



Gestión de la contaminación del aire en un municipio industrial. Caso de estudio: Mariel

Management of air pollution in an industrial municipality. Case study: Mariel

Carlos Sosa-Pérez✉

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

En la actualidad existe gran preocupación por el estado de la calidad del aire a nivel mundial, lo que ha conllevado a realizar múltiples estudios para conocer los mecanismos que intervienen en tan complejo proceso. Las ciudades industrializadas ejercen una influencia negativa sobre la población que en ellos habita y sobre los ecosistemas adyacentes. La relación existente entre las fuentes emisoras de contaminantes y los impactos que éstos provocan a los seres humanos y al medio ambiente, constituyó la base principal para llevar a cabo la presente investigación. Este trabajo tiene como objetivo fundamental elaborar un plan de acciones que permita atenuar los efectos de la contaminación del aire en el municipio industrial, Mariel. Se identificaron tres fuentes industriales principales y se determinaron sus volúmenes de emisiones, se realizó un análisis de la distribución espacial de contaminantes del aire, desatacándose con las mayores concentraciones los contaminantes SO_2 , NO_x y PM_{10} . Se correlacionaron las concentraciones medias mensuales de los contaminantes PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ con la cantidad de casos atendidos mensualmente por Infecciones Respiratorias Agudas y Asma Bronquial, y se realiza una estimación inicial de los costos asociados al asma bronquial en el municipio. Se pretende, con estos resultados, proveer a las autoridades empresariales y sanitarias municipales de una herramienta para gestionar la contaminación del aire en el municipio en cuestión.

Palabras clave: Contaminación del aire, municipio Mariel.

Abstract

At present there is great concern about the state of air quality worldwide, which has led to multiple studies to learn the mechanisms involved in such a complex process. The industrialized cities have a negative influence on the population that inhabits them and on the adjacent ecosystems. The relationship between pollutant sources and their impacts on humans and the environment was the main basis for conducting this research. This work has as its fundamental objective to develop a plan of actions to mitigate the effects of air pollution in the industrial municipality, Mariel. Three main industrial sources were identified and their emission volumes were determined. An analysis of the spatial distribution of air pollutants was carried out, with the SO_2 , NO_x and PM_{10}

✉ Autor para correspondencia: Carlos Sosa-Pérez. E-mail: carlos.sosa@insmet.cu

Recibido: 4/10/2017

Aceptado: 6/12/2017

contaminants having the highest concentrations. The mean monthly concentrations of pollutants PM₁₀ and PM_{2.5} were correlated with the number of cases treated monthly for Acute Respiratory Infections and Bronchial Asthma, and an initial estimate of the costs associated with bronchial asthma in the municipality was performed. It is intended, with these results, to provide municipal political, business and health authorities with a tool to manage air pollution in the municipality in question.

Keywords: Air pollution, Mariel municipality.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los problemas medio ambientales más serios a los que la sociedad tiene que hacer frente. La era industrial y la actual demanda de movilidad están suponiendo una emisión extraordinaria de sustancias contaminantes a la atmósfera. Esta situación provoca que, en determinados lugares del planeta (grandes ciudades o zonas próximas a elevada actividad industrial), se puedan registrar niveles de calidad del aire inadecuados con efectos negativos en la salud humana (enfermedades respiratorias, irritación de órganos vitales, entre otros) y los ecosistemas.

La relación entre las enfermedades respiratorias y muertes prematuras es un hecho comprobado. Un estudio publicado en la revista Nature señala los 15 países con más muertes prematuras por contaminación del aire en el mundo. [Lelieveld et al., 2015](#), apuntan a China como el primer país del planeta con más muertes prematuras al año por dicho problema ambiental.

Según un artículo del periódico El País, la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) “indica que China podría evitar 923 000 muertes prematuras por enfermedades cardiovasculares en los próximos 15 años si sus ciudades tuvieran un aire aceptablemente limpio”. Esa mayor mortalidad prematura y una morbilidad exacerbada, representaron en la década pasada costos ambientales en algunos países del mundo cerca del 4.4% del PIB, cerca del 22% del costo de la salud se debió al tratamiento de enfermedades respiratorias ([Porudomisky, 2012](#)).

Según [Ballester et al., 1999](#); [Gamble y Lewis, 1996](#); [Ostro, 1996](#); [Cuesta, 2000](#); [Wallo,](#)

[2005](#), entre otros, se ha demostrado la existencia de asociación entre las altas concentraciones de partículas y una disminución del funcionalismo pulmonar en los seres humanos. Muchos estudios corroboran lo anterior, y se pueden destacar los de, [Alessandrini et al., 2006](#) y [Bella et al., 2006](#) en Estados Unidos, [Latzin et al., 2009](#), [Downs et al., 2007](#), [Schindler et al., 2009](#) y [Raaschou-Nielsen et al., 2013](#) en Europa, [Ruiz, 2014](#) en Chile, entre otros.

Existen instrumentos basados en la gestión ambiental que también se centran en la reducción de los niveles de contaminantes gaseosos. Los planes de acción de calidad del aire constituyen una herramienta fundamental para la disminución de los impactos ocasionados por la contaminación del aire en ciudades de todo el mundo ([Korc y Maisonet, 2002](#); [López, 2004](#); [Environmental Protection Agency \(EPA\), 2009](#) y [Capell, 2010](#)). Países como España, Suiza y Alemania en Europa, junto con Brasil, Chile y México en América Latina, tienen elaborados los planes de acción de calidad del aire en las principales ciudades, y poseen, además de potentes emplazamientos industriales, un considerable tráfico vehicular. Estos planes de calidad del aire tienen como función primordial, reducir las elevadas concentraciones de contaminantes del aire, así como trazar políticas y medidas encaminadas a disminuir hasta niveles permisibles las emisiones de gases contaminantes.

Un Plan de Acción de Calidad del Aire debe tener como propósitos principales proponer, desarrollar y llevar a cabo medidas efectivas para reducir los niveles de contaminación del aire, de forma que sean lo suficientemente detalladas y claras para los grupos de interés,

dígase los responsables de industrias y administraciones (UMAUI, 2009).

En Cuba, la contaminación del aire tiene sus causas en la utilización por las industrias de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y otras fuentes como el transporte automotor (Díaz *et al.*, 2000). Desde el año 1970 se establecieron en la isla algunas actividades de vigilancia de la calidad del aire. Uno de los primeros antecedentes de planes de calidad del aire en el país lo constituyó en 1996, el Programa Nacional de Prevención y Control de la Calidad del Aire en asentamientos humanos, con un nuevo enfoque integrador, ajustado a las características territoriales y locales de cada provincia, lo cual contribuyó a la toma de decisiones y ejecución de acciones con vistas de mejorar la calidad del aire en las ciudades de mayor importancia. En la bibliografía consultada se encontraron disímiles trabajos relacionados con los impactos de la contaminación del aire sobre la salud humana, pero no se encontraron metodologías para elaborar planes de acción de calidad del aire en Cuba. Solamente el estudio de Díaz Véliz y Díaz Machado, 1998 titulado, Programa de mejoramiento de la calidad del aire en Cuba, donde se expresan aspectos generales del sistema de vigilancia higiénico-epidemiológica por la contaminación del aire en la Habana.

Debido a la carencia de políticas y medidas a aplicar en materia de contaminación del aire, proponer un procedimiento que dicte los pasos a seguir para controlar las emisiones a la atmósfera en un municipio industrial, constituye un factor medular en la presente investigación. La idea es presentar un modelo de Plan de Acción de calidad del aire que pueda ser implementado en otros municipios o zonas industrializadas. Dicho Plan de Acción está concebido para fomentar y lograr la adopción/formulación y cumplimiento de políticas y acciones locales que permitan mejorar la calidad del aire, proteger la salud humana, el medio ambiente, mejorar la calidad de vida, entre otros. Se escogió el municipio de

Mariel porque posee una intensa actividad industrial y portuaria, donde se emiten toneladas de contaminantes como SO₂, NO_x, CO, PM₁₀ y PM_{2.5} afectando la calidad del aire del lugar y por consecuencia a sus habitantes.

La presente investigación tiene como **objeto de estudio**: La contaminación del aire en un municipio industrializado. Caso de estudio Mariel.

Como **objetivo general**: Elaborar un plan de acciones de mejoras ambientales y sociales basado en los principales impactos que provoca la contaminación del aire en un municipio industrial, tipificado al municipio de Mariel. Contribuirán a llevar a cabo el objetivo general los siguientes **objetivos específicos**:

1. Modelar la dispersión de los gases contaminantes emitidos por las principales fuentes industriales del municipio.
2. Analizar la distribución espacial de la calidad del aire en el municipio.
3. Determinar los impactos en la salud y los costos sociales provocados por la contaminación del aire en el municipio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se centra solamente en las fuentes fijas industriales, desde donde fue posible obtener los datos de emisiones a través de un inventario de fuentes. El área de interés de la investigación la constituyen ambas riberas de la bahía de Mariel, así como sus dos principales núcleos poblacionales, el poblado de Mariel y el de La Boca. En dicha zona se destacan tres fuentes fijas principales, la Fábrica de Cements Curazao, la Termoeléctrica Máximo Gómez y la Batería de Grupos Electrógenos asociados a dicha termoeléctrica (ver [figura 1](#)). La primera fuente emite en su mayoría material particulado menor de 10 y 2.5 micras, además de otros gases (SO₂, NO_x, CO) producto de los combustibles que se consumen en el proceso de secado en los hornos, las dos industrias siguientes emiten en su mayoría gases como SO₂, NO_x, CO. Los datos de emisiones de contaminantes se obtuvieron a partir del

inventario de emisiones de las principales fuentes fijas a través del método de factores de emisión, en el que se multiplica el consumo de combustibles por un factor de emisión por tipo de contaminante, expresado en masa del contaminante a emitir por masa del combustible consumido ($\text{g contaminante} \times / \text{g combustible consumido}$). Los resultados de las emisiones fueron representados espacialmente a través de la modelación.

Se tuvo acceso a datos de mediciones in situ realizados por entidades contratadas por la termoeléctrica y la fábrica de cemento, esencialmente a la salida de las chimeneas de procesos. Esos datos se utilizaron solamente como referencia, para identificar la existencia o no de diferencias significativas entre las mediciones y los datos inventariados, porque fueron campañas cortas, con tiempo insuficiente para establecer una correlación para todo el año.

Se contó con datos de material particulado medidos de manera continua por una semana en el Poder Popular de Mariel (a tres kilómetros al suroeste de las fuentes), en una campaña

realizada por investigadores del CECONT en mayo de 2015, solo fueron utilizados como referencia, ya que la campaña fue corta. Para ello se utilizó un equipo que mide el material particulado, marca Thermo Scientific MIE ADR- 1500, y obtiene valores de concentración minuto a minuto en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se realizó un estudio de las variables meteorológicas de la zona de interés, destacándose principalmente el viento por su relación directa con el transporte de los contaminantes. Los vientos que prevalecen en el municipio son de dirección este, situándose las direcciones predominantes en el primer y segundo cuadrante de 0° a 180° en la rosa de los vientos, con una frecuencia de 18% y una velocidad media anual de 9.8km/h. Para el análisis del viento se utilizó el programa informático Lakes Environmental WRPLOT View versión 5.9.0.

Para la modelación de los contaminantes se utilizó el sistema de modelos AERMOD¹ versión 11103 que incluye dos pre-procesadores de datos de entrada, AERMET, pre-procesador de datos meteorológicos y

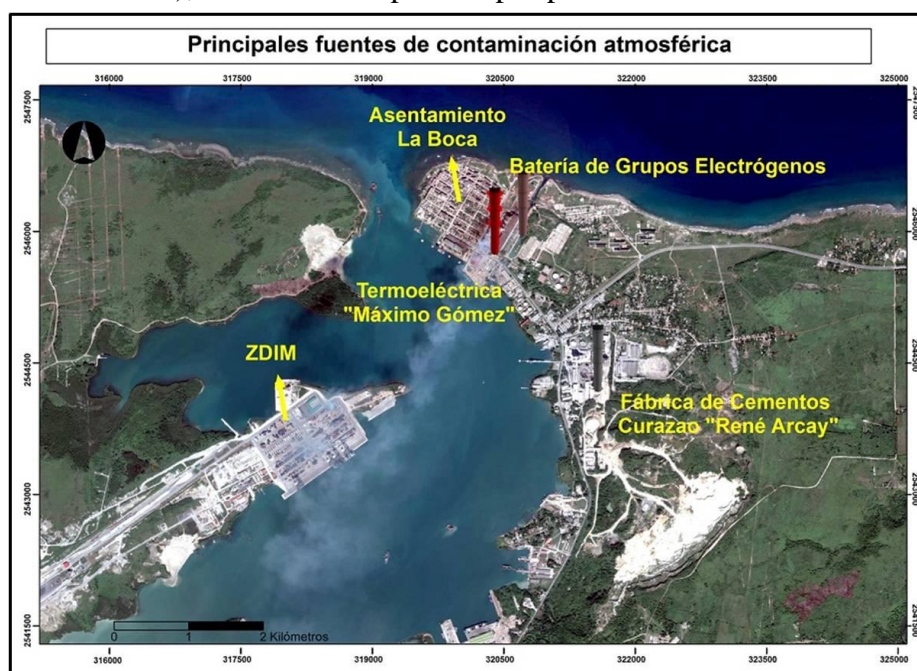


Figura 1. Localización de las principales fuentes fijas en las riberas de la bahía de Mariel

¹ AERMOD: AMS/EPA Regulatory Model.

AERMAP, pre-procesador de datos del terreno. Es un sistema de modelos que puede simular procesos atmosféricos físicos para proveer estimaciones refinadas de concentraciones sobre un amplio rango de condiciones meteorológicas y escenarios de modelación ([Cimorelli et al., 2005 en González, 2015](#)). Es un modelo de pluma estacionario aplicable tanto a áreas rurales como urbanas, a terrenos planos y complejos, a múltiples tipos de fuentes (puntuales, areales y volumétricas) y emisiones a nivel de superficie o elevadas ([EPA, 2004](#)).

Estos modelos admiten varios tipos de receptores² o rejillas receptoras (cartesianas y polares). Para esta investigación se definió un dominio de nueve kilómetros en el eje x (norte a sur en la Imagen de satélite) y 12km en el eje y (este a oeste), basado en la dirección predominante de los vientos, dando como resultado un total de 4 800 receptores o puntos de concentración.

Para evaluar el nivel de contaminación del aire se utilizó el Índice de Calidad del Aire (ICA), publicado en la [NC 111: 2004](#), el cual se calcula mediante el cociente de la concentración real determinada para cada contaminante, tomando como denominador la concentración máxima admisible (Cma) correspondientes al período de tiempo evaluado. Posee seis clasificaciones que van desde una mejor calidad del aire hasta un aire completamente contaminado. De 0-79 calidad del aire Buena, de 80-99 calidad del aire Aceptable, de 100-199 calidad del aire Deficiente, de 200-299 calidad del aire Mala, de 300-499 calidad del aire Pésima, ≥ 500 calidad del aire Crítica.

La evaluación de calidad del aire realizada está directamente relacionada con las normativas de concentraciones máximas de emisiones en Cuba, la [NC 1020:2014](#). Con los datos determinados en el inventario de emisiones, las características técnicas de las fuentes de emisión y las condiciones

meteorológicas, se realizó la modelación y representación cartográfica de las concentraciones para cada uno de los contaminantes analizados SO₂, NO_x, PM₁₀ y PM_{2.5}, y el Índice de Calidad del Aire para el año 2014.

Para evidenciar la existencia de impactos de la contaminación del aire sobre los pobladores de Mariel se realizaron determinadas pruebas estadísticas. Se elaboró una correlación lineal entre los casos atendidos mensualmente de Asma Bronquial y otras Infecciones Respiratorias Agudas con las concentraciones mensuales de PM₁₀ y PM_{2.5} para el período 2010-2014. Se elaboraron diagramas de dispersión y se obtuvieron las ecuaciones de regresión. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software STATISTICA 7.

En el análisis estadístico se trabajó con datos de pacientes atendidos por otras IRA y AB. Se calculó la tasa de prevalencia teniendo en cuenta la población y la cantidad de pacientes atendidos por otras IRA y AB por cada mil habitantes. Se hizo un análisis por meses para el período 2010-2014 proporcionados por la dirección de estadísticas del policlínico municipal Orlando Santana, y los datos de concentraciones mensuales de PM₁₀ y PM_{2.5} para el mismo espacio de tiempo.

Los principales costos determinados fueron los costos de salud asociados al asma bronquial, al identificarse ésta como la principal afectación provocada por la contaminación del aire según lo reportado en la literatura. En el cálculo de los costos de tratamiento del asma se procedió a la estimación de los costos directos e indirectos. Dentro de los costos directos se consideran los costos propios del sistema de salud, tales como los referidos a atención primaria, ingresos hospitalarios y consumo de fármacos ([Marcelo, 2010](#)).

El cálculo en los costos de salud por tratamiento del AB en el municipio se realizó

² Puntos de la rejilla que obtendrán un valor de concentración una vez realizada la modelación.

según la [tabla 1](#), abordándose los costos de salud directos y los indirectos.

Para la elaboración del plan de acción de calidad del aire en Mariel, se siguió la metodología de [Korc y Maisonet, 2002](#), siguiendo los aspectos fundamentales para su elaboración:

- Definición de los límites geográficos de la zona de interés
- Caracterización de las emisiones;
- Evaluación de la calidad del aire;
- Estimación del impacto de la contaminación del aire en la sociedad y la estimación de los costos de salud;
- Programación de las medidas de acción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los principales resultados alcanzados, analizando por separado cada aspecto para el diseño de un plan de acción de calidad del aire.

Inventario de emisiones atmosféricas en el municipio de Mariel

En las [tablas 2 y 3](#) se exponen los resultados de las emisiones estimadas de los contaminantes SO₂, NO_x, CO, PM₁₀ y PM_{2.5} para las tres fuentes fijas industriales.

Las emisiones generadas por las tres fuentes son consideradas de importancia, si se tiene en cuenta que emiten más de 5000t anuales en varios de los contaminantes analizados. Era de esperar que la termoeléctrica tuviera las

mayores emisiones en todos los contaminantes, para el caso del crudo (con alto contenido de azufre), se destacan las emisiones de SO₂. Para el caso de la fábrica de cemento las mayores emisiones se evidencian en el material particulado, registrando el PM₁₀ los mayores valores, asociado, fundamentalmente a la producción de clinker de cemento.

Evaluación de la calidad del aire

La evaluación de la calidad del aire permitió conocer, qué zonas pobladas se encuentran con calidad del aire más críticas, para determinar hacia qué lugares habría que destinar recursos financieros e inversiones tecnológicas, insumos hospitalarios y programas de salud que refuercen el cuidado de pacientes aquejados por enfermedades respiratorias.

Las mayores concentraciones de SO₂ ocurren en los alrededores de la termoeléctrica, de la batería de grupos electrógenos y en la porción norte cerca del canal de entrada a la bahía. La concentración máxima admisible (Cma) promedio anual para este contaminante según la NC: 1020 es de 40µ/m³ lo que quiere decir que, en toda la zona cubierta por los colores desde verde hasta rojo se supera la norma. En el extremo noroeste del puerto se supera en dos veces la norma, y en las inmediaciones de la termoeléctrica y en el asentamiento La Boca se supera la concentración media anual hasta en cinco veces. Es necesario aclarar que en la zona

Tabla 1. Elementos tomados en cuenta para el cálculo de los costos de salud

Costos	
Costos directos	Costos indirectos
Atención primaria ((costos en consulta de policlínicos + costos atendidos en médicos de familia)	Pérdida salarial por ausencias laborales
Ingreso hospitalario	Gastos de bolsillo incurridos por las familias de los asmáticos
Costos de medicamentos suministrados por los servicios de salud	Aportes dejados de realizar al PIB del país, a consecuencia de los fallecimientos por asma

Tabla 2. Emisiones por tipo de fuente y contaminantes para el año 2014 en ton/año

Fuentes	SO ₂		NO _x		CO		PM ₁₀		PM _{2.5}	
	Crudo	Fuel Oil	Crudo	Fuel Oil	Crudo	Fuel Oil	Crudo	Fuel Oil	Crudo	Fuel Oil
Termoeléctrica Máximo Gómez	69094.77	3447.77	3015.12	403.45	12661.85	69.19	1526.22	267.77	1132.23	200.38
Batería de Grupos Electrónicos	-	5016.87	-	5718.33	-	526.90	-	481.65	-	360.43
Fábrica de Cementos Curazao	565.67	-	346.33	-	12.70	-	10.39	-	9.24	-
Total	78125.10		9483.23		13270.63		2286.03		1702.27	

cubierta por el color rojo intenso se supera la norma de $40\mu/m^3$ la mitad de los días del año (Figura 2).

Para el caso de los NO_x los patrones de dispersión se asemejan a los del SO₂, teniendo como principales fuentes de emisión a la termoeléctrica y la batería de grupos electrógenos. Al igual que para el SO₂, la Cma promedio anual para este contaminante en la NC: 1020 es de $40\mu/m^3$. El poblado de La Boca y los alrededores de las fuentes emisoras, así como el canal de entrada de la bahía sufren concentraciones promedio anuales entre una y cuatro veces superiores a las dictadas por la norma cubana. Para el caso de los NO_x los días del año en que se supera la norma de $40\mu/m^3$ ronda el 70%, eso quiere decir que cerca de 255 días del año se supera la norma para este contaminante (Figura 3).

Para el PM₁₀ los mayores valores se registran cercanos a la fábrica de cemento. Si se tiene en cuenta que la Cma en la NC: 1020 para este contaminante es de $30\mu/m^3$ se encuentra afectada toda aquella área bajo los colores desde el verde hasta el rojo. Superándose, en las inmediaciones de la fábrica de cemento, hasta en tres veces la norma. No se encuentran asentamientos compactos, en las cercanías de dicha fuente, por lo que no se afectan tantas personas como las que se afectarían para el caso del SO₂ y los NO_x en el poblado de La Boca. No obstante, con frecuencia la dirección de los vientos arrastra dichas partículas hasta el asentamiento de Mariel ocasionando molestias y afectaciones respiratorias en gran parte de la población (Figura 4).

Para el caso del PM_{2.5} igualmente los mayores valores de Cma se concentran en las cercanías de la fábrica de cemento, los valores normativos para este contaminante son los más pequeños $15\mu/m^3$, ya que es considerado el más peligroso, pues se aloja con facilidad en el aparato respiratorio del cuerpo humano. Se supera la norma hasta tres veces en las áreas cubiertas por el color rojo intenso en las cercanías de la fábrica de cemento (Figura 5).

Tabla 3. Emisiones de PM derivadas de la producción de clinker, año 2014 en ton/año

Fuente	Emisiones por Contaminantes en T/año	
	PM ₁₀	PM _{2.5}
Fábrica de Cementos Curazao	5899.25	2241.72

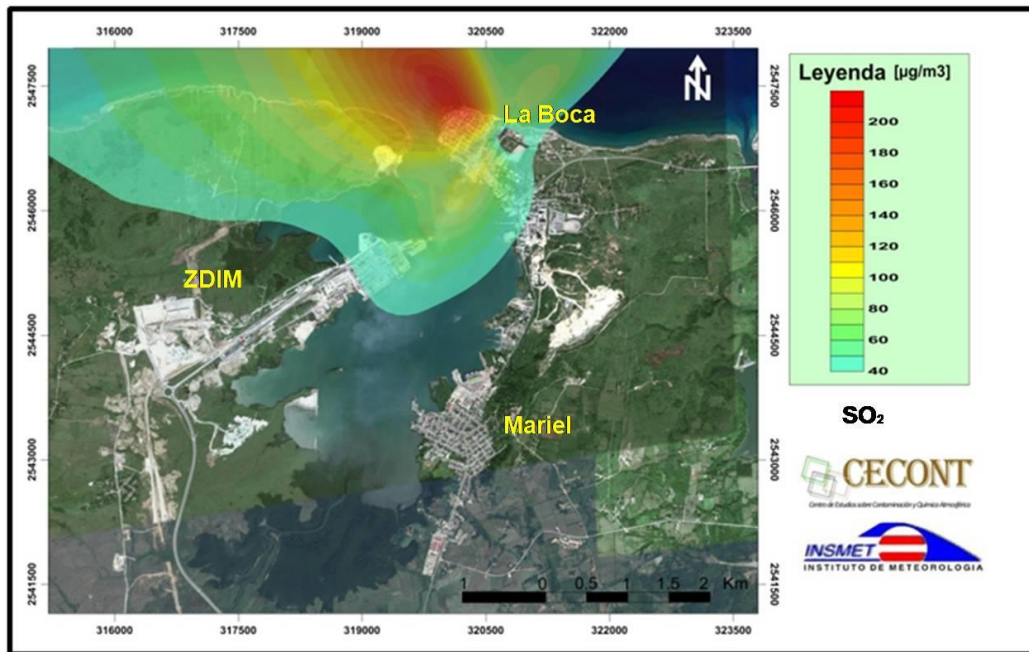


Figura 2. Concentraciones promedio anuales de SO₂ en el municipio de Mariel, año 2014

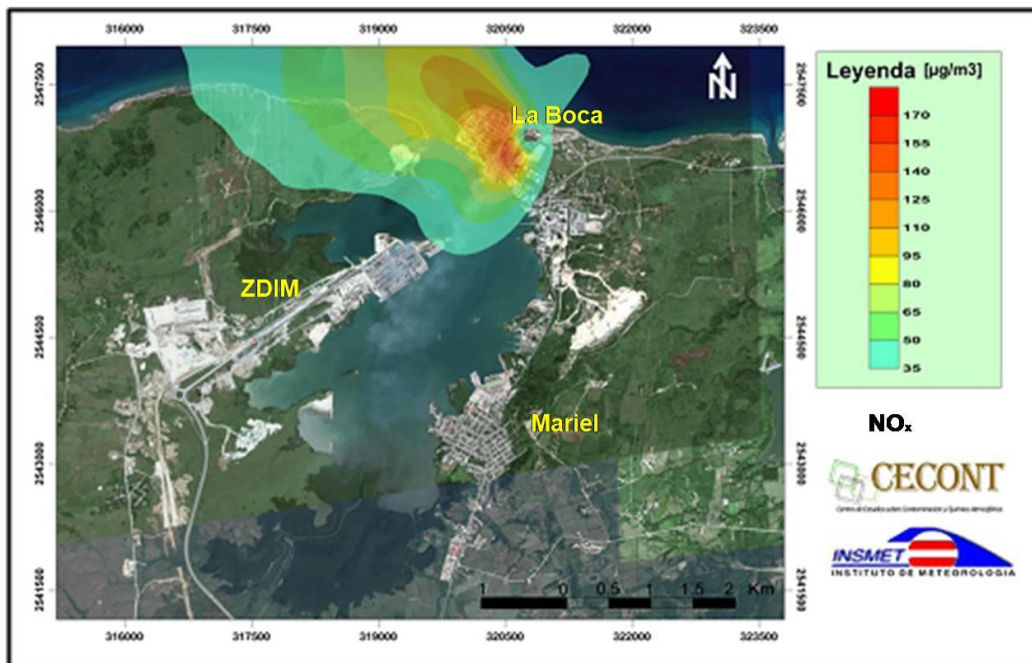


Figura 3. Concentraciones promedio anuales de NO_x en el municipio de Mariel, año 2014

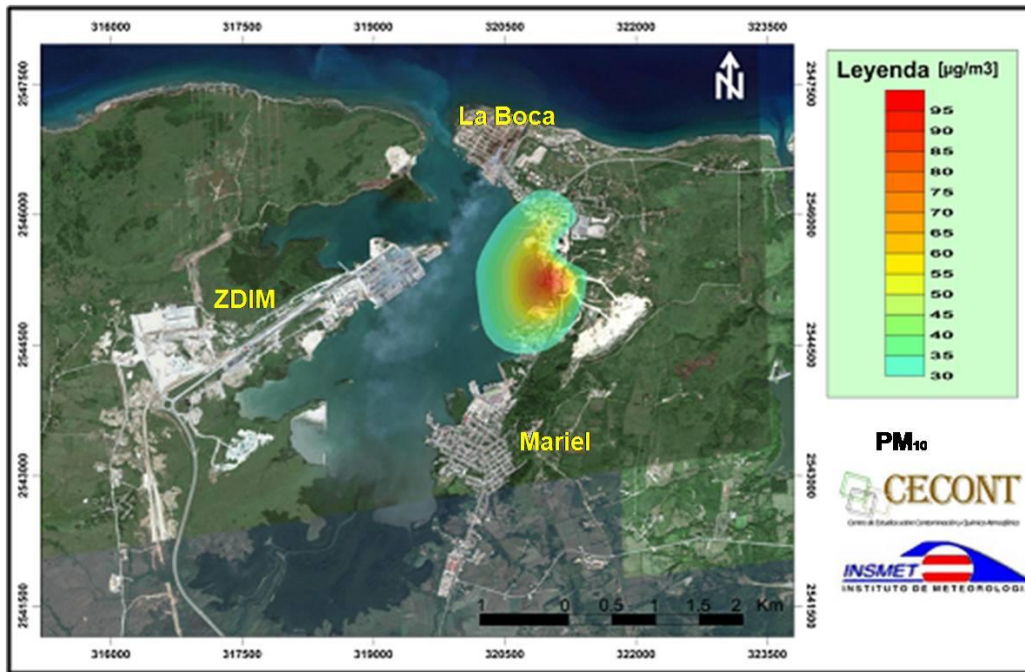


Figura 4. Concentraciones promedio anuales de PM_{10} en el municipio de Mariel, año 2014

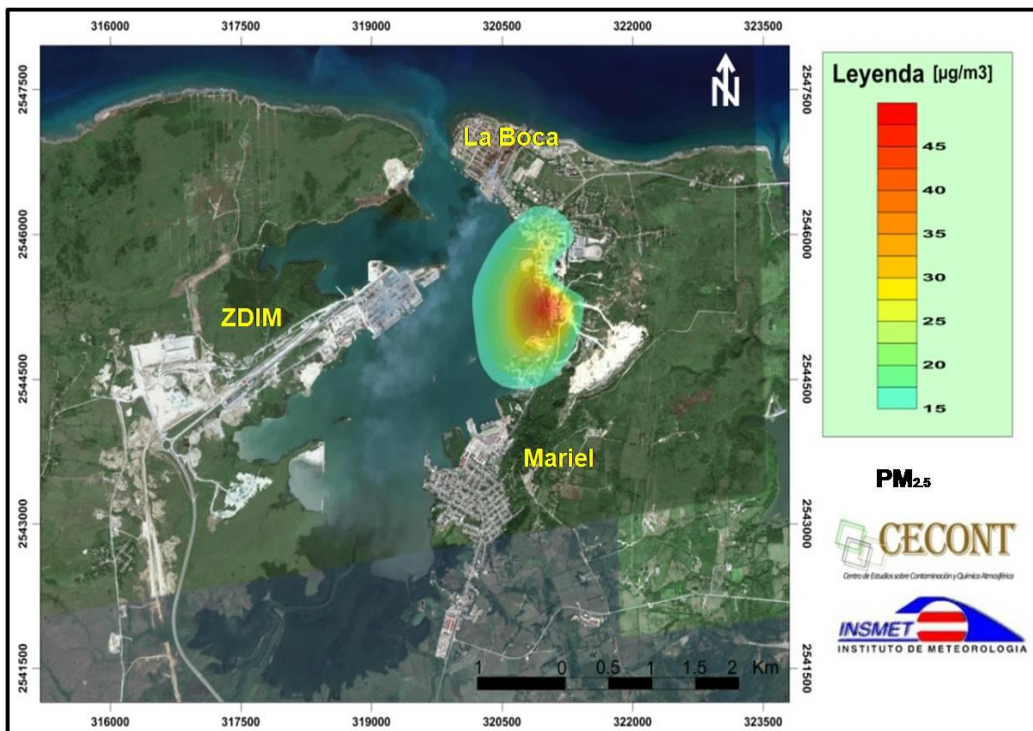


Figura 5. Concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ en el municipio de Mariel, año 2014

Para el PM_{10} la norma cubana se supera la mitad del año en los alrededores de la fábrica de cemento. Hacia la porción norte del asentamiento urbano de Mariel, se supera la norma entre el 20 y 25% de los días del año.

Para el caso del $PM_{2.5}$ sucede de manera similar al PM_{10} superándose la norma en los alrededores de la fábrica de cemento el 40% de los días del año.

Aplicando la metodología para el ICA a los resultados obtenidos de la modelación, se obtuvo un mapa de índice de calidad del aire para la zona de estudio, mostrando las diferentes categorías desde buena hasta crítica, revelando las áreas con mayor incidencia de la contaminación del aire ([Figura 6](#)).

El poblado de La Boca es un asentamiento a tener en cuenta en los estudios de enfermedades respiratorias, ya que prácticamente todo el año posee una calidad del aire de mala a pésima, factor que puede influir de manera directa en la salud de sus habitantes y trabajadores de las tres fuentes fijas principales, que, como es de esperar, también se encuentran sometidos a valores de alta contaminación.

Impactos de la contaminación del aire en la población de Mariel

El análisis de los impactos se realizó de manera general, graficando los totales de casos atendidos en el período 1997-2015, tanto para las otras Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) como para el Asma Bronquial (AB) ([Figura 7](#)).

Los casos de otras IRA poseen una tendencia al descenso a inicios del período y hasta el 2008. Hacia 2009 se produce un ascenso en la cantidad de casos, alcanzando sus valores máximos en los años 2011 y 2012, superando los 25 mil pacientes, que sumado a los casos de AB sobrepasan los 30 mil atendidos en esos dos años. Los casos de AB por su parte, poseen un comportamiento más estable, con una tendencia al descenso, alrededor de 5 000 casos anuales en el período 2010-2015.

Con estos análisis se trató de determinar la relación existente entre la cantidad de pacientes atendidos por meses y las concentraciones mensuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$, que son tomados como contaminantes criterios para estudios de enfermedades respiratorias, arrojando resultados positivos. Para ello se determinó la concentración media mensual de estos contaminantes mediante un factor de ajuste calculado por [Turtós, 2012](#), dando como resultado una concentración media mensual de

$43.50\mu/m^3$ y de $21.75\mu/m^3$ para el PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente.

En la determinación de la relación entre las concentraciones promedio mensuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ con los casos de otras IRA y AB, para el período 2010-2014, los resultados arrojaron poca correlación entre las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ y la cantidad de casos de otras IRA atendidos ([Figura 8](#)).

En los diagramas de dispersión y las curvas de regresión, no existe un patrón definido de relación entre las concentraciones de los PM y los casos de otras IRA atendidos en el período analizado. Esto se debe, por lo general, a que las otras IRA son enfermedades multicausales, donde los factores ambientales como la humedad, sensaciones térmicas, presencia de virus, etc., tienden a reforzar su incidencia. Los resultados de la dispersión robustecen la afirmación anterior, haciendo saber que la correlación es débil y, son otros los factores externos que influyen en el aumento o la disminución de casos de otras IRA.

Con los casos del AB ocurre lo contrario, donde las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ si influyen de manera positiva, estadísticamente hablando, por lo que existe una correlación fuerte entre dichas variables ([Figura 9](#)).

El AB es una enfermedad multicausal, pero teniendo en cuenta estos resultados, se puede añadir que, se exagera o disminuye en dependencia de la época del año, y, en buena medida, por el aumento o la disminución de las concentraciones de estos contaminantes. Existe una evidente coincidencia entre los picos de concentraciones de PM y los de casos atendidos por AB. Tanto es así, que ante los mayores valores de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en octubre de 2011, se registró el mayor número de casos atendidos de AB.

Costos por impactos en la salud

En la [tabla 4](#) se muestran los resultados obtenidos del cálculo de los costos en la salud estimados por el tratamiento del AB en el municipio Mariel para un año promedio. Los gastos mayores se concentran en los costos de

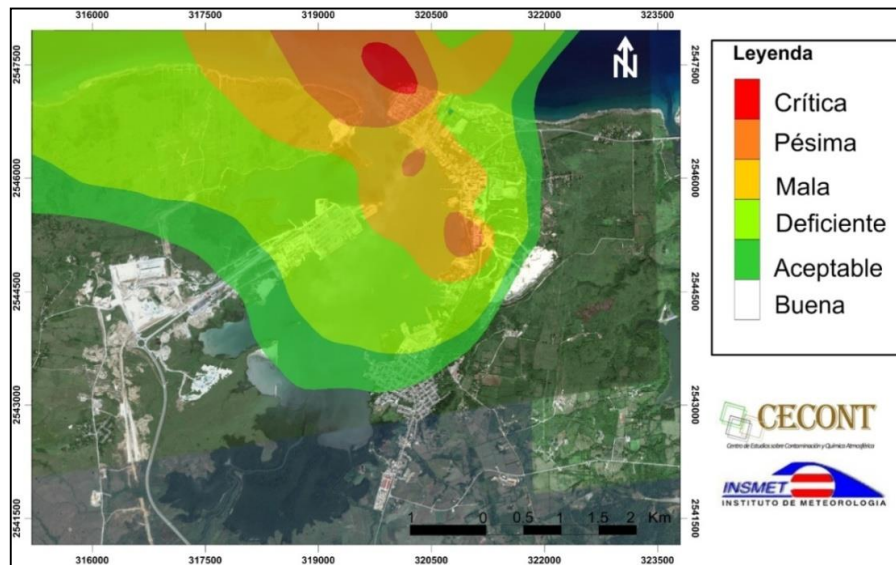


Figura 6. Índice de calidad del aire para el municipio de Mariel, año 2014

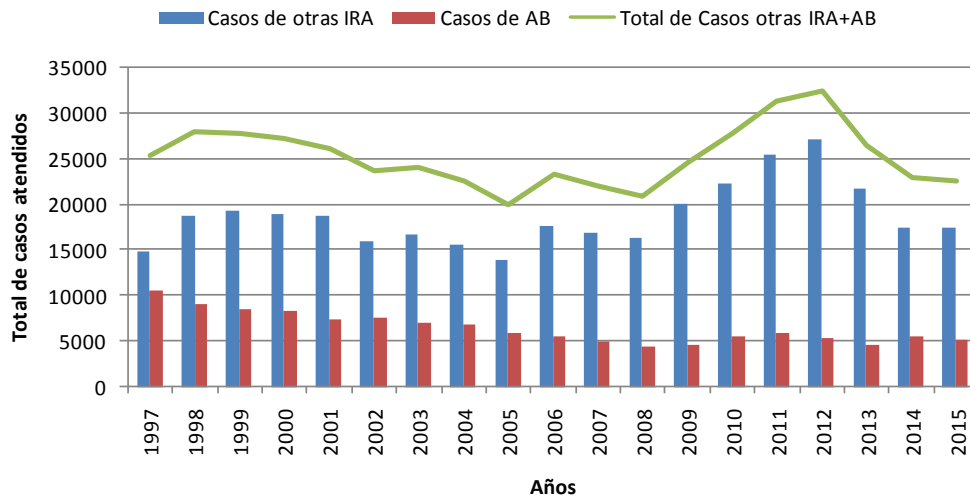


Figura 7. Total de casos atendidos de otras IRA y AB en Mariel 1997-2015

los medicamentos para el caso de los costos directos y en el gasto de bolsillo para el caso de los costos indirectos con un 58.37% del total de gastos en costos directos el primero, y un 73.06% del total de gastos en los costos indirectos el segundo.

Programación de medidas y plan de acción

Las acciones correctoras están organizadas en cinco grupos, las dirigidas al establecimiento de un sistema de vigilancia de la calidad del

aire, las políticas, las administrativas, las técnicas o tecnológicas y por último las sociales. Cada tipo de medida posee un color diferente a modo de leyenda para facilitar el entendimiento del plan. El tiempo estimado que se propone para que el plan funcione con la totalidad de sus objetivos cumplidos es de cinco años como mínimo. En este documento se sintetizaron las medidas más importantes por razones de espacio ([Tabla 5](#)).

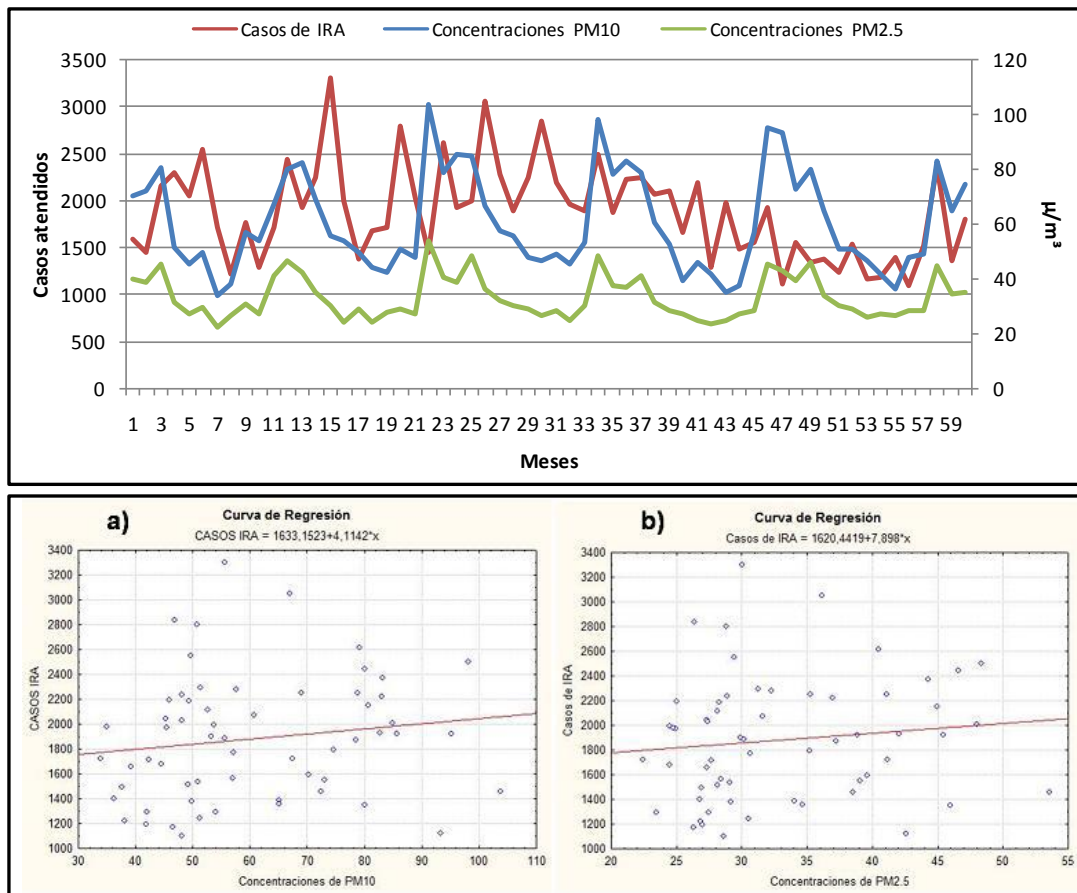


Figura 8. Número de casos mensuales atendidos de otras IRA y concentraciones promedio mensuales de PM₁₀ y PM_{2.5} para el período 2010-2014, municipio de Mariel. Diagramas de dispersión entre concentraciones mensuales de PM₁₀ a) y PM_{2.5} b) y total de casos mensuales de otras IRA

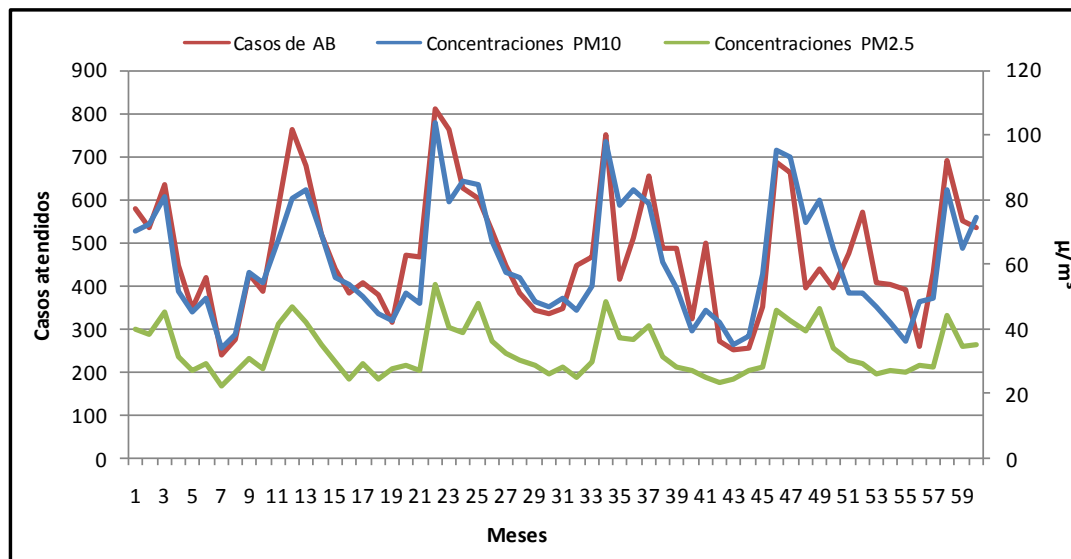


Figura 9. Número de casos mensuales atendidos de AB y concentraciones promedio mensuales de PM₁₀ y PM_{2.5} para el período 2010-2014, municipio de Mariel y diagramas de dispersión entre concentraciones mensuales de PM₁₀ a) y PM_{2.5} b) y el total de casos por mes de AB

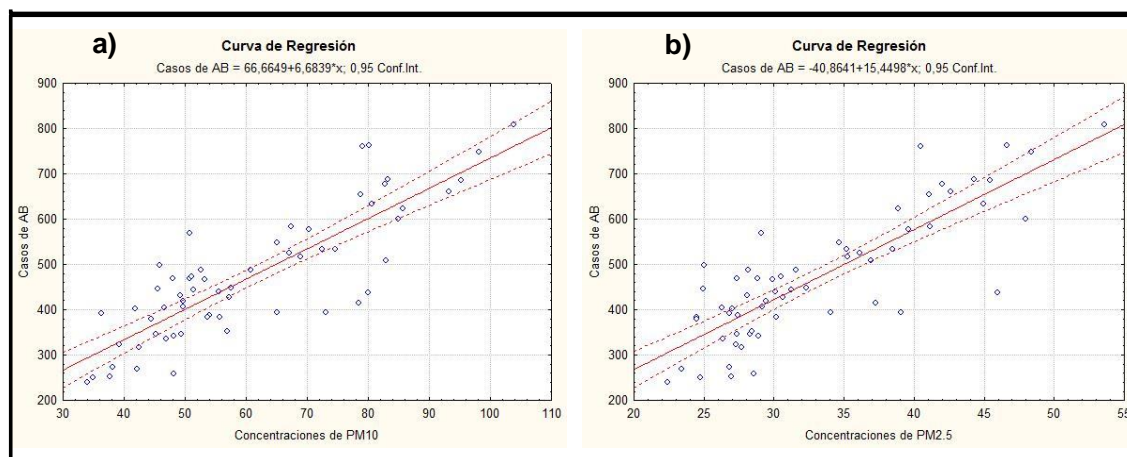


Figura 9. Continuación

Tabla 4. Costo del tratamiento anual por asma bronquial y enfermedades respiratorias en Mariel

Costos directos	Valor promedio anual (cup)	Valor promedio anual por asmático	(%) de costos directos
Atención primaria	55696.16	13.29	27.64
Ingreso hospitalario	28195.00	6.73	13.99
Medicamentos	117609.60	28.08	58.37
Subtotal	201500.76	48.10	100
Indirectos			(%) de costos indirectos
PSAL	527855.55	126.01	16.06
Gasto de bolsillo	2401653.24	525.54	73.06
PIBDRF	357765.00	85.41	10.88
Subtotal	3287273.79	736.96	100
Total	3488774.55	785.06	100

Tabla 5. Plan de acción de la calidad del aire e impactos a la población. Municipio Mariel

Para el establecimiento de un sistema de vigilancia
Políticas
Administrativas
Técnicas o tecnológicas
Sociales

Objetivo	Medida	Responsables	Plazos	Presupuesto estimado*
Aumentar las capacidades técnicas de medición y monitoreo de la contaminación atmosférica	Compra de estaciones de monitoreo continuo (al menos 2) y ubicación correcta de las mismas en diferentes puntos del área de estudio	MINCEX, CITMA y CAM ¹ del Mariel, CAP ² de Artemisa	1 año después de aprobado el plan	450 000
	Implementar sistemas de modelación de contaminantes que emitan un pronóstico de calidad del aire a corto, mediano y largo plazo	Al inicio, especialistas del CECONT, INSMET. Después, especialistas del CITMA municipal	De 2 a 3 meses después de aprobado el plan	2 000
Determinar las zonas más afectadas por la contaminación del aire	Realizar estudios de impactos de la contaminación en la población, aplicación de encuestas y técnicas participativas de percepción del riesgo por contaminación del aire	Especialistas del CITMA y de Salud municipal, provincial o nacional	Mes 2 de cada año después de aprobado el plan	2 000
Establecer un sistema de información	Publicar y difundir un pronóstico de calidad del aire utilizando los diferentes medios de difusión locales. (Televisión, Radio, Periódicos, Páginas web, etc.)	Gobierno municipal, Directivos del Sistema Informativo local de Radio y Televisión, Periodistas, etc.	Diario. Una vez puesto en marcha el servicio de pronóstico de calidad del aire	1 500
	Redacción de informes anuales de calidad del aire y colocarlos a disposición de las entidades y personas interesadas, como parte del sistema de información	Al inicio, especialistas del CECONT, Instituto de Meteorología. Después, expertos del CITMA municipal	1 año después de aprobado el plan	1 400
Revisar el marco legal existente en materia de contaminación del aire y elaborar nuevas legislaciones que no estén recogidas en la actualidad	Inclusión del componente de calidad del aire en los planes locales de desarrollo y en las actividades relativas a la planificación urbana	CITMA Nacional, IPF municipal, CAM y CAP de Mariel	De 1 a 2 meses una vez aprobado el plan	160
	Formulación de decretos y normas municipales que incentiven el uso de tecnologías eficientes en cuanto a consumo de energía y emisiones de contaminantes, así como el empleo de fuentes de energía renovables	Oficina Nacional de Normalización, especialistas del CITMA municipal, CAM y CAP de Mariel	De 1 a 2 meses después de aprobado el plan	400

Creación de un centro de monitoreo y control de la contaminación del aire	Disponer un local y adquirir los medios de computo y almacenamiento necesario para los datos de las estaciones y el pronóstico de la calidad del aire local	MINCEX, CITMA y CAM del Mariel, CAP de Artemisa	1 año después de aprobado el plan	25 000
Cumplimiento de la legislación ambiental y comprobación continua de la misma	Intensificar los controles de aplicación de la legislación ambiental actual en las industrias de significación. Hacer presente el principio de, el que contamina, paga	Directivos de la fábrica de cemento y la termoeléctrica. CITMA municipal	Puede realizarse trimestral o semestral	2 500
	Reducir las emisiones de las fuentes existentes, definiendo las estrategias y medidas a tomar en consenso con cada uno de los sectores y la firma de acuerdos de cumplimiento mutuo con sus plazos correspondientes	Directivos de fábrica de cemento y la termoeléctrica. Gobierno y CITMA municipal	A partir del primer año, después de aprobado el plan	20 000
	Compra o contratación de equipamiento de medición de gases y partículas en las industrias para analizar el estado de las emisiones	Directivos de la fábrica de cemento y la termoeléctrica. CITMA y CAM del Mariel, CAP de Artemisa	Una vez aprobado el plan	25 000
Incentivar a las empresas a la reducción de sus emisiones	Proponer decretos municipales que incentiven el uso de tecnologías limpias y eficientes.	CAM de Mariel, CITMA municipal e IPF municipal	Una vez aprobado el plan	1 500
Disminuir las emisiones de gases y partículas en la fábrica de cemento	Instalación de electrofiltros en los secadores y horno de cemento	Director de producción, especialistas de áreas productivas y otros directivos de la fábrica de cemento	Ya se ejecuta actualmente	59 754,52 ³
	Establecer horarios de trabajo más asequibles en función de la velocidad y dirección del viento en los molinos		Una vez aprobado el plan	

	Debida protección de los conductos, bombas y extractores del cemento que se transporta hacia las embarcaciones y las tolvas de camiones, para evitar las emisiones por pérdida del mismo	Directivos de comercialización. Director de producción y Dirección General	Una vez aprobado el plan	15 000
	Introducir en el horno la quema de combustibles alternativos	Energético de la fábrica de cemento	Ya se ejecuta actualmente	3 210
Disminuir las emisiones de gases y partículas en la termoeléctrica y motores diesel	Introducción de combustibles menos sulfurados		Una vez aprobado el plan	3 300
	Mantenimiento adecuado y periódico de las instalaciones generadoras		Semestral**, si no existen	4 500
	Aumentar la altura de la chimenea de escape de gases hasta la altura requerida	Directivos de la termoeléctrica. CITMA y CAM del Mariel, CAP de Artemisa	De 1 a 2 años una vez aprobado el plan	55 000
	Establecer regímenes de operación diario en dependencia del horario y la demanda energética		Una vez aprobado el plan	
Establecer un sistema de aviso y seguridad a trabajadores y habitantes cercanos a la fábrica de cemento y la termoeléctrica ante cualquier situación extrema	Señalar las áreas de producción y generación con elementos informativos que exijan el uso de los medios de protección	Directivos de la fábrica de cemento y la termoeléctrica	Una vez aprobado el plan	4 700
	Establecer un sistema de información y alerta ante eventos extremos de contaminación atmosférica que puedan ocurrir		Una vez aprobado el plan	1 200
	Capacitación por parte de las autoridades sanitarias en materia de salud y contaminación del aire al personal trabajador y los habitantes de Mariel en especial del poblado La Boca	Delegados del barrio y directivos del sistema de salud municipal	Una vez aprobado el plan	1 500
Crear las capacidades sanitarias para la	Contar con cierta cantidad de camas y equipamiento dedicados a la atención a pacientes con asma en el policlínico municipal	Sistema de Salud del municipio	Una vez aprobado el plan	3 750

atención de personas con IRA	Establecer un sistema primario de atención de salud bien definida y con especial atención a los grupos de población más vulnerables		Una vez aprobado el plan	515
	Realizar pesquisas en las zonas más cercanas a las fuentes, sobre todo en la comunidad La Boca para determinar posibles afectados		Al menos dos anuales una vez aprobado el plan	150
Sensibilizar y actualizar a la población residente acerca de los efectos nocivos sobre la salud por contaminación del aire	Crear círculos de interés en materia ambiental en las escuelas y otros centros educativos	Sistema de Educación y Delegación de cultura del municipio	Una vez aprobado el plan	250
	Elaborar talleres de salud por parte del personal de epidemiología donde se expongan los efectos negativos en la salud que provocan los contaminantes del aire	Sistema de Salud del municipio	Mensuales	200
	Aprovechar los ejercicios meteoro que se realizan en el país para realizar simulacros de eventos de contaminación severa, evacuación de personal a lugares seguros, utilización de medios de protección, etc.	Sistema de Salud del municipio. Defensa Civil. Habitantes	Semestral	460
	Realizar encuestas a los pobladores con el objetivo de analizar su percepción de riesgo ante un evento de contaminación del aire	ONEI municipal, CITMA y Sistema de Salud del municipio	Cada 3 meses	400
685349.52				

Fuente: Elaborado por el autor a partir de [Capell, 2010](#); [López, 2004](#), [GESTA³, 2008](#) y visitas a las industrias, al policlínico, al CITMA y al Consejo de la Administración Municipal de Mariel.

1. CAM: Consejo de la Administración Municipal.
2. CAP: Consejo de la Administración Provincial.
3. Dato obtenido del Informe sobre la situación ambiental de la Empresa Mixta “Cementos Curazao S.A.” de Mariel.

*Nota: El presupuesto es en USD y está estimado para un año promedio. Si se compran las dos estaciones de monitoreo, que es lo más costoso, en los dos primeros años, en los tres restantes el presupuesto sería considerablemente inferior.

**Este intervalo puede variar en dependencia de la calidad de los combustibles, si son de menor calidad se recomienda realizar inspecciones trimestrales, si son de mayor calidad, se recomiendan inspecciones semestrales.

³Grupo de Estudios Técnico Ambiental – GESTA Aire de Perú.

Como conclusión se puede aseverar que el Plan de Acción de calidad del aire, constituye una herramienta básica para determinar las zonas más afectadas, la población que recibe sus impactos y poner en marcha una maquinaria que incluye inversiones, participación ciudadana, capacitación, mejora de tecnologías y uso eficiente de combustibles, acciones en beneficio de la salud humana, y finalmente provee los elementos necesarios para verificar, con el paso del tiempo, si las medidas propuestas han cumplido el objetivo para el cual fueron diseñadas.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente investigación permitió el arribo a las siguientes conclusiones:

1. El plan acción de calidad del aire elaborado para Mariel consta de 5 grupos de medidas, 16 objetivos y 51 medidas individuales, las cuales fueron precisadas por responsables, plazos de ejecución y presupuesto estimado. Además, se confeccionó un plan de acción ante estados de alerta que consta de 3 fases y 14 medidas.
2. Se identificaron tres fuentes fijas contaminantes principales, la Termoeléctrica “Máximo Gómez Báez”, siendo la de mayor aporte a las emisiones de SO₂ y NO_x con 72 541 y 3 418t anuales respectivamente. La Fábrica de Cemento Curazao “René Arcay”, con los mayores aportes a las emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} con 5 899 y 2 241t al año. La Batería de Grupos Electrógenos de Mariel siendo sus mayores emisiones las de NO_x, y SO₂ con 5 718y 5 016t.
3. Los contaminantes SO₂, NO_x y PM₁₀ presentaron las mayores concentraciones promedio anuales, se supera la norma anual para el caso del SO₂ (hasta 5 veces), del NO_x (hasta 4 veces) y del PM₁₀ (hasta en 3 veces). Las zonas aledañas a la termoeléctrica, a la fábrica de cemento y el asentamiento de La Boca poseen un Índice de Calidad del Aire entre deficiente y crítico.

4. Existe una correlación entre la variación de las concentraciones de PM y los casos atendidos de AB que puede ser explicada con la ecuación de regresión hasta en un 71%.
5. Los costos de salud ascendieron a \$3 488 774.55MN como promedio anual debido a la atención de pacientes asmáticos y se estima una pérdida de una vida humana anualmente atribuible al asma, con un peso de la contaminación estimado en un 70%.

REFERENCIAS

- Alessandrini, F. *et al.* (2006). Effects of ultrafine carbon particle inhalation on allergic inflammation of the lung. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*; Vol (117): 824 – 830.
- Bella, M. *et al.* (2006). The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo, and Mexico City. *Environmental Research*; Vol (100): 431–440.
- Ballester, F; Tenías, J; Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: Una introducción. *Revista española de Salud Pública*; Vol (73): 109 – 121.
- Capell, J. (2010). Planes de mejora de la calidad del aire: Análisis de ejemplos más conocidos. Máster en Ingeniería y gestión Medioambiental. Escuela de Organización Industrial, Sevilla, España.
- Cuesta, O. *et al.* (2000). Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la bahía de La Habana. Informe científico técnico, INSMET, La Habana.
- Díaz Véliz, R y Díaz Machado, A. (1998). Programa de mejoramiento de la calidad del aire en Cuba. *Revista Cubana de Salud Pública*. Vol (12), N° 3: 151–156.
- Díaz Véliz, R. *et al.* (2000). La calidad del aire en Cuba. Disponible en www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/2encuent/cuba2.pdf, consultado el 22 de febrero de 2015.

- Downs, S. *et al.* (2007). Reduced exposure to PM(10) and attenuated age-related decline in lung function. *New England Journal of Medicine*, 357, 2338-2347.
- EPA. (2004). User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD. EPA v454/B-03-001. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- EPA. (2009). Guide to the clean air act. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC.
- Gamble, J y Lewis, J. (1996). Health and Respirable Particulate (PM₁₀) Air Pollution: A Causal or Statistical Association? *Environmental Health Perspectives*; Vol (104): 838 – 850.
- GESTA – Aire. (2008). Plan de acción para la mejora de la calidad del aire en la cuenca atmosférica de la ciudad de Chimbote. Disponible en <http://calidaddelaire.minam.gob.pe/docs/71.pdf>, consultado el 18 de octubre de 2016.
- González, Y. (2015). Aspectos generales de la modelación y dispersión de contaminantes expulsados por fuentes fijas con el modelo AERMOD. Reunión Nacional de Contaminación Atmosférica, Matanzas. Centro de Estudios de Contaminación de la atmósfera, Instituto de Meteorología.
- Korc, M; Maisonet, M. (2002). Korc, M; Maisonet, M. (2002). Directrices para la elaboración de planes de acción locales para mejorar la calidad del aire. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. OPS/CEPIS/PUB/02.75. Disponible en <http://bvs.per.paho.org/bvsci/e/fulltext/pamca/pamca.pdf>, consultado el 5 de marzo de 2015.
- Latzin, P. *et al.* (2009). Air pollution during pregnancy and lung function in newborns: a birth cohort study. *European Respiratory Journal*, 33, 594-603.
- Lelieveld, J; Evans, S; Fnais, M; Giannadaki, D; Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature Journal*; Vol (525): 367–371.
- López, G. (2004). Guía para mejorar la calidad del aire en Chile. Centro Mario Molina. Disponible en <http://www.unep.org/transport/pcfiv/PDF/GuiaCalidaddelAire-Esp.pdf>, consultado el 16 de junio de 2016.
- Marcelo, G. (2010). Influencia de la contaminación atmosférica sobre el asma bronquial en Regla. Costos ambientales asociados. Tesis de Diploma. Instituto Superior de Ciencias Aplicadas (Instec), Universidad de la Habana, Cuba.
- NC 1020: 2014. Calidad del aire. Contaminantes, concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. Oficina Nacional de Normalización (ONN). Cuban National Bureau of Standards.
- NC 111: 2004. Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. Oficina Nacional de Normalización (ONN). Cuban National Bureau of Standards.
- Ostro, B, (1996). A methodology for estimating air pollution health effects. Office of Global and Integrated Environmental Health. World Health Organization, Geneva, 20pp.
- Porudominsky, D. (2012) Contaminación ambiental 2012. S.O.S Ambiente. Foro de debate para prevención y solución de problemas ambientales. Disponible en <http://www.sosambiente.info/foro-boas>.
- Raaschou-Nielsen, O. *et al.*(2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology Journal*; Vol (14), N° 9: 813 – 822.
- Ruíz, P. (2014). Informe Amicus Curiae sobre la Derogación de la norma de PM10 de concentración anual. Departamento de

Planes y Normas MMA, SEREMI, Región de Atacama. Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile.

Schindler, C. *et al.* (2009). Improvements in PM₁₀ Exposure and Reduced Rates of Respiratory Symptoms in a Cohort of Swiss Adults (SAPALDIA). *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 179, 579-587.

Turtós, L. (2012). Implementación de modelos refinados de dispersión local de contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes estacionarias. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la

Energía, CUBAENERGIA, Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera. Instituto de Meteorología.

UMAUI. (2009). Desarrollo y situación actual de los Planes de Acción de Calidad del Aire en la Comunidad Autónoma del País Vasco. LABEIN-Tecnalia. Gobierno Vasco.

Wallo, A. (2005). Evaluación del medio ambiente atmosférico y su influencia en la salud humana mediante el uso de SIG. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas, Instituto de Meteorología, Ciudad de la Habana.

WHO. (1972). Health Hazards in the Human Environment. WHO, Geneva.