

MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO METEOROLOGICO PROVINCIAL
SANTIAGO DE CUBA



Caracterización de la Contaminación de la Atmósfera de Santiago de Cuba en función de los elementos Meteorológicos y Físico-Geográficos

Autores

Ing. Mercedes Lorente Vega

Ing. Maria Caridad Ferrer García

Ing. Aldo Moya Alvarez

Colaboradores

Lic. Cecilia Calvo Cutie

Tec. José Ramón Cid Nacer

Tec. Mirna Martinez Mustelier

ASESOR

Dr. Raúl Hernández Heredia

En el presente trabajo se valora cuantitativa y cualitativamente el comportamiento de los contaminantes que provenientes de las industrias se dispersan sobre la ciudad de Santiago de Cuba en función de los elementos meteorológicos y físico geográficos. Para ello se consideró la aplicación de un modelo gaussiano modificado que permite evaluar la distribución y concentración de los contaminantes a diferentes distancias de la fuente y rumbos del viento predominante.

Para el desarrollo del trabajo se tuvieron en cuenta parámetros fundamentales como:

- a) Análisis y correlación de elementos meteorológicos como viento (dirección y velocidad) y temperatura, reportados por las estaciones localizadas en el perímetro de la ciudad durante un periodo de 10 años (1991-2000).
- b) Estudio y evaluación de la estabilidad e inestabilidad atmosféricas en diferentes puntos de la ciudad a partir de valores de gradiente de temperatura obtenidos para diferentes situaciones sinópticas y climatológicas.
- c) Inventario de las fuentes emisoras (altas) que contaminan la ciudad: Localización, régimen de producción, carga generada y características de las emisiones.
- d) Evaluación y aplicación del modelo de dispersión gaussiano modificado.

Finalmente se ofrece un pronóstico sobre el comportamiento de la dispersión de los contaminantes a partir de las cargas generadas por las industrias y la influencia de los elementos meteorológicos, que permite predecir las concentraciones medias diarias así como los valores instantáneos de dichos contaminantes a diferentes distancias de la fuente y rumbos del viento.

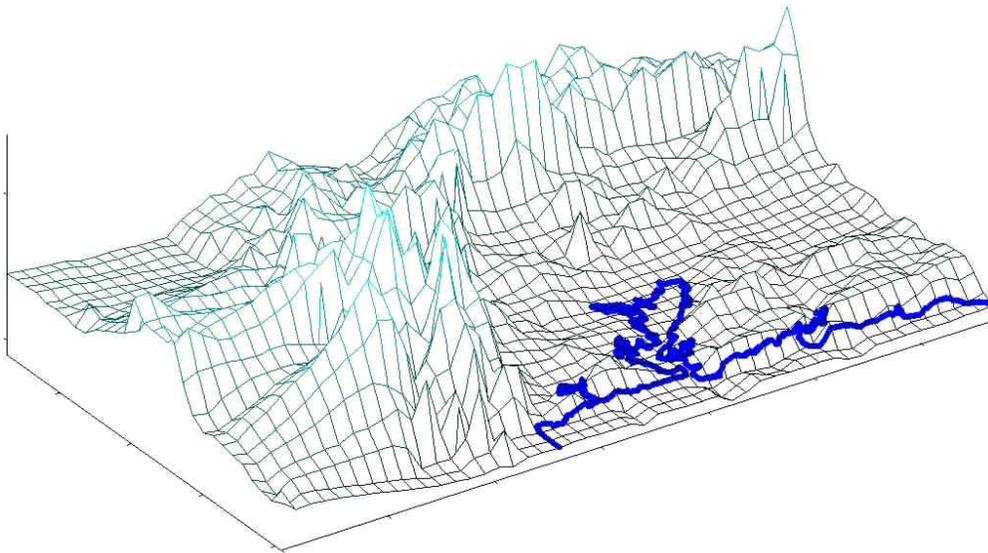
CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CIUDAD

LOCALIZACION Y TOPOGRAFIA

La ciudad de Santiago de Cuba es la segunda en importancia del país, con una población aproximada de 430 000 habitantes, se encuentra localizada en el centro de una cuenca del mismo nombre y ocupa un área de 5560 ha. Alrededor de la ciudad se observa una secuencia de elevaciones que forman parte de la Cordillera de la Sierra Maestra, cerrando a esta cuenca por la parte Norte, Este y Oeste y un poco abierta hacia el Mar Caribe por una serie de mesetas que no le dan posibilidades directas hacia el litoral costero y hacen que la ciudad quede en una depresión, en cuyo centro se ha desarrollado el hecho geográfico más importante que es la bahía, siendo esta de bolsa y se encuentra entre las más hermosas del mundo.

Una parte de la ciudad es llana, que va desde 0 - 25 m sobre el nivel medio del mar, una zona media localizada entre los 25 - 50 m sobre el nivel medio del mar y zonas puntuales por encima de este nivel. Un poco más allá se localiza la pre-cordillera que está ubicada entre la cota 200 alcanzando puntos máximos de 500 y 1000 m sobre el nivel medio del mar.

Estos son los hechos geográficos fundamentales que caracterizan al territorio donde se localiza la ciudad.



Topografía de la Ciudad

METEOROLOGIA

Es una zona seca y calurosa. Las precipitaciones tienen un régimen definido con dos períodos, uno lluvioso, que va desde mayo-octubre y el poco lluvioso, desde noviembre-abril, siendo los meses más lluviosos mayo y octubre. Las lluvias de mayo tienen sus causas fundamentales en las convecciones de verano, regularmente en la tarde y comienzo de la noche, actividad que va disminuyendo hasta julio. En agosto, septiembre y octubre las lluvias son originadas fundamentalmente por ondas, hondonadas, depresiones, perturbaciones ciclónicas y ciclones, que no tienen preferencia de horario. En las zonas montañosas las precipitaciones pueden alcanzar hasta 1230 mm/año, disminuyendo rápidamente hacia la costa con un promedio anual de 700 mm.

La temperatura media anual es de 25.2 °C. Las máximas alcanzan como promedio unos 34.0°C, mientras que las mínimas promedio se mantienen alrededor de los 20.0 °C.

La humedad relativa en la ciudad alcanza valores de 54% en el período enero-abril, a las 13.00 hr. y la máxima se registra en octubre entre las 16.00 y 19.00 hr. con un valor promedio de 88 %.

Los vientos que provienen del cuadrante Norte predominan a partir de las 19.00 hr. hasta las 7.00, originándose algunos períodos de calma para dar paso a los vientos del cuadrante sur que irán incrementándose hasta alcanzar un máximo de ocurrencia de vientos francamente del Sur entre las 13.00 y las

16.00 hr., luego van disminuyendo gradualmente hasta quedar restablecidos nuevamente los vientos del cuadrante Norte. Este patrón se repite diariamente con algunas oscilaciones en su comportamiento en dependencia del mes o período de observaciones. La velocidad promedio oscila entre los 5,8 y los 10,8 Km/hr.

DESARROLLO DEL TRABAJO

- a) Análisis y correlación de elementos meteorológicos como viento (dirección –velocidad) y temperatura, reportados por las estaciones localizadas en el perímetro de la ciudad.

Se consideraron las observaciones trihorarias del viento y la temperatura de las estaciones meteorológicas Universidad, Aeropuerto y Energía solar, localizadas al norte, sur y sureste de la ciudad respectivamente además de la estación de La Gran Piedra, ubicada a unos 15 km al este de la ciudad y a 1200 m sobre el nivel medio del mar, correlacionándolos entre sí para determinar los flujos más probables que circulan por la ciudad.

- b) Estudio y evaluación de la estabilidad e inestabilidad atmosférica en diferentes puntos de la ciudad a partir de los valores de gradiente de temperatura obtenidos para las diferentes situaciones sinópticas

Para valorar la estabilidad atmosférica a partir de los valores de gradiente temperatura obtenidos durante las diferentes situaciones sinópticas, se hicieron observaciones en cuatro puntos, es decir, Universidad, Morro, Energía Solar y 18 Plantas de la Ave. Garzón, localizados al norte, suroeste, este y centro de la ciudad, en los horarios de 7, 13 y 19 hr del meridiano 75° W, de forma consecutiva y simultánea y en los niveles de 1,5 a 20 mt de la superficie. El gradiente de temperatura se definió como $\mu = \frac{th_1 - th_2}{h}$, donde th_1 y th_2 representan la temperatura en dichos niveles respectivamente, utilizando psicrómetros de aspiración tipo Assmann para medir las temperaturas.

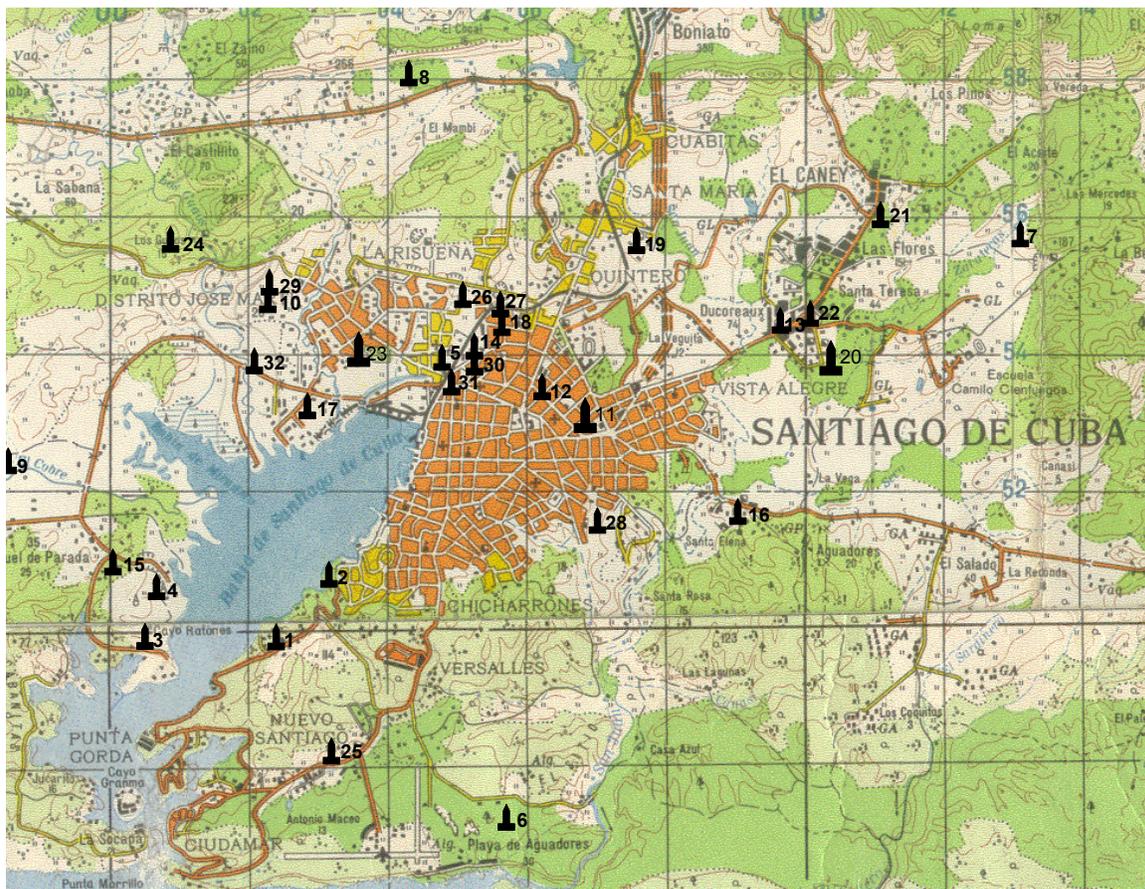
Los casos de estabilidad e inestabilidad se determinaron tomando como base el coeficiente $\xi = 0,65^\circ\text{C}/100$ mt, considerado como el gradiente de temperatura medio en una atmósfera húmeda, luego, los valores de gradiente menores que ξ se definen como casos de estabilidad y para los valores mayores inestabilidad.

Para dar una mayor definición del comportamiento de la estabilidad atmosférica en la cuenca de Santiago, se utilizaron los datos de la Gran Piedra y de superficie, además de modelar la turbulencia incluyendo la altura de la capa fronteriza. Para el análisis de las situaciones sinópticas se utilizó la clasificación de B. Lapinel (1988)

c) Inventario de las fuentes emisoras (altas) que contaminan la ciudad: Localización, régimen de producción, carga generada y características de las emisiones.

Se cuantifican e identifican las fuentes en función de las características de sus emisiones, considerando en primer lugar a las industrias de Cemento, Refinería y Termoeléctrica, por ser las que mayores volúmenes de contaminantes lanzan a la atmósfera y por lo cual han servido de base a este Proyecto para conocer el comportamiento de la dispersión y su pronóstico sobre la ciudad.

Localización de las fuentes industriales que contaminan la ciudad de Santiago de Cuba



d) Evaluación y aplicación del modelo de dispersión gaussiano modificado.

Se aplicó un modelo gaussiano modificado que responde a las condiciones específicas de la zona de estudio, que permitió evaluar las concentraciones medias diarias y valores instantáneos de los contaminantes atmosféricos a diferentes distancias de las fuentes emisoras en los diferentes meses del año.

Durante el desarrollo del trabajo se cumplieron las siguientes etapas:

1. Especificación del problema o escenario
2. Selección de los métodos de pronóstico de la dispersión de contaminantes a utilizar.
3. Selección del modelo genérico para el cálculo de la dispersión atmosférica.
4. Aproximación utilizada en la simulación matemática.
5. Selección y recolección de datos de entrada del modelo.
6. Formulación del modelo conceptual
7. Formulación del modelo matemático
8. Formulación del modelo computacional. Programa de estudio.
9. Corrida del modelo para el pronóstico.
10. Procesamiento y análisis de los resultados.
11. Conclusiones y recomendaciones

CONCLUSIONES

El régimen de circulación del viento en el territorio es muy complejo, estando marcado por una circulación interna de las brisas de mar y de tierra.

Las condiciones físico-geográficas, donde prevalece el relieve premontañoso influye de manera directa en el comportamiento del clima del territorio.

La estabilidad atmosférica prevalece en todos los puntos. Las mayores diferencias en cuanto a estabilidad-inestabilidad se evidencia en Energía Solar, seguida del Morro, luego Universidad y finalmente 18 Plantas de Garzón.

Energía Solar y el Morro (puntos de la periferia) tienen un comportamiento similar en cuanto a la estabilidad atmosférica, al igual que la Universidad y 18 Plantas (ciudad). Ambos se comportan como bloques, destacándose una marcada diferencia entre los dos primeros y los dos últimos.

La atmósfera de Santiago de Cuba se encuentra afectada por 33 fuentes emisoras altas de origen industrial, entre las de mayor importancia 4 de ellas se clasifican como tipo I, de acuerdo con NC 93 02 202 y otras fuentes como 72 panaderías, 9 hospitales y 6 lavatines, que contribuyen a la contaminación de la atmósfera urbana, encontrándose entre las principales contaminadoras:

Fábrica de cemento

Refinería

Termoeléctrica

La contaminación de la atmósfera de Santiago de Cuba se ve seriamente amenazada por la utilización del crudo cubano, que trae por consecuencia, además de las afectaciones tecnológicas, mayores emisiones de SO_x, contaminante considerado como uno de los que más contribuyen al deterioro del medio ambiente.

La ubicación de las industrias y su deficiente estado tecnológico, unido a las características del crudo cubano y otros factores como la orografía y la climatología local conspiran negativamente en la calidad del aire urbano con las consecuentes afectaciones en la economía y la salud de la población.

Se realizaron los cálculos para tres de las fuentes más importantes de contaminación de la Ciudad de Santiago de Cuba, por lo que los resultados obtenidos se limitan solamente a las concentraciones y tasas de deposición de dióxido de azufre, monóxido y dióxido de carbono emitidos por estas industrias, y no ofrece una visión total de la calidad del aire en la Ciudad.

A pesar de que el modelo no está calibrado para la zona de estudio, los resultados arrojan valores oscilantes alrededor de las normas establecidas en nuestro país para todos los casos, e incluso en ocasiones dichas normas son superadas, principalmente en las zonas más cercanas a las fuentes emisoras.

Las emisiones de polvo de la Fábrica de Cemento afectan gran parte de la Ciudad, principalmente en el período lluvioso del año, cuando el régimen de brisas se acentúa y se incrementan los vientos de región sur sobre la Ciudad.

Las emisiones de la Refinería de Petróleo y la Termoeléctrica "Antonio Maceo" afectarían solo el sector más occidental de la Ciudad debido a sus ubicaciones en relación con ésta y la baja frecuencia de ocurrencia de vientos del suroeste en esta zona. Las afectaciones al oeste de Santiago de Cuba ocurrirían también mayoritariamente en el período lluvioso del año.

En el período poco lluvioso los contaminantes se concentran con mayor frecuencia al sur de las emisiones, donde los núcleos poblacionales son de menor cuantía que hacia el norte de las industrias. Este último caso está relacionado con la presencia frecuente de vientos de región norte y nordeste en el período invernal producto del dominio de los sistemas anticiclónicos procedentes del continente norteamericano que suceden a los frentes fríos.

En el período poco lluvioso del año, donde como hemos dicho, las concentraciones máximas tienen lugar al sur de las fuentes emisoras, éstas toman valores superiores a las obtenidas hacia el sector norte en el período lluvioso a las mismas distancias.

Lo anterior está relacionado con el hecho de que la fuerza de los vientos predominantes en invierno es superior al verano, período este último en el que las concentraciones en lugares muy cercanos a la fuente son notablemente superiores a los del período invernal. Otro factor que influye en este resultado es el tipo de estabilidad.

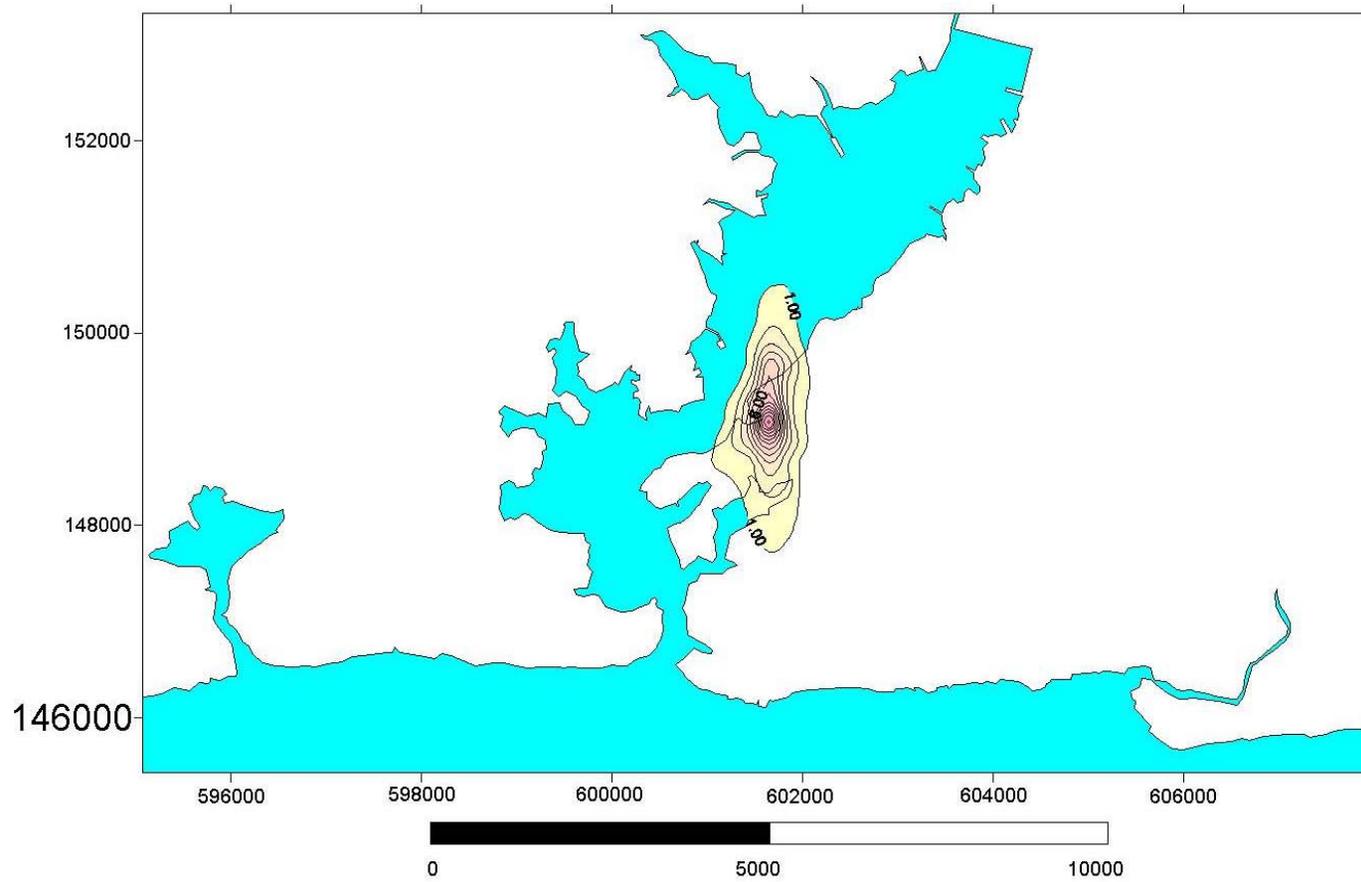
En el período invernal la atmósfera es más estable que en verano por lo que las concentraciones suelen aumentar en superficie a determinadas distancias de las fuentes, manteniéndose un decrecimiento paulatino de las concentraciones en la medida que nos alejamos del punto de emisión, mientras que en el período veraniego los procesos de dispersión son más eficaces y por consiguiente las concentraciones disminuyen rápidamente a distancias no muy alejadas de las fuentes, obteniéndose los máximos en puntos muy cercanos a la base de las emisiones, sobre todo si el viento es muy débil, como ocurre frecuentemente en esta época del año, principalmente en las noches.

Se puede concluir entonces que el modelo aplicado responde correctamente a los procesos físicos que tienen lugar en la zona de estudio, describiéndolos de forma tal que los resultados pueden ser perfectamente calibrados para esta región del país.

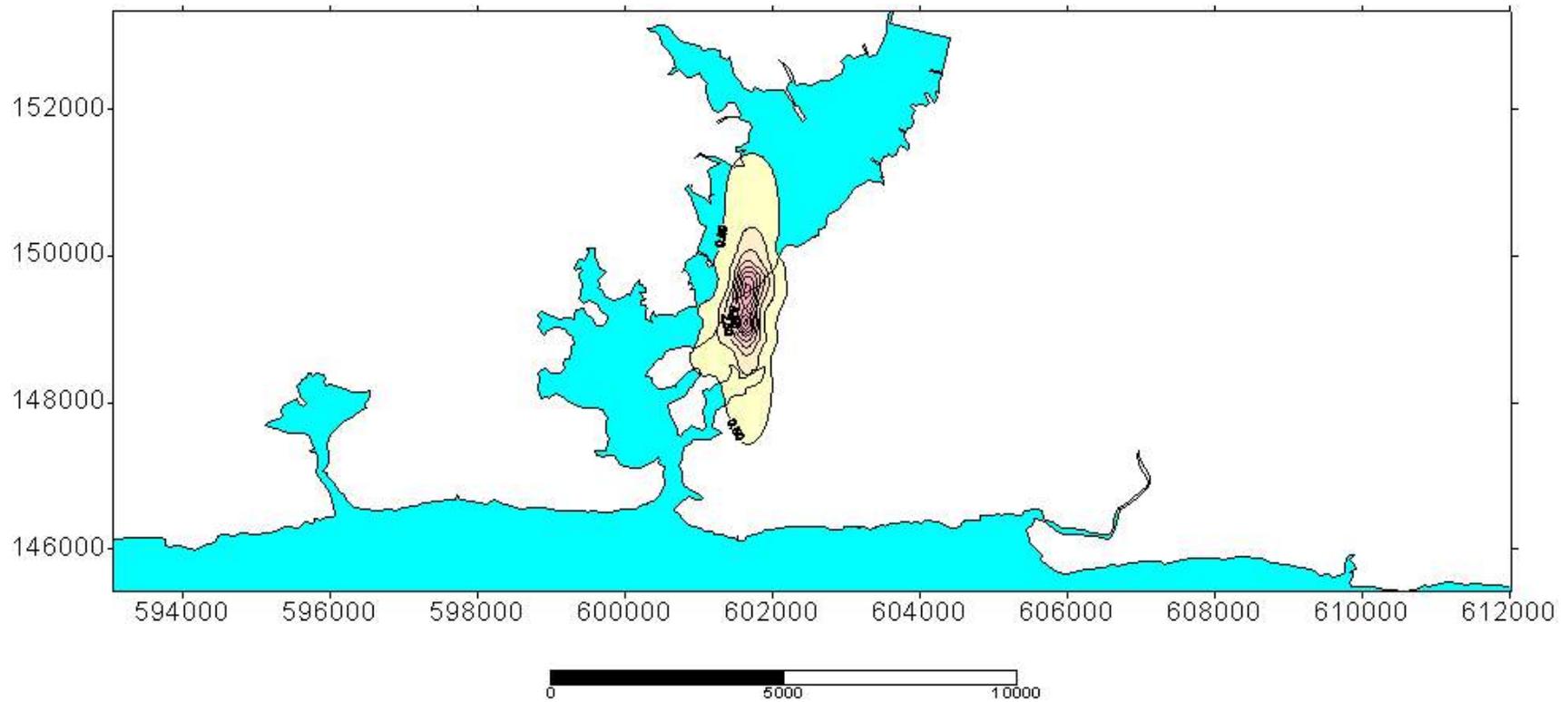
Referencias bibliográficas:

1. Aguilera Ricardo José. Programa computadorizado para el cálculo de las emisiones en los procesos de combustión. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 2001.
2. A.Joint EMEP/CORINAIR: Atmospheric Emission Inventory. Guidebook, First Edition Production. February 1996.
3. Atmósfera. Requisitos higiénico sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitarias: NC: 93 02 202/ 1997
4. Avila Chávez E; Leyva del Valle O. Análisis de la recuperación de los gases producto de la combustión de la zona I de calderas de la Refinería Níco López, 1987.
5. Contaminación atmosférica. Informe Comisión Provincial para la protección del medio Ambiente en Santiago de Cuba. 1980.
6. Dunas H. Manual tecnológico de Cemento. 1985
7. E.O.I. MINER Manual de Ingeniería ambiental. España 1980
8. Espinosa Idalmis. Influencia del polvo generado en la industria de cemento para el medio ambiente 1998
9. González González María Luisa. Composición química y propiedades físicas de los aerosoles atmosféricos superficiales en Cuba. Tesis de doctorado, Habana 1995
10. Jurgen Martel . La corrosión atmosférica del acero y sus peculiaridades en la República de Cuba. C. Habana 1970
11. Labal Kaminski. Prontuario de cemento 1970
12. Laserna Nogueras. La tecnología de la limpieza ambiental 1996
13. Lorente Díaz R. Inventario de focos contaminantes en la cuenca de Santiago de Cuba. Escala 1:10000. Tablas de referencia 1995
14. Ministerio de Industria y Energía. Inventario nacional de focos de contaminación producidos por la industria en España
15. Pérez Borroto, E; Gooser J. Opinión técnica sobre la solicitud de microlocalización del objetivo ampliación de la fábrica de cemento José Merceron. 1980
16. Ramos Ferra L; Maletá Tamayo O. Contaminación ambiental en la ciudad de Santiago de Cuba 1986.
17. Rosabal lobaina J; López Fernando. Producción de cemento en la fábrica José Merceron Allen. 1987.

18. Skrotski – Vopat. Power Station Engeneering and Economy 1968
19. Trujillo Castro N; Ruiz Ravelo N. Estudio de los calentadores de aire regenerativo en la C.T.E. Antonio Maceo. 1994
20. Buizova N.L., Garguer E.K., Ivanov V.N. Sobre la determinación experimental de la magnitud temporal lagrangiana de la turbulencia. Física de la Atmósfera y los Océanos, 1967, T.3 No. 5 pp 481-495 (en ruso)
21. Buizova N.L., Mashkova G.B. Sobre la determinación de la estabilidad de la capa superficial de la atmósfera por los datos de la red de observaciones meteorológicas. - Meteorología e Hidrología, 1971.
22. Fernández García A., Fabregat M.G. et al., Academia de Ciencias de Cuba, Dirección Provincial de Planificación Física, Cienfuegos 1992
23. Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routines. Safety Series No. 57, IAEA, Vienna 1982.
24. Laitjman D.L. Capa límite de la atmósfera. L. Editorial Hidrometeorológica, Leningrado, 1970.
25. Nuwstat F.T.M., Van Dop J. Turbulencia atmosférica y modelación de la dispersión de las partículas L. Editorial Hidrometeorológica, Leningrado 1979. (en ruso)
26. Orlienko L.R. Constitución de la capa límite de la atmósfera L. Editorial hidrometeoeológica, Leningrado 1979.
27. Vager B.G., Nadieshina E.D. Capa límite de la atmósfera en condiciones de homogeneidad horizontal L. Editorial Hidrometeorológica, Leningrado 1979 (en ruso)
28. Zilitinkievich S.S. Dinámica de la capa límite de la atmósfera. L. Editorial Hidrometeorológica 1970.



Dispersión de contaminantes emitidos por la fabrica de Cemento José Merceron durante los meses de Enero.



Dispersión de contaminantes emitidos por la fabrica de Cemento José mercaron de Santiago de Cuba durante los meses de Julio.