. Esquema de las nuevas instalaciones mostrando las chimeneas proyectadas.

Las fuentes emisoras aparecen ubicadas en el plano de la instalación (Fig. 4), en el que se muestra su alineación con respecto al eje central de la configuración de chimeneas tomado con centro en la chimenea de Hornos de reducción, y en la dirección de los vientos predominantes en la zona.

Tabla 4. Características de las fuentes emisoras

Parámetro	**Unid.**	**Nombre / Código**				
		Secaderos	**Hornos de reducción**	**Horno eléctrico**	**Emisiones secund.**	**Silos**
Altura de la chimenea	(m)	140	120	80	30	80
Diámetro interior	(m)	6	5	1,2	3	3
Velocidad de salida de los gases (EPA)	(m/s)	4,9	1,4	28,8		
Temp. del efluente	(K)	410,0	610,0	586,0		

Caudales másicos de SO2 fuel oil (bajo S) 40 % de metalización	(g/s)	5,8	3,5	6,6		
Caudales másicos de material particulado	(g/s)	2,0	0,3	0,3		

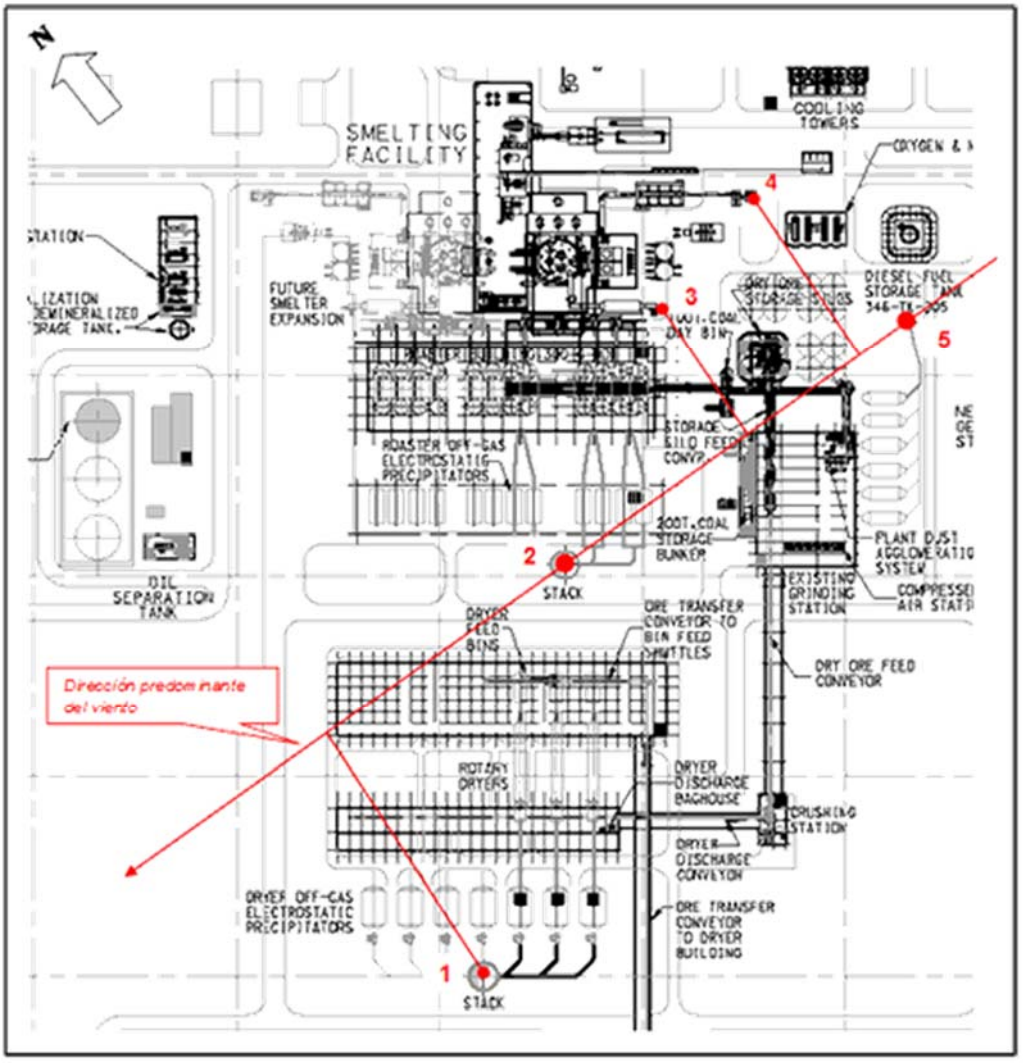


Fig. 4. Alineación con respecto al eje de la configuración de las chimeneas. Características topográficas de la zona.

Observando la topografía de la zona donde se encuentran ubicadas las chimeneas, se observa que corresponde a una zona montañosa con

cambios bruscos en el relieve. En la tabla 5 se muestran las alturas en cotas absolutas respecto al nivel del mar de las terrazas de las plantas y las áreas poblacionales circundantes.

Tabla 5. Cotas respecto al nivel del mar de las diferentes fuentes y emisores

Denominación del área	**Cotas (m)**
Secaderos	36
Hornos de reducción	34
Horno eléctrico y refinería	33
Receptores	Variable hasta 40

Las fuentes están ubicadas en una zona donde se puede considerar la condición de terreno plano; no obstante, será necesario escoger la opción de terreno simple (alturas de los receptores sobre la base de las chimeneas, pero sin sobrepasar su altura) para evaluar puntualmente la influencia sobre los receptores.

Análisis de los receptores

El análisis de los receptores se realizó para garantizar un adecuado rastreo de la zona de influencia. Se utilizó una rejilla de paso 100 x 100 m en las zonas de máxima concentración esperable, con el objetivo de asegurar la presencia de receptores en dichas áreas. Existen algunas circunstancias bajo las cuales, para el cálculo de las concentraciones máximas esperables, fue necesario considerar ubicaciones especiales de receptores, que denominamos críticos.

Teniendo en cuenta las relaciones de las dimensiones de las alturas planificadas de las chimeneas del horno de arco eléctrico, la de emisiones secundarias y la de silos de almacenamiento con las dimensiones de las estructuras circundantes que no cumplen la h(BDT), se hace necesario considerar en la modelación los efectos de remoción en estas estructuras de la planta. En la figura 5 se representa la ubicación relativa de las estructuras respecto a las chimeneas en cuestión.

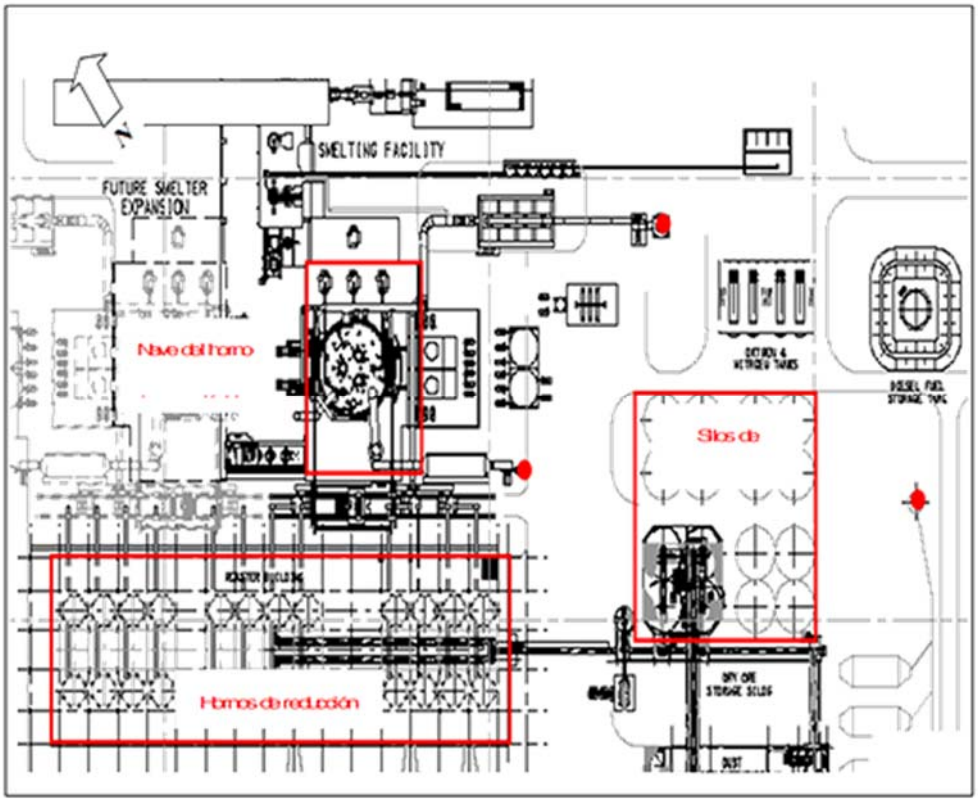


Fig. 5. Dimensiones de las estructuras circundantes que no cumplen la h(BDT).

El modelo Screen3 requiere los siguientes datos de entrada:

- Altura del edificio (m)
- Dimensión máxima horizontal de la estructura (m)
- Dimensión mínima horizontal de la estructura (m)

Del análisis de la tabla 6 y la figura 5 se infiere que la altura de las chimeneas del horno de arco eléctrico, la de emisiones secundarias y la de los silos de almacenamiento no cumple con los requerimientos de «buen diseño técnico», por lo que se presupone la influencia de las estructuras señaladas anteriormente en la dispersión de los contaminantes. Para la evaluación de este efecto se procederá a su consideración en la modelación.

Tabla 6. Dimensiones de los edificios cercanos a las chimeneas

Estructura	Altura (m)	Dimensión máxima horizontal (m)	Dimensión mínima horizontal (m)	h (BDT)
Hornos de reducción	60	140	40	150
Silos de almacenamiento	60	60	60	150
Nave del horno de arco eléctrico	45	50	40	120

Efectos aerodinámicos locales

Los efectos aerodinámicos locales pueden tener influencia adversa en la elevación de la pluma y su dispersión. Para condiciones de altas velocidades del viento y bajas velocidades de salida de los gases, la pluma puede ser parcialmente atrapada en una cavidad de baja presión que se desarrolla en el tope de la chimenea. Durante los cálculos se pudo observar que las velocidades de salida de los gases para las chimeneas de secaderos y hornos son bastantes pequeñas en comparación con los valores típicos (de 10 a 30 m/s), lo que puede dar lugar al efecto anteriormente mencionado; esta situación deberá mejorar al ampliarse la capacidad cuando entre en funcionamiento la segunda etapa.

Resultados obtenidos

Los resultados de la corrida del modelo regulatorio de la Usepa, Screen3, arrojaron como resultado que el contaminante más significativo es el SO2. Las figuras 6, 7, 8 y 9 representan los resultados de la modelación para las diferentes plantas del proyecto, asumiendo la meteorología de peor caso.

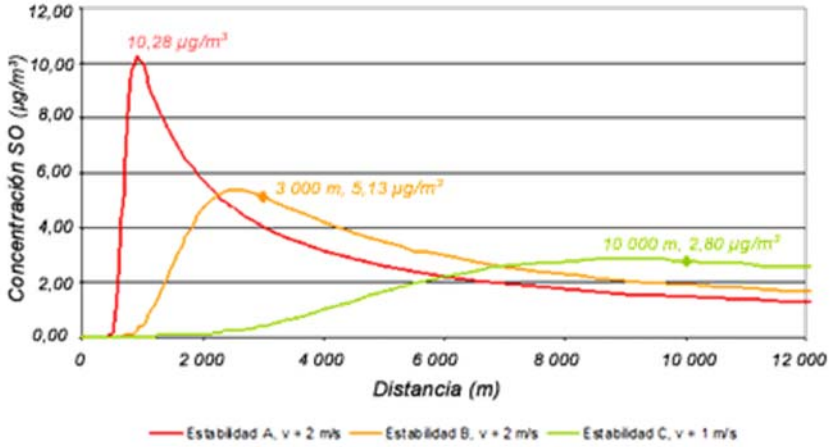


Fig. 6. Planta de secaderos.

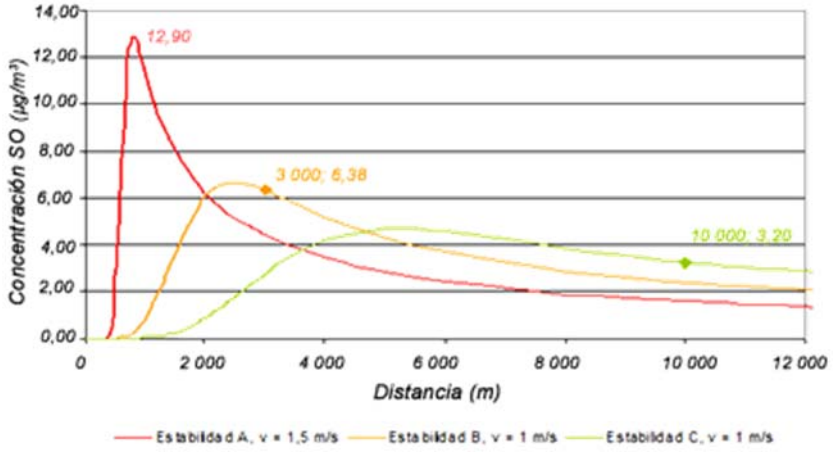


Fig. 7. Hornos de reducción.

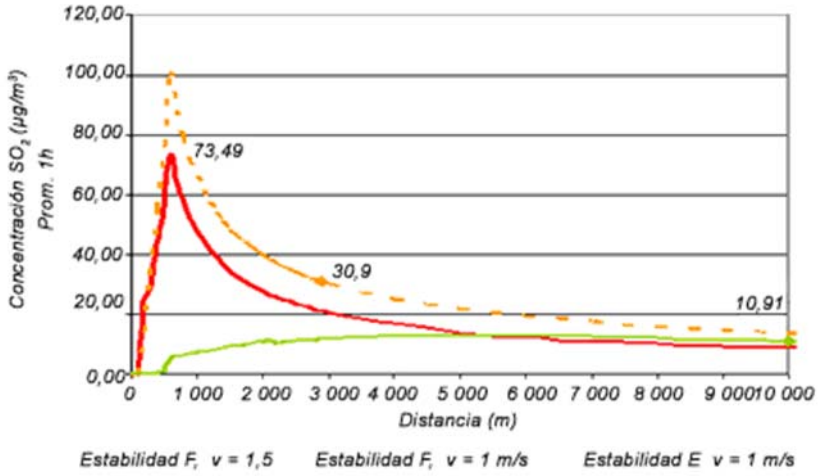


Fig. 8. Horno de arco eléctrico.

Suma del impacto debido a todas las fuentes

Del análisis de cada una de las fuentes individuales podemos concluir que la chimenea de secaderos es la que menor concentración a nivel de suelo produce, y la que peores condiciones de dispersión tiene es la del horno de eléctrico, produciendo las mayores concentraciones a nivel de suelo de todo el conjunto de fuentes.

Para las condiciones meteorológicas de peor caso, modeladas según los requerimientos regulatorios de la USEPA, se obtiene una concentración media máxima de 58,6 µg/m3 (promedio para 24 horas) al superponer las contribuciones individuales de las fuentes del proyecto al fondo estimado para su zona de influencia (Fig. 9). Este valor máximo excede a la CMA de 50 µg/m^3 prevista en la norma cubana [Comité…, 1987]. Esta concentración está calculada sobre la base de criterios conservadores, dado que las concentraciones máximas individuales de cada fuente no se alcanzan exactamente para las mismas condiciones meteorológicas; la zona de impacto se produce en un intervalo de distancias entre los 600 y 900 m a partir de la fuente en la dirección del viento.

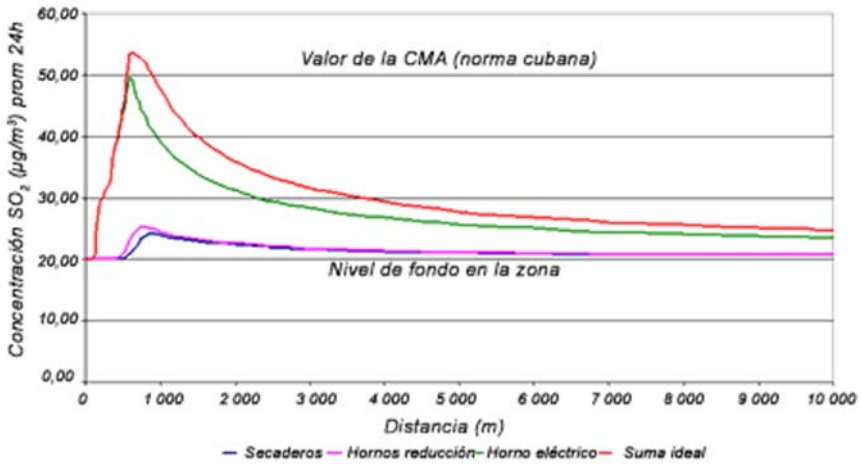


Fig. 9. Resultado de la suma de todas las fuentes

La figura 10 muestra las concentraciones máximas para la agrupación de chimeneas del Proyecto calculadas por la NC, asumiendo las condiciones meteorológicas más desfavorables; al superponer las mismas sobre el fondo estimado para esta zona vemos que la concentración alcanza el valor de 0,036 mg/m^3, inferior a los valores de la CMA previstos en la norma cubana de 0,05 mg/m^3 (promedio para 24) para el dióxido de azufre.

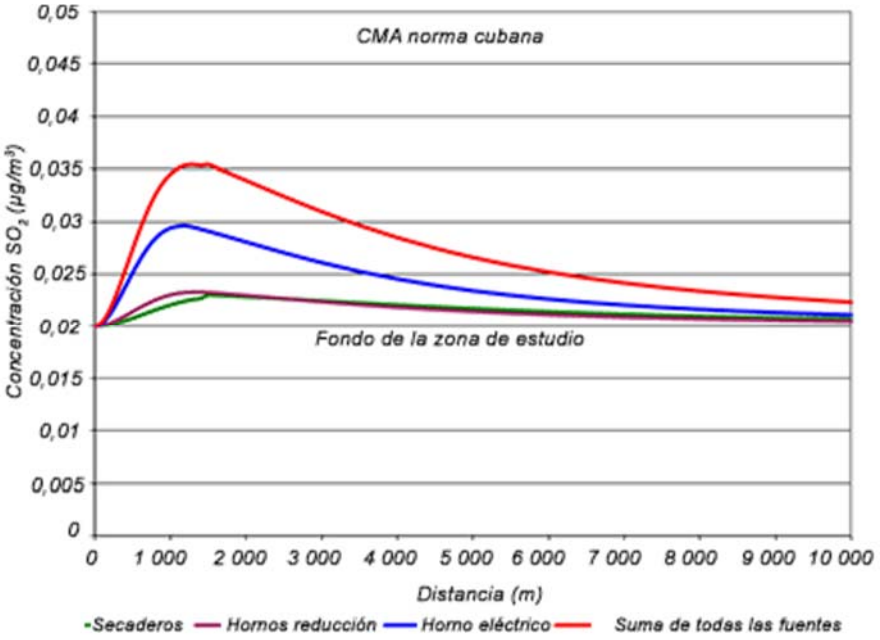


Fig. 10. Concentraciones máximas para la agrupación de chimeneas del proyecto.

Caso de estudio 2 referido al proyecto Ampliación de la Fábrica Ernesto Che Guevara (Punta Gorda)

La tabla 7 contiene todos los datos necesarios para caracterizar físicamente las 5 principales fuentes de emisión del proyecto y los regímenes de operación para cada chimenea. Cada fuente ha sido modelada para la situación de plena carga. Los datos referentes a los caudales másicos de emisión del SO_2 fueron tomados del balance de azufre del informe «Punta Gorda Nickel Plant 50 000 t/a Expansion – Validation Study. Aker-Kvaerner. Final Draft. Oct., 2003».

Tabla 7. Características de las fuentes emisoras

Parámetro	**Unidad**	**Nombre / Código**				
		Secaderos	**Hornos de reducción**	**Calcinación**	**Sinter**	**Termo-eléctrica**
Altura de la chimenea	(m)	140	120	140	85	160
Diámetro interior	(m)	6	5	4,2	3	4,2

Velocidad de salida de los gases	(m/s)	12,7	3,6	1,31	4,04	11,8
Temperatura del efluente	(K)	358	650	887	388	489
Caudales másicos de SO2 (crudo nacional, 6 % S)	(g/s)	17,6	6,6	400,2	25,8	933,6
Tasa de emisión de material particulado	(mg/Nm3)	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20

Fuente: A-Kvaerner/Ceproni

Resultados

Los resultados de la corrida del modelo regulatorio de la Usepa, Screen3, arrojaron que el contaminante más significativo es el SO_2.
Las figuras 11, 12, 13, 14 y 15 representan los resultados de la modelación para horno de arco eléctrico, asumiendo la meteorología de peor caso.

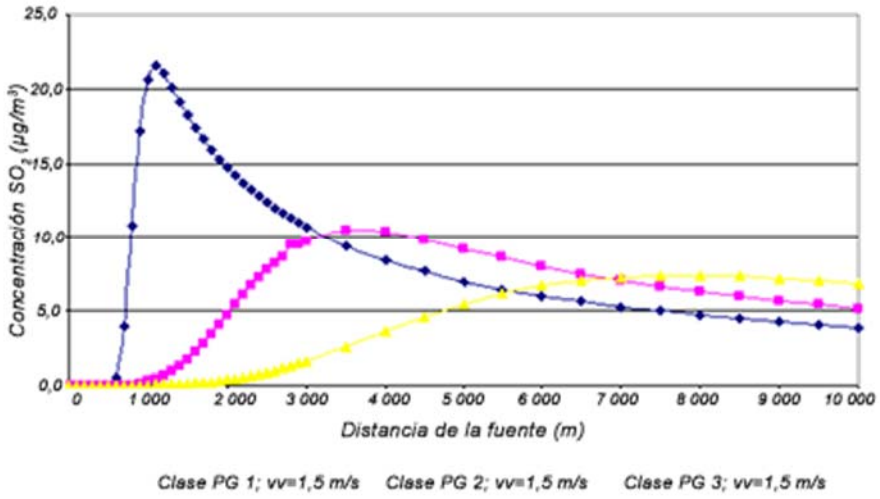


Fig. 11. Planta de secaderos.

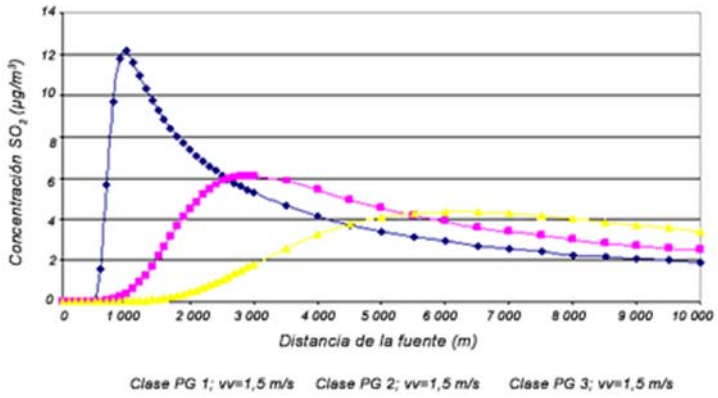


Fig. 12. Hornos de reducción.

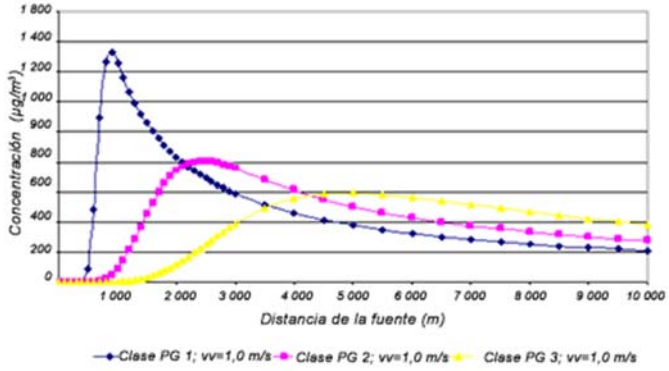


Fig. 13. Hornos de calcinación.

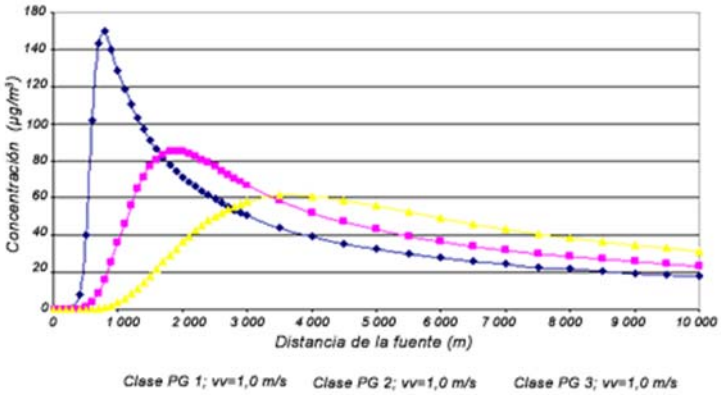


Fig. 14. Sínter.

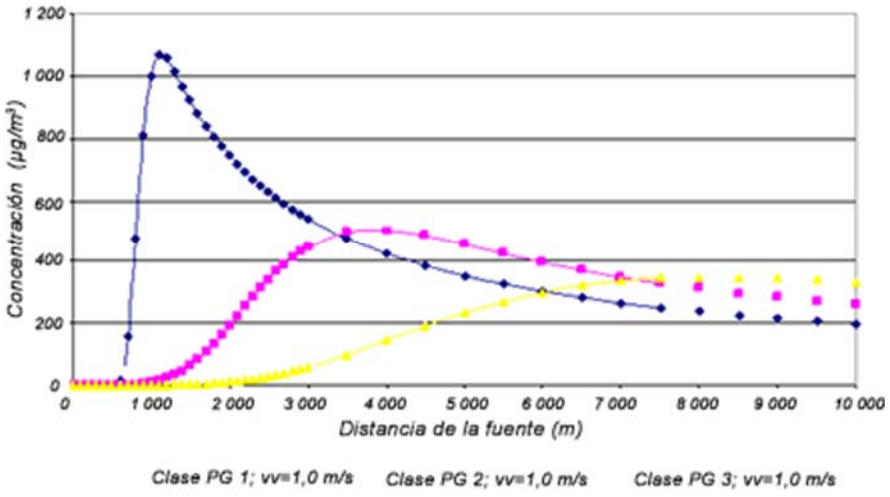


Fig. 15. Termoeléctrica.

La suma de las contribuciones individuales de las fuentes del proyecto (Fig. 16), calculadas para las condiciones meteorológicas de peor caso, según los requerimientos regulatorios de la Usepa, muestran una concentración media máxima horaria de 2620,5 µg/m3, equivalente a un valor promedio de 24 horas (regulatorio) de 1048,2 µg/m3; este valor máximo excede a la CMA de 50 µg/m3 prevista en la norma cubana [Comité…, 1987], y la concentración es superior a la CMA y los estándares de la OMS y el World Bank en toda la zona de estudio.

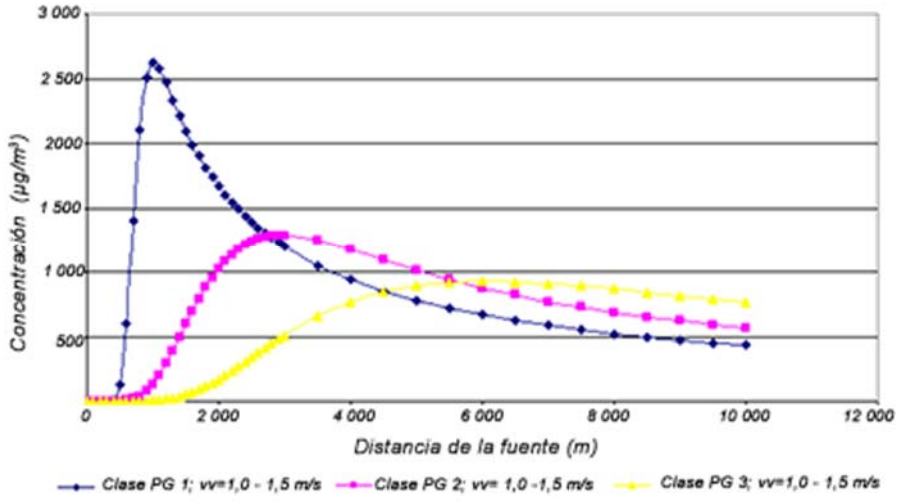


Fig. 16. Todas las fuentes.

La figura 17 muestra las concentraciones máximas para la agrupación de chimeneas del Proyecto calculadas por la NC, asumiendo las condiciones meteorológicas más desfavorables; al superponer las mismas sobre el

fondo estimado para esta zona vemos que la concentración alcanza el valor de 1,36 mg/m3, superior a los valores de la CMA previstos en la norma cubana de 0,5 mg/m3 (valor instantáneo) para el dióxido de azufre.

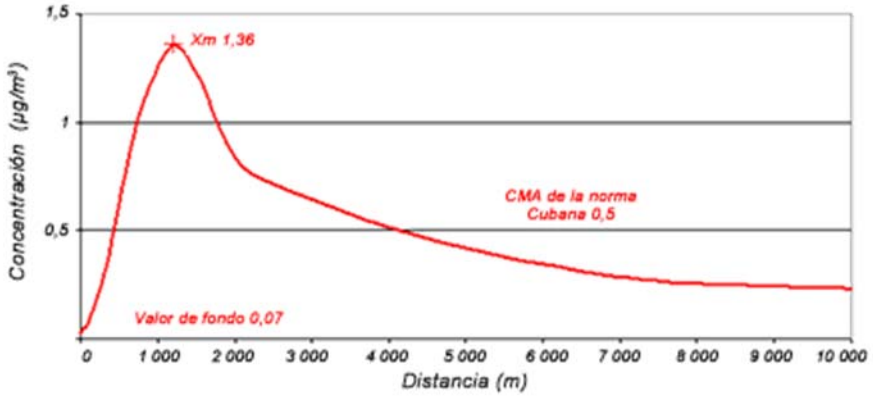


Fig. 17. Concentraciones máximas para la agrupación de chimeneas calculadas por la NC.

Conclusiones

1. En estos estudios de caso se ratifica que por la importancia que tienen los trabajos relacionados con la dispersión de contaminantes en la atmósfera aplicados a los Estudios de Impacto Ambiental, se deben continuar asimilando las características teóricas y prácticas de los modelos adecuados para su aplicación en base al objetivo requerido en cada estudio específico.
2. Se ratifica la utilidad metodológica de la Guía propuesta para realizar los estudios de dispersión local de contaminantes gaseosos y partículas.
3. Se recomienda continuar trabajando en las tareas de asimilación y preparación de los especialistas, con el objetivo de aplicar correctamente los modelos y procedimientos contenidos en la NC-1059, fundamentalmente para los estudios detallados a escala local.

Bibliografía

COMITÉ ESTATAL DE NORMALIZACIÓN (1987). NC-93-02.202: Requisitos higiénico sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria.
EMPRESA DE PROYECTOS PARA LA INDUSTRIA BÁSICA (CECE) (1989). Obra: 1114 UPI Planta de Níquel Las Camariocas, Objeto: 115.3 Estudio Chimenea de Sinterización, Proyecto: 500.0, Ingeniería Mecánica. «Medidas sobre la Protección del Medio Ambiente correspondiente a un

área de 12 x 8 » 100 km2, en la cual se encuentran ubicadas las fábricas Las Camariocas" y Punta Gorda, así como los poblados de Moa y Punta Gorda, respectivamente». Elaborado por el Instituto Estatal de la URSS para la Proyección e Investigación Científica Guiproniquel.
MONTES DE OCA, L.; R. RODRÍGUEZ, A. PIERRA, O. CUESTA Y V. TRICIO (2008). *Planes de acción locales para mejorar la calidad del aire y estudios de impacto ambiental apoyados en modelos de dispersión atmosférica*. Conama 9. Madrid. España.
Oficina Nacional de Normalización (2014). NC-1059: Calidad de aire. Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosférico desde fuentes fijas.
PIERRA, A.; I. CASALS Y L. MONTES DE OCA (2004). «Modelación de emisiones de partículas debidas al transporte de mineral en minas a cielo abierto». Disponible en: www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar17/HTML/articulo05.htm.
TURTÓS, L.; R. MENESES, N. DÍAZ RIVERO, A. ROQUE, L. ÁLVAREZ, R. SOLTURA, O. CUESTA, O. COLLAZO, A. ÁLVAREZ, O. PIRE, S. MARTÍN, S. MOLINA, E. PADRÓN Y L. RABELO (2004). *Propuesta de Guía para realizar los estudios de dispersión local de contaminantes gaseosos y partículas*. Informe Técnico, Cubaenergía, La Habana, Cuba.
U.S. Environmental Protection Agency (1995). Screen3 Model User's Guide. EPA document EPA-454/B-95- 004. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
U.S. Environmental Protection Agency (1995). Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised. EPA-450/R-92-019. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
World Bank Group (1998). Pollution Prevention and Abatement Handbook.

Eco Solar es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas

DIRECTOR GENERAL:
Dr. Luis Bérriz Pérez.
DIRECTOR:
M.Sc. Manuel Álvarez González.
EDITOR JEFE:
M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.
EDITORA:
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.
CORRECCIÓN:
Ing. Jorge Santamarina Guerra.

CONSEJO EDITORIAL:
Dr. Luis Bérriz Pérez.
M.Sc. Manuel Álvarez González.
Dr. Conrado Moreno Figueredo.
M.Sc. Manuel Fernández Rondón.
M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.
M.Sc. Daniel López Aldama

DISEÑO ELECTRÓNICO:
D.I. Antonio Romillo Polaino.
WEB MASTER:
M.Sc. Fernando González Prieto.

CONSEJO ASESOR:
Dra. Elena Vigil Santos.
Dr. Conrado Moreno Figueredo.
Dr. Sergio Corp Linares.
Dr. José Guardado Chacón.
Dr. Deny Oliva Merecio.
Dra. Dania González Couret.
Dr. Juan José Paretas.
Lic. Bruno Henríquez Pérez.
M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.
M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.
Lic. Ricardo Bérriz Valle.
Dr. David Pérez Martín.
Dr. César Cisnero Ramírez

SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO AMBIENTAL

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.
Teléfono: (537) 205-9949.
Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.
e-mail: editora@cubasolar.cu
http://www.cubasolar.cu