

IMPACTO DEL SO₂ POR EL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA EN DIFERENTES ASENTAMIENTOS POBLACIONALES EN EL MUNICIPIO SANTIAGO DE CUBA.

Caridad Imbert Lamorú y Lisandra Zapata Despaigne.

Centro Meteorológico Provincial Santiago de Cuba. Santiago de Cuba. Cuba.

Teléfonos: 641656, 644400, 643357. E-mail: caridad.imbert@scu.insmet.cu,

lisandra.zapata@scu.inmet.cu.

Resumen

La economía del municipio Santiago de Cuba está determinada por el desarrollo industrial ubicadas en su mayoría en el litoral de la bahía. La ciudad se encuentra encajonada en una depresión situación que influye directamente en el comportamiento de algunas variables meteorológicas, convirtiéndola en una de las más contaminadas del país, impactando sus emisiones a la salud y al ecosistema.

Se analizan las emisiones de dióxido de azufre de las principales fuentes fijas (industrias) por el uso de combustible fósiles. Se calculó los valores de las emisiones tomando como referencia el método de Factores de Emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

El trabajo tiene como objetivo abordar la problemática Impacto del SO₂ por el transporte y dispersión de contaminantes a la atmósfera en diferentes asentamientos poblacionales en el municipio Santiago de Cuba, con una emisión anual de SO₂ de 9472133,71 Kg /año. Impactos mayores en los distritos: José Martí, Antonio Maceo, Abel Santa María y el Rene Ramos Latourt. Se concluyó que el organismo máximo emisor es el MINEM, numerosas fuentes de la ciudad no cumplen con las normas de calidad del aire. El inventario de emisiones es una herramienta con las que deben contar las autoridades decisoras para prevenir y mitigar las emisiones para la implementación de un pronóstico del aire para el municipio.

Palabras claves: Dióxido de azufre (SO₂). Pluma:

Emanación de gases por la chimenea.

Summary

The economy of the municipality of Santiago de Cuba is determined by industrial development located mostly on the coast of the bay. The city is encased in a depression situation that directly influences the behavior of some meteorological variables, making it one of the most polluted in the country, impacting its emissions to health and the ecosystem.

Sulfur dioxide emissions from the main fixed sources (industries) are analyzed for the use of fossil fuels. The emission values were calculated using the emission factor method of the United States Environmental Protection Agency as a reference.

The objective of this work is to address the problem SO₂ impact due to the transport and dispersion of pollutants into the atmosphere in different population settlements in the Santiago de Cuba municipality, with an annual SO₂ emission of 9472133.71

Kg / year. Major impacts in the districts: José Martí, Antonio Maceo, Abel Santa María and Rene Ramos Latourt. It was concluded that the maximum issuing body is the MINEM, numerous city sources do not comply with the air quality standards. The emissions inventory is a tool that decision makers must have to prevent and mitigate emissions for the implementation of an air forecast for the municipality.

Keywords: Sulfur dioxide (SO₂)

Feather: Emanation of gases through the chimney.

Introducción

La provincia de Santiago de Cuba es la segunda del país en número de habitantes. Cuenta con 9 municipios (Contramaestre, Guamá, Mella, Palma Soriano, San Luís, Santiago de Cuba, Segundo Frente, Songo-La Maya y Tercer Frente)

La actividad fundamental del municipio Santiago de Cuba está determinada por la industria, las de mayor peso : La refinería Hermanos Díaz, la Termoeléctrica Renté, la fábrica de cemento José Merceron y el Combinado de Cereales, etc. ubicadas en el litoral de la bahía, considerada entre las típicas bahías de bolsa, rodeada por las montañas de la Sierra Maestra, abrigando los vientos y marejadas en todas las direcciones. Comportándose la temperatura media anual entre una de las más altas del país, viéndose favorecida la pobre dispersión de los Contaminantes Atmosféricos.

El tiempo y el clima son factores ambientales relacionados con la dinámica de la atmósfera y, en mayor o menor grado, influyen sobre todas las actividades humanas. Probablemente, los elementos atmosféricos más importantes para el hombre y los seres vivos, estén representados por el aire que respiramos, la energía solar y la lluvia.

En los años más recientes los problemas relacionados con el aumento de la población mundial, la contaminación ambiental y crisis energética, han llevado al surgimiento de un nuevo enfoque de las investigaciones atmosféricas, orientado a concebir la envoltura gaseosa de nuestro planeta como un sistema, en el cual, los procesos de transferencia de energía, así como de masas de aire y de agua, son considerados como recursos naturales potenciales, los cuales manejados racionalmente, pueden ser fuente inagotable de bienestar para la humanidad.

La solución de los problemas medio ambientales constituye un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad. La satisfacción de tal aspiración es condicionada por la preservación de una atmósfera limpia.

El dióxido de azufre (SO₂), es el principal causante de la lluvia ácida transformándose en la atmósfera en ácido sulfúrico, al combinarse con la atmósfera es muy perjudicial para la salud, produciendo afecciones respiratorias y en la mucosa ocular, altamente corrosivo, puede depositarse sobre la vegetación y el suelo, produciendo lesiones en las hojas de las plantas y pérdida de nutrientes en los suelos por efectos de la lixiviación. Su origen es principalmente antropogénico, su importancia viene dada de su papel como precursor de Gases de Efecto Invernadero, emitido a la atmósfera de forma directa.

El trabajo tiene como objetivo abordar la problemática del Impacto del SO₂ por el transporte y dispersión de contaminantes a la atmósfera en diferentes asentamientos poblacionales en el municipio de Santiago de Cuba, tomándose las emisiones por organismos de las principales fuentes fijas de emisiones a nivel local.

Las principales fuentes de Emisión de contaminación atmosférica en la ciudad tienen su origen en los procesos industriales que implican combustión del carbón que contiene azufre, tanto las industrias como los automóviles que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre. Existen otras industrias que emiten gases en sus procesos productivos, amoníaco, material particulado no relacionado con la combustión completa.

El clima de la región se clasifica como tropical y estacionalmente húmedo con influencia marítima.

La bahía se encuentra bajo un fuerte estrés urbano - industrial que causan modificaciones en el régimen de temperaturas, radiación y precipitación.

El comportamiento de las variables meteorológicas juega un papel fundamental en los procesos de Contaminación Atmosférica. El trabajo refleja los factores meteorológicos principales que inciden en las altas concentraciones de contaminantes en el aire de la ciudad: la radiación solar, la lluvia, temperatura, humedad relativa y la fuerza y dirección del viento.

Efectos en salud y ecosistemas

El dióxido de azufre (SO₂) está regulado en la normativa a causa de su potencial efecto sobre la salud y los ecosistemas.

Este contaminante puede producir, incluso a grandes distancias del foco emisor, efectos adversos sobre la salud (tales como irritación e inflamación del sistema respiratorio, afecciones e insuficiencias pulmonares, alteración del metabolismo de las proteínas, dolor de cabeza o ansiedad), sobre la biodiversidad, los suelos y los ecosistemas acuáticos y forestales (puede ocasionar daños a la vegetación, degradación de la clorofila, reducción de la fotosíntesis y la consiguiente pérdida de especies) e incluso sobre las edificaciones, a través de procesos de acidificación, pues una vez emitido, reacciona con el vapor de agua y con otros elementos presentes en la atmósfera, de modo que su oxidación en el aire da lugar a la formación de ácido sulfúrico. También actúa como precursor de la formación de sulfato amónico, lo que incrementa los niveles de material particulado de 10 y 2,5 micrones (PM₁₀ y PM_{2,5}) con graves consecuencias igualmente sobre la salud.

Evaluaciones cuantitativas y cualitativas realizadas a los contaminantes atmosféricos de algunas de las principales fuentes contaminantes del aire de la ciudad (Cuesta, Imbert et al., 1999; 2000; 2001), y su comportamiento con algunas variables meteorológicas, han demostrado que existe una elevada contaminación de aire de origen industrial localizadas en el litoral de la bahía, esta elevada contaminación esta reforzada por el uso de una tecnología obsoleta, el uso de un combustible con un alto contenido de azufre, mal ordenamiento urbanístico, topografía y comportamiento de variables meteorológicas que favorecen a la dispersión difícil de sus emisiones.

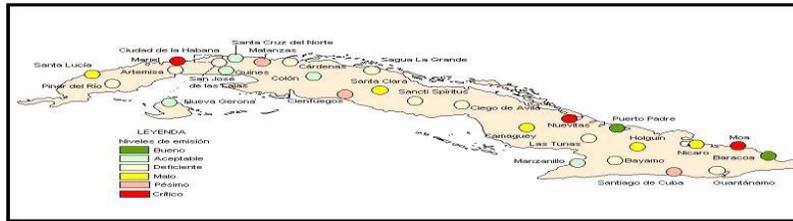


Figura 1. Nivel de contaminación atmosférica de algunas ciudades de Cuba. Santiago de Cuba pésimo.

La figura 1. Muestra los resultados obtenidos cualitativos y cuantitativos de la contaminación atmosférica en las diferentes ciudades del país reflejando el nivel pésimo la ciudad de Santiago de Cuba; Cienfuegos y Matanzas presentan niveles críticos Mocha, Nuevitas, ciudad de la Habana, entre malo y deficiente tenemos 5 y 11 ciudades respectivamente y el resto posee calidad de aire de buena y aceptable (PNUMA, 2004 y 2009; Cuesta, O., et al., 2014).

Materiales y Métodos

Se empleó las bases climáticas de Dpto. de clima del Centro Meteorológico de Santiago de Cuba. Se trabajó con lo establecido en la norma NC 1049:2014 para la realización del inventario de las fuentes fijas.

Se empleó la norma NC 1020:2014. de calidad del aire respecto a la clasificación de las fuentes según el Radio Mínimo Admisible de protección que debe existir entre las fuentes y la zona de viviendas.

Ecuación para el cálculo de la tasa de emisión:

$$E = FE * A * (100 - CE) / 100$$

donde:

- ☐ E = Emisión (ton/año)
- ☐ FE = Factor de emisión (ton/m³)
- ☐ A = Nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo (m³/año)
- ☐ CE La eficiencia del dispositivo de control de la contaminación atmosférica (si está presente)

. Metodología:

- ☐ U. S. EPA. Documento (AP-42, 1995a)
- ☐ Programa EMEP/CORINAIR. Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2001).

Factores de emisión Empleado: Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (Emisión Factor and Inventory Group) AP- 42 (U.S. EPA, 1995a) y del software Industrial Pollution Control (Control de Contaminación Industrial) (IPC, 1995) desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Resultados y Discusión

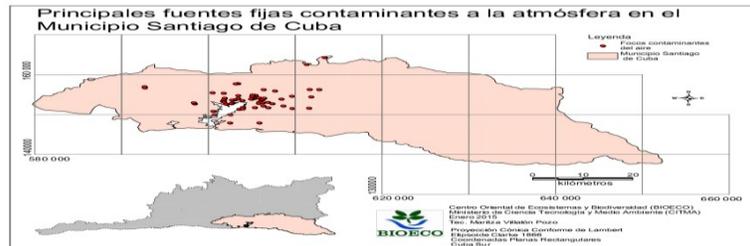


Figura 2. Principales fuentes fijas contaminantes a la atmósfera en el Municipio Santiago de Cuba.

En la figura 2 se expone las principales fuentes industriales (altas) que contaminan la ciudad, estas fuentes se caracterizan por sus volúmenes de emisiones, producción, cargas contaminantes, naturaleza de sus emisiones, estado técnico como se puede observar se encuentran localizadas en su mayoría en el litoral de la bahía de este a oeste.

Factores determinantes en el transporte y dispersión de los Contaminantes en el municipio de Santiago de Cuba.

Características de las emisiones, condiciones atmosféricas, características geográficas y topográficas de la ciudad de Santiago de Cuba.

Naturaleza del contaminante. Si es un gas permanecerá en la atmósfera mucho más tiempo que si es una partícula (sólido o líquido).

Temperatura de emisión. En el caso de contaminantes gaseosos, si su temperatura en el momento de salir a la atmósfera es mayor que la del aire circundante, el contaminante ascenderá hasta las capas altas facilitándose su dispersión. Por el contrario, si su temperatura es menor que la del aire circundante se acumulará en las partes bajas de la atmósfera.

Velocidad de salida del contaminante. A mayor velocidad, más rápido asciende y, en caso de inversión térmica, mayor probabilidad hay de que atraviese la capa invertida y pueda dispersarse más fácilmente.

Altura del foco de la fuente emisora. A mayor altura de la chimenea, mayor facilidad para que se produzca la dispersión del contaminante (chimeneas de gran altura donde hay más viento o simplemente a mayor altura que la que suele producirse la capa de inversión facilitará la dispersión de los contaminantes). **Tamaño de las Partículas.** Cuanto más ligera mas alejada estará de la fuente de emisión.

Condiciones atmosféricas, características geográficas y topográficas de la ciudad de Santiago de Cuba

Variables meteorológicas básicas que afectan la concentración de contaminantes en el aire ambiental en la ciudad:

- ☐ **Radiación Solar**
- ☐ **Precipitación**
- ☐ **Humedad.**
- ☐ **Viento**

Las radiaciones solares altas favorecen a las reacciones fotoquímicas que dan lugar a algunos contaminantes secundarios (ozono). Las precipitaciones producen un efecto de lavado de la atmosfera disminuyendo sus concentraciones de origen industrial y de algunos procesos constructivos. La ocurrencia de estas lluvias está asociada fundamentalmente a procesos convectivos (Dpto. de Pronóstico Sgto. de Cuba). El comportamiento de la temperatura media anual de la ciudad se ve afectada por los procesos de inversión térmica que se dan frecuentemente durante la noche y las primeras horas de la mañana, como consecuencia del enfriamiento del suelo no hay corriente ascendente del aire, quedando los contaminantes atrapados cerca de la superficie dificultando su dispersión.

El comportamiento de la media anual del 72% de la humedad relativa condiciona la que ocurran reacciones químicas formando ácidos y sales.

Tabla 1. Comportamiento del ácido sulfúrico a partir de la humedad relativa.

Quema de azufre 1.5%	Humedad 50%	Libera 0.6 kg H₂SO₄
	Humedad 98%	Libera 5.1 kg H₂SO₄

La tabla 1. representa el Comportamiento del ácido sulfúrico a partir de la humedad relativa . El comportamiento de la humedad relativa condiciona a la formación de ácido sulfúrico a partir del dióxido de azufre , aumentandando las concentraciones de este ácido (Winkler , 1973) . Otro aspecto sobre la contribución de los efectos de la humedad relativa se observa en el aumento de las concentraciones de las partículas en suspension emitidas en las cercanías de sus focos de expulsiones ocurriendo la deposición seca que suele ser muy dañina.

Velocidad del viento. Su comportamiento débil es determinante en la lenta rapidez de la dispersión.

Dirección del viento. Determina el área hacia donde se pueden desplazar los contaminantes emitidos.

Durante el día el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior debido a la absorción de la energía solar. El aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar. Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado favoreciendo a los procesos de dispersión de los contaminantes en la ciudad. La presencia de las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos en el municipio se ve favorecidas en las noches y mañanas por inversión térmica.

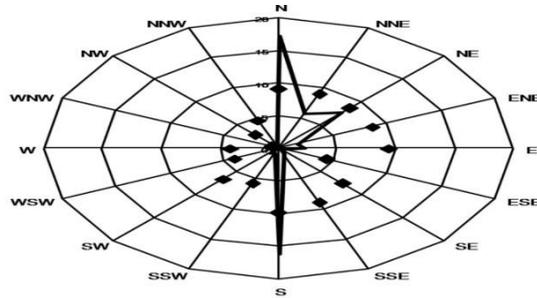


Figura 3. Comportamiento anual de los vientos en el municipio.

En la figura 3 se presenta (Dpto. de Clima, Sgto. de Cuba), el comportamiento del régimen de viento del municipio con predominio de **brisa y terral**, con vientos predominantes de **norte y sur**. Las velocidades medias no superan los 10,8 km/h. La máxima velocidad se alcanza después de la 13:00 pm en condiciones meteorológicas normales con una frecuencia de ocurrencia de las calmas entre el 35 al 50 % durante todos los meses del año.

Si tomamos como punto de referencia la ciudad tenemos que según el comportamiento del viento los asentamientos poblacionales más vulnerables son:

En el **Distrito José Martí** (densidad de población 1 742,24 hab./km²) ocurren las mayores afectaciones por el predominio de los vientos del este, impactando principalmente a las comunidades del **Cons e io popula r Maria na Gra ja les** (densidad de población 6 828,22 hab./km²) que incluye fundamentalmente a **San Pe drito** y al **Cons e io popula r José Martí Sur** (densidad de población 19 496,40 hab./km²) que comprende a los asentamientos **Bloque A al J.**

El **Distrito Antonio Maceo** (densidad de población 3 185,79 hab./km²), las mayores afectaciones se evidencian por los vientos del norte en los horarios de 19:00 a 7:00 horas, incidiendo mayormente sobre los **Cons e ios Alta mir a** (población de 3 098,92 hab./km²), **Vis ta Herm os a s** (10 665,60 hab./km²) y **Ciudama r** (467,50 hab./km²).

El **Distrito Abel Santa María** (densidad de población de 1 221,65 hab./km²), los vientos del oeste inciden negativamente sobre el asentamiento poblacional del **Cons e io P opula r Abe l S a nta Ma ría** (población de 791,64 hab./km²).

En el **Distrito Rene Ramos Latourt** (población 265,02 hab./km²) el predominio de los vientos del sur transporta sus emisiones principalmente en los horarios de las 13:00 a 16:00 horas, este distrito incluye población rural y urbana. Impactando fundamentalmente al **Cons e io P opula r Bonia to** (población de 783,62 hab./km²), **Cons e io P opula r Cobre** (densidad 112,23 hab./km²) y al Cristo con (332,89 hab./km²)

En resumen, las mayores afectaciones van hacer los Distritos Antonio Maceo y el Rene Ramos Latourt.

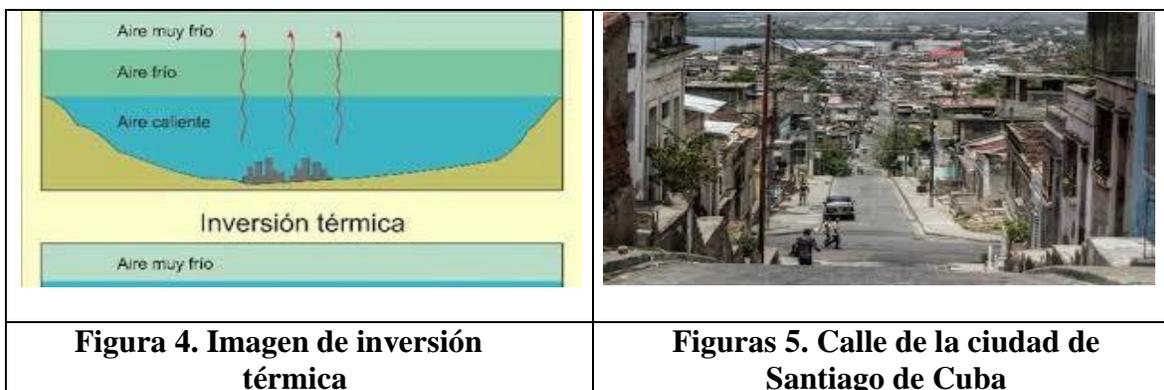
Características topográficas y geográficas

La situación geográfica y el relieve influyen en las brisas, que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación.

La topografía favorece las situaciones de inversión térmica, por la presencia de montañas costeras que dificultan la acción de las brisas marinas. La mala distribución urbanista, así como el empleo de la tecnología obsoleta y la altura de las chimeneas ocasionan también sus impactos negativos sobre el Ambiente Atmosférico de la ciudad.

Otros de los factores que inciden sobre la dinámica de las dispersiones en la ciudad de Santiago de Cuba está dado por la formación de cúpula de contaminantes que rodea la ciudad producidos por el calor de las fuentes, productoras de asfalto, materiales de construcción, ladrillos, cemento, sus edificaciones, calles estrechas y pendientes, frenando los vientos suaves absorbiendo y reteniendo el calor de manera más eficiente que el suelo y la vegetación. Al tener el aire mayor temperatura en la ciudad que en su periferia, el aire caliente urbano asciende y es sustituido por aire de la periferia. Por tanto, en ausencia de vientos fuertes y lluvias la dispersión de los contaminantes no es fácil, debido el carácter cíclico de los vientos dificultando la dispersión por el transporte y difusión de los contaminantes ocurriendo demasiado lento, provocando graves episodios de contaminación atmosféricos.

Cuando esto ocurre la concentración de los gases puede llegar hasta equivaler a 14 veces más cuando las noches son de cielo despejados.



La figura 4. Representa la imagen de una inversión térmica esto se observa en la ciudad en las noches y primeras horas de la mañana.

Las emisiones de gases a la atmósfera por el transporte vehicular (fuente móvil) es la segunda después de las emitidas en la producción de energía en la ciudad de Santiago de Cuba. Los periodos más críticos de emisiones se encuentran en los arranques y paradas (Muñoz, Luis 2014). En la figura 5 es lo representativo de nuestras calles. Se aprecia un relieve irregular con un escenario urbano donde las avenidas y calles estrechas se empinan o descenden, creciendo la ciudad al fondo de su bahía rodeada, en tierra firme, por la Sierra Maestra, esto condiciona el clima

cálido y húmedo. Las condiciones de temperatura, humedad relativa y las variaciones de altitud juegan un papel muy importante en el desempeño mecánico y ambiental de los motores de combustión interna, actuando directamente sobre el flujo máximo de aire inducido en el motor ocasionando una pérdida de potencia en relación a las condiciones de operación óptima de estos, contribuyendo al reforzamiento de la contaminación ambiental.

Frecuentemente para controlar los problemas por contaminación atmosférica, se construyen chimeneas que ayuden a dispersar. A la emanación visible de una chimenea se le denomina **pluma**. La altura de la pluma está determinada por la velocidad y empuje de los gases que salen por la chimenea. A menudo, se añade energía calórica a los gases para aumentar la altura de la pluma. Las condiciones inestables en la atmósfera producirán una pluma “ondulante”, mientras que las estables harán que la pluma sea “recta”, predominante las plumas verticales

Los contaminantes emitidos por las chimeneas pueden transportarse a largas distancias. En general, la concentración de contaminantes disminuye a medida que se alejan del punto de descarga y son dispersados por el viento y otras fuerzas naturales. Esta situación de las chimeneas en algunas de nuestras industrias no cumple con lo establecido agudizando los procesos por contaminación atmosféricas unido al incumplimiento del Radio Mínimo Admisible establecido por la norma cubana NC 1020:2014.

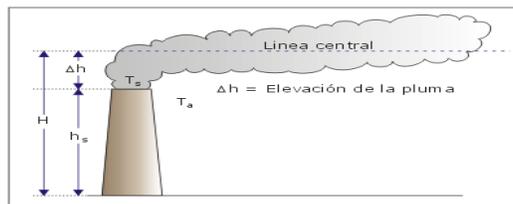


Figura 6. Las partes de una chimenea.

La figura 6. muestra las partes de una chimenea para el cálculo de su elevación. Presenta las mayores concentraciones en la línea discontinua que depende de las características físicas de la chimenea y de los gases mientras que su densidad depende de la temperatura de salida de los gases y de la temperatura ambiente.

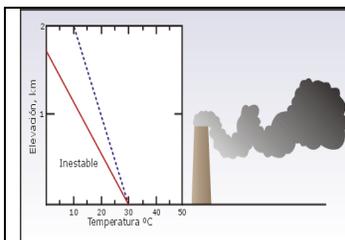


Figura 7 Chimenea ondulada.

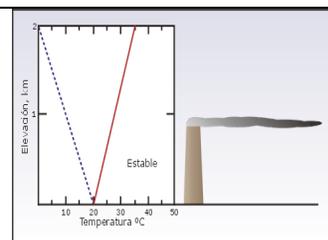


Figura 8. Chimenea horizontal.

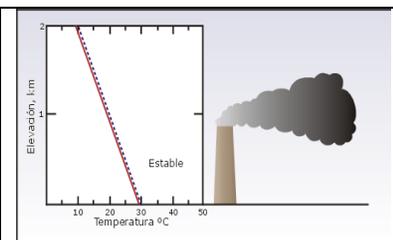


Figura.9 Chimenea en forma de cono.

Las figuras 7, representa una pluma ondulada en presencia de una atmósfera inestable aquí los contaminantes tienden a caer sobre el suelo en la cercanía de la fuente de emisión. La figura 8 y 9 representan el comportamiento de la pluma de la chimenea en una atmósfera estable sus emisiones serán transportadas a mayores distancias de las fuentes de emisiones.



Figura 10. Foto de la termoelectrica en Santiago de Cuba.

En la figura 10 se destaca la imagen de la termoeléctrica Antonio Maceo, Santiago de Cuba ubicada en el litoral de la bahía, como se observa tres chimeneas dos de ellas emanan gases (pluma) de gris a negro, con una pluma vertical, evidenciando la presencia de una atmósfera estable o neutra, vientos débiles, ocasionando altas concentraciones de contaminantes con una ocurrencia más probables en los días soleados o nubosos

La mala combustión y el alto contenido de azufre se ve presente en el oscuro de sus emanaciones a la atmósfera, la mala combustión va a estar asociada **a una reacción química no estequiometria entre el oxígeno y el material carburante (combustible).**

Tabla 2. Emisiones dióxido de azufre de los cuatros principales organismos contaminantes del municipio Santiago de Cuba (Kg/año).

OACES	SOX
MINEM	2956474,92
MINAL	2759715,71
MINSAP	151874,1
MICONS	3495510,99

En la (Tabla 2) se presentan las emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera (Kg/año), de cuatro de los principales organismo que emplean en sus procesos productivos combustibles fósiles del municipio Santiago de Cuba. Las Emisiones de dióxido de azufre mayores resultaron del MINEM y del MINAL, para el caso MINEM sus fuentes de mayores emisiones se encuentran ubicadas en el litoral de la bahía, termoeléctrica Antonio Maceo, la refinería Hrnos Díaz y 3 grupo de

Generación Distribuida. Para el caso del MINAL los mayores aportes están dados por la fábrica de Aceite y Soya, fábrica de cerveza Hatüey ubicadas también en el litoral de la bahía, aunque la mayoría de sus fuentes se encuentran dispersas por la ciudad. Las Emisiones del MICONS los más altos valores los emite la planta de asfalto Aguadores que emplea en su proceso tecnológico combustible Fuel- oíl y Diésel. El organismo MINSAP encontramos sus fuentes mayores en los hospitales, dispersas por la ciudad ubicado en el litoral el hospital militar Castillo Duany.

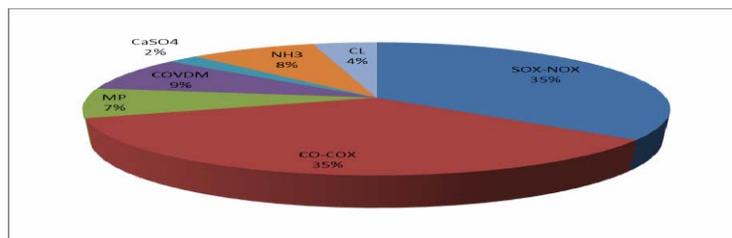


Figura 11. Distribución porcentual de Emisiones

La figura 11 muestra Distribución porcentual por Emisiones de las principales fuentes estacionarias: Mayores emisiones a los óxidos de azufre, nitrógeno y carbono con un 35% por el uso de combustible fósiles. Resulta significativa destacar las emisiones de un 9% por Compuesto Orgánico Volátiles Diferentes del Metano (COVDM) originado por el uso de solvente en la industria del plástico, en el material asfáltico, incineradores, recicladora de goma unido al uso de diferentes productos en el hogar, tostado de café, en el calentamiento de grasas, aceites, cereales, y en el proceso de fermentación de levadura en la producción de pan, reportado con un bajo aporte de emisiones en el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero Año Base 1990 López. et al (1990). Continúa el Amoníaco (NH₃) con un 8% que tienen su origen en la fabricación de productos lácteos, correspondiendo al Cloro 4% originadas por las plantas de tratamiento de aguas y finalmente el CaSO₄ aporta un 2% aportado por las plantas de yesos y explotación de canteras.

La figura 12 representa las Fuentes Fijas o estacionarias contaminantes a la atmósfera: Fábrica de Cereales, Fábrica de Cemento, Rente y la Refinería ubicadas en el litoral de la bahía de Santiago de Cuba, como se aprecia existen fuentes alta emisoras de dióxido de azufre, importantes en la generación de ácidos, otros gases son emitidos como el dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, material particulado y compuestos orgánicos volátiles, sin embargo las lluvias monitoreadas en la ciudad por un periodo de 35 años no reportan presencia de lluvia ácida lo que indica que existen en la atmósfera de agentes neutralizantes dentro de ellos los polvos en suspensión y aerosoles marinos (fuente natural del mar) que al combinarse con el ácido sulfúrico dan lugar a la formación de sales que disminuyen la acidez del medio, incluso hasta hacerlos neutros.



Figura 12. Foto sobre algunas de las Principales Fuentes Contaminantes ubicadas en la bahía de Santiago de Cuba, 10 mayo 2017.hora 6:30 a.m.

Luego de concluir el inventario de emisiones se procederá a la modelación de la emisión con el modelo AERMOD, herramienta imprescindible en el estudio de la contaminación atmosférica.

En la elaboración de modelos se usan representaciones matemáticas de los factores que afectan la dispersión de contaminantes. Cuando se hace un modelo del transporte y dispersión de contaminantes del aire se recopila información específica de un punto de emisión. Esta información incluye la ubicación del punto de emisión (longitud y latitud), la cantidad y tipo de los contaminantes emitidos, condiciones del gas de la chimenea, altura de la chimenea y factores meteorológicos tales como la velocidad del viento, perfil de la temperatura ambiental y presión atmosférica, para predecir cómo los contaminantes que se dispersarán en la atmósfera. Los niveles de concentración pueden calcularse para diversas distancias y dirección de la chimenea.

Conclusiones:

1-EL MINEM es el organismo máximo emisor de los compuestos gaseosos. Por otro lado, se destacan en la ciudad por sus emisiones el MINAL y el MINSAP.

2-Los asentamientos poblacionales de mayor impacto por los vientos son: Distrito Antonio Maceo y Rene Ramos Latourt

3- Numerosas son las fuentes fijas de la ciudad que no cumplen con las normas de calidad del aire respecto a la clasificación de las fuentes según el Radio Mínimo

4- El inventario de emisiones es una herramienta con las que deben contar las autoridades decisoras para prevenir y mitigar las emisiones para la implementación de un pronóstico del aire para el municipio.

Recomendaciones:

1-Si poco se puede hacer para minimizar los efectos de la naturaleza sobre el transporte y dispersión de contaminantes, la mejor estrategia disponible es prevenir la producción de contaminantes del aire en la fuente recomendándose que: Una vez concluido el Inventario de fuentes fijas se debe emplear Modelos de dispersión, para calcular la concentración de contaminantes a nivel del suelo y a diversas distancias de la fuente. Valiosa esta información ante una contingencia de emisiones por escape de gas.

2-Se recomienda que: En el inventario de Emisiones de contaminantes a la atmósfera de la ciudad deben participar todos los organismos involucrado en la emisión y la protección del medio ambiente para lograr un sistema informativo adecuado y estable para obtener información confiable.

3- Se recomienda que: Las industrias que empleen en sus procesos de combustibles fósiles deben mejorar su eficiencia y calidad del combustible con el fin de reducir las emisiones a la atmósfera, por lo tanto, se deben tomar medidas en la eficiencia de sus calderas adicionándole dispositivos de control y depuración de las emisiones en los procesos productivos

4-Aumento de la altura de la chimenea en las industrias que así lo necesiten para minimizar los contaminantes emitidos en la cercanía de sus fuentes garantizando el **transportarte y dispersión de contaminantes**.

Referencias bibliográficas:

Cuesta, O. et al, (2012). Diagnóstico del Medio Ambiente Atmosférico Producto de las Principales Fuentes Fijas de la ciudad de la Habana.

http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica

<http://www.monografias.com/trabajos84/contaminacion-enfermedades-respiratorias/contaminacion-enfermedades-respiratorias.shtml#ixzz5DhvTGari>

http://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_3_.pdf López, C. et al, (1990). Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero.

López, C. et al, (1990). Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero

López, C. et al, (1998). La Deposición Acida Atmosférica y su Contribución al Riesgo de los Ecosistemas Terrestres. Instituto de Meteorología, Cuba.41pp

Muñoz , Luis (2014). Estudio del comportamiento de los gases nocivos producidos por los vehículos automotores de la UEB Ómnibus Urbanos en el municipio de Santiago de Cuba .

ONEI (2017) Anuario Estadístico de Santiago de Cuba. U.S. EPA (1995a):
Compilation of Air Pollutant Emission Factors