

# Modelación de la calidad del aire por SO<sub>2</sub> de la quema de crudo cubano en la central termoeléctrica "Máximo Gómez" del Mariel.

[Orlando H. Alvarez Hernández<sup>\(1\)</sup> y Miguel A. Díaz Díaz<sup>\(2\)</sup>](#)

(1) Lab. de Química Ambiental. Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169 esq. Churrucá. e-mail: [oral@ceinpet.cupet.cu](mailto:oral@ceinpet.cupet.cu)

(2) Lab. de Química Ambiental. Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169 esq. Churrucá. e-mail: [michael@ceinpet.cupet.cu](mailto:michael@ceinpet.cupet.cu)

**RESUMEN:** El objetivo del presente trabajo fue establecer el impacto de las emisiones de la CTE "M. Gómez" sobre zonas circundantes debido a la quema de crudo nacional mediante la modelación de la difusión y el transporte de contaminantes. Las fuentes estacionarias que sirvieron de base al diagnóstico de la contaminación del aire fueron las Unidades 1, 2, 5 y 6 de la CTE "Máximo Gómez", ubicada en el Mariel. Los datos primarios para los cálculos de dispersión fueron obtenidos a partir de mediciones reales efectuadas en chimeneas mediante un programa de aforo y caracterización de emisiones en esta industria. Los valores admisibles de las concentraciones en 20 minutos y 24 horas son los adoptados en Cuba según la norma cubana NC 39-99. Se adoptó, para el cálculo de la dispersión de contaminantes calientes expulsados a la atmósfera, una variante no gaussiana que es el llamado modelo de transporte gradiente K. En Cuba se han desarrollado trabajos dirigidos a resolver problemas fundamentales en esta dirección partiendo del modelo original propuesto por Berlyand.

$$C_M = (AMFm_n / H^{2*} \sqrt[3]{V_1 \Delta T})$$

Se realizó la modelación de la razón C/CMA para períodos de 24 horas para todos los meses y para el período anual. Igualmente se modeló la razón C/CMA para períodos de 20 minutos para el período anual, tanto para el viento medio como para el viento predominante (ESTE). Se obtuvo que las emisiones de las Unidades 1, 2, 5 y 6 de la CTE "Máximo Gómez" del Mariel afectan a la población y a la economía en un radio de 25 km, con valores de la razón de la concentración sobre la concentración máxima admisible (C/CMA) que oscilan en el rango entre 0,5 y 3,5. Las poblaciones más afectadas son Mariel, Quiebra Hacha y Guanajay.

**ABSTRACT:** The objective of the present work was to establish the impact of the emissions of the CTE "M. Gómez" over surrounding areas due to the burns of national crude oil by means of the simulation of the diffusion and the transport of pollutants. The stationary sources that served from base to the diagnosis of the contamination of the air were the Units 1, 2, 5 and 6 of the CTE "Maximo Gómez", located in the Mariel. The primary data for the dispersion calculations were obtained starting from real measures made in chimneys by means of a seating capacity program and characterization of emissions in this industry. The acceptable values of the concentrations in 20 minutes and 24 hours are those adopted in Cuba according to the Cuban norm NC 39-99. It was adopted, for the calculation of the dispersion of hot pollutants expelled to the atmosphere, a non gaussian variant that is the model of gradient transport K. In Cuba

works have been developed directed to solve fundamental problems in this address leaving of the original pattern proposed by Berlyand.

$$CM = (AMFMN / H2^*(V1(T))^3)$$

There was carried out the simulation of the reason (Concentration) / (Maximum Admissible Concentration) for periods of 24 hours for every month and for the period yearly. Equally the reason C/CMA was modeled for periods of 20 minutes for the annual period, as much for the mean wind as for the predominant wind (East). It was obtained that the emissions of the Units 1, 2, 5 and 6 of the CTE "Maximo Gómez" of the Mariel affect the population and the economy in a radius of 25 km, with values of the reason of the concentration on the acceptable maximum concentration (C/CMA) that oscillate in the range between 0,5 and 3,5. The more affected populations are Mariel, Quiebra Hacha and Guanajay.

## INTRODUCCIÓN

La utilización de modelos de simulación de la calidad del aire se ha incrementado pues permiten estimar los costos sociales de las emisiones, realizar comparaciones, así como brindar una información muy valiosa para la toma de decisiones (UNEP, 1996) (Slater, 1996).

Los modelos de la calidad del aire se dividen en dos tipos generales, fuente-orientados y receptor-orientados. Existe una gran cantidad de modelos y clases de modelos (IPIECA, 1997), y en general los mismos aceptan como entrada las características de emisión de los contaminantes y producen estimados de las concentraciones en el aire, o bien el material depositado en la superficie.

En Cuba se ha adoptado para el cálculo de la dispersión de contaminantes calientes expulsados a la atmósfera, una variante no gaussiana que es el llamado modelo de transporte gradiente K (Alvarez, 1993), estableciéndose los modelos de regulación en nuestro país. En Cuba se han desarrollado trabajos dirigidos a resolver problemas fundamentales en esta dirección partiendo del modelo original propuesto por Berlyand.

$$C_M = (AMFm_n / H^2 * \sqrt[3]{V_1 \Delta T})$$

En trabajos realizados por O. Alvarez y R. Alvarez, se determinaron las modificaciones a introducirle al modelo de Berlyand para las condiciones climáticas de Cuba (Alvarez, 1993). Para la realización de la cartografía automática de los resultados de la modelación se utilizó el método de interpolación de la Distancia Inversa al Cuadrado (Alvarez y Gutiérrez, 1998) y se calcula una rejilla de concentraciones y/o de valores de la razón de la concentración máxima respecto a la máxima admisible (concentración relativa) utilizando como datos de entrada aquellos datos de salida de un programa confeccionado para obtener los valores de la concentración de acuerdo a lo establecido en la norma cubana, los cuales se introducen en el sistema SURFER 6.02 para WINDOWS.

El objetivo de este estudio ha sido establecer el impacto de las emisiones de la CTE “M. Gómez” sobre zonas circundantes debido a la quema de crudo nacional mediante la modelación de la difusión y el transporte de contaminantes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los datos primarios fueron obtenidos a partir de mediciones reales efectuadas en chimeneas mediante un programa de aforo y caracterización de emisiones realizado en esta industria según metodologías establecidas (Yoest & Fitzgerald, 1996) (Buonicore & Davis, 1992), lo cual da mayor validez a los pronósticos de contaminación obtenidos (Díaz, 1997).

Las principales fuentes que sirvieron de base al diagnóstico de la contaminación del aire fueron las Unidades 1, 2, 5 y 6 de la CTE “Máximo Gómez”, ubicada en el Mariel, cuyas expulsiones se realizan por dos chimeneas, cuyas características tecnológicas se muestran en la Tabla 1, y que consideraron ubicadas ambas en las coordenadas X = 320 500 E, Y = 355 000 N, de acuerdo con la Proyección Cónica Conforme de Lambert, en el Sistema Cuba Norte.

Los valores admisibles de las concentraciones en 20 minutos y 24 horas son los adoptados en Cuba según la norma cubana NC 93-02-202, que en nuestro caso corresponden a los contaminantes estudiados.

Se realizó la modelación correspondiente a cada una de las chimeneas que se incluyen en el presente estudio, para cada uno de los contaminantes ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y partículas), resultando que tanto los valores de concentración como las correspondientes razones respecto al valor admisible por la norma cubana, resultaron muy bajos con la excepción del  $\text{SO}_2$  y en alguna medida las partículas a partir de la Unidad # 2, no constituyendo un aporte significativo ni considerando las mismas en su forma aditiva, motivo por el cual se determinó realizar un análisis exhaustivo del  $\text{SO}_2$  que tiene peso en la calidad del aire en la zona objeto de estudio.

La información meteorológica básica fue obtenida del Resumen Climático de Cuba (1991) confeccionado con los datos del Instituto de Meteorología del CITMA, utilizándose los datos de temperatura, cuyas series van desde 1967 hasta 1988, y los datos de viento superficial, cuyas series corresponden al período 1984 – 1988, de la Estación Meteorológica 318, Bahía Honda, ubicada en la provincia de Pinar del Río, en los  $22^\circ 55'$  N y los  $83^\circ 10'$  N, a una altura de 3,07 m snmm, por ser ésta la estación más cercana, y con condiciones físico geográficas similares a las de la zona objeto de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestra el consumo de los distintos tipos de combustibles empleados en la CTE "Máximo Gómez" desde 1991 hasta 1999, y como se puede observar, a pesar de mantenerse, aproximadamente, el consumo anual, los valores de crudo aumentaron desde 2077 hasta 2555 *ton/mes*, al tiempo que el consumo de fuel disminuyó desde 599 hasta 83,8 *ton/mes*, y si consideramos que los contenidos de azufre casi se duplican en el crudo con relación al fuel, es de esperar que las emisiones, especialmente en lo que se refiere al SO<sub>2</sub>, se hayan incrementado considerablemente desde 1991 hasta 1999, que fue el año en que se realizó la toma de muestras en las chimeneas.

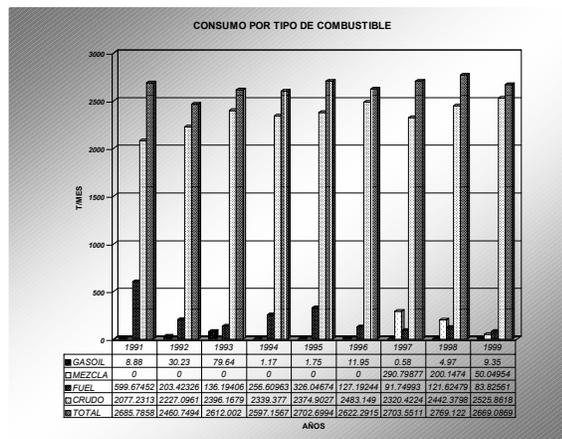


Figura I. Consumo de los distintos tipos de combustibles empleados en la CTE "Máximo Gómez" desde 1991 hasta 1999

La frecuencia de ocurrencia del viento se agrupan alrededor del rumbo Este, con valores que superan el 24% en los meses de mayo, y de octubre a noviembre, siendo bajas las frecuencias desde el SSE hasta el NNW, con valores inferiores al 12%, con un predominio entre 4 y 8 %.

Para la rapidez del viento (*km/h*) por meses y por rumbos, se observó que predominan valores de rapidez bajos (4 - 12 *km/h*), presentándose valores superiores durante el período enero – abril para los rumbos del 4to. Cuadrante (W – N), que pueden llegar a alcanzar valores superiores a los 32 *km/h*, pero la frecuencia de ocurrencia está entre 4 y 8 % solamente. Estos valores de la rapidez de los vientos inferiores a 8 *km/h* pueden dar lugar a que las expulsiones de las chimeneas se concentren en zonas cercanas a la industria.

### Modelación de la razón C/CMA en 24 horas para los diferentes meses.

La ciudad del Mariel se encuentra ubicada aproximadamente (Sistema de Coordenadas Cuba Norte, Proyección Cónica Conforme de Lambert) en los 352 000 N y 320 000 E en la dirección SSW y a menos de 5 kilómetros de la CTE "Máximo Gómez", siendo la

frecuencia media anual de los vientos procedentes del NNE del 8,8 % y velocidad media de 13,8 km/h (3,8 m/s), aunque la frecuencia total de vientos con rumbos del 1<sup>er</sup> Octante (N, NNE, NE) llega a alcanzar el 35,2% con velocidad media anual de 13,1 km/h (3,6 m/s). Estos rumbos son los que tendrán una mayor incidencia en el transporte de contaminantes gaseosos y partículas desde la CTE hacia Mariel, y dada su cercanía debe ser la localidad más afectada por esta razón.

Al W las poblaciones más importantes son Quebra Hacha y Cabañas separadas aproximadamente de la CTE a 9 y 18 km respectivamente, al S Artemisa (22 km), al SW la más importante es Cayajabos a una distancia de 22 km, al ESE Bauta a 19-20 km, al SE San Antonio de los Baños (19 – 20 km), y al SSE Guanajay (12 km), hasta las cuales pueden llegar gases y partículas provenientes de la CTE.

Cuando se analizaron los mapas de la zona que incluyen las razones de concentración respecto a los valores admisibles de los distintos meses para 24 horas se pudo apreciar que al Oeste y Sur se mantienen todos los meses, sin casi ninguna variación, los mismos rangos en C/CMA, de forma que en Cabañas y Cayajabos los valores se encuentran siempre entre 0,5 y 0,8 veces el admisible, en Quebra Hacha se alcanzan valores casi tan altos como en Mariel, estando durante todo el año entre 1.0 y 2.0 el admisible; en Artemisa el rango de valores es más amplio, encontrándose entre 0,2 y 0,8 veces los valores admisibles (Tabla I).

En Mariel se alcanzan valores extremadamente altos, los cuales se encuentran, durante todos los meses en el rango desde 1,0 hasta 3,5 C/CMA, llegándose a alcanzar, en zonas muy cercanas a esta ciudad, en el mes de abril, valores que superan los 3,5 con respecto al valor máximo admisible. Hacia el Oeste la situación varía, pues no se mantienen las mismas condiciones a lo largo de todo el año, existiendo variaciones.

En Guanajay se determina que durante los meses de enero hasta mayo y en noviembre, el valor de la razón C/CMA está en el rango desde 1,0 hasta 2,0 disminuyendo en junio a septiembre donde el rango oscila entre 0,2 y 0,8 C/CMA, continúa la disminución en octubre con valores entre 0,1 y 0,5 y en el mes de diciembre el rango oscila entre 0,5 y 1,0 veces el admisible. En la Tabla 3 se muestra el comportamiento por meses de la relación C/CMA para las poblaciones analizadas, donde los meses están numerados del 1 al 12, mientras que los poblados se corresponden con la siguiente lista: I Cabañas; II Cayajabos; III Quebra Hacha; IV Artemisa; V Mariel; VI Guanajay; VII San Antonio de los Baños; VIII Bauta.

### **Resultados de la modelación de la razón C/CMA en 24 horas y 20 minutos para el período anual.**

El resultado de la modelación para 24 horas, considerando los valores medios del viento anual (frecuencia de ocurrencia y rapidez media para cada uno de los rumbos, muestra compatibilidad con los resultados anteriores, alcanzándose valores en las distintas poblaciones analizadas que oscilan entre 0,5 y 3,5 C/CMA, siendo las poblaciones con situaciones más comprometidas Mariel (1,0 a 3,5 C/CMA), Quebra Hacha y Guanajay con valores respecto al admisible entre 1,0 y 2,0, mientras que en

Cabañas, Cayajabos, Artemisa, San Antonio de los Baños y Bauta se alcanzan valores entre 0,5 y 0,8 veces el admisible (Figura II ).

Tabla I. Rangos de los valores C/CMA por meses para las poblaciones analizadas.

Población	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	MAX.
1	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.5-0.8	1.0-3.5	1.0-2.0	0.5-0.8	0.2-0.8	2.0-3.5
2	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.5-0.8	1.0-3.5	1.0-2.0	0.2-0.5	0.5-0.8	2.0-3.5
3	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.8	2.0-3.5	1.0-2.0	0.5-0.8	0.2-0.5	2.0-3.5
4	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.5-0.8	1.0-2.0	1.0-2.0	0.2-0.5	0.2-0.8	>3.5
5	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.8	1.0-3.5	1.0-2.0	0.2-0.5	0.1-0.2	2.0-3.5
6	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.8	1.0-3.5	0.2-0.8	0.5-0.8	0.5-0.8	2.0-3.5
7	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.8	1.0-2.0	0.2-0.5	0.2-0.5	0.2-0.8	2.0-3.5
8	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.5	0.2-0.5	0.2-0.8	2.0-3.5
9	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.5	1.0-2.0	0.2-0.8	0.1-0.2	0.1-0.5	2.0-3.5
10	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.8	1.0-3.5	0.1-0.5	0.5-0.8	0.2-0.5	2.0-3.5
11	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.8	2.0-3.5	1.0-2.0	0.5-0.8	0.2-0.5	2.0-3.5
12	0.5-0.8	0.5-0.8	1.0-2.0	0.2-0.5	2.0-3.5	0.5-0.8	0.5-0.8	0.1-0.2	2.0-3.5

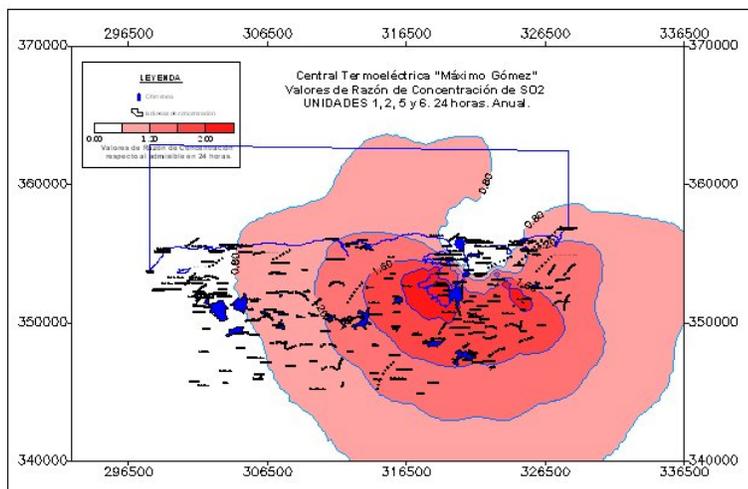


Figura II. Central Termoeléctrica "Máximo Gómez". Valores de Razón de Concentración de SO2 UNIDADES 1, 2, 5 y 6. 24 horas. Viento Medio Anual.

Al considerar los resultados para 20 minutos y el viento medio se observó que en Mariel se obtienen valores de C/CMA entre 0,5 y 1,0; en Quebra Hacha entre 0,5 y 0,8; en Guanajay entre 0,2 y 0,8, mientras en Cabañas, Cayajabos, Artemisa, San Antonio de los Baños y Bauta los valores oscilan entre 0,2 y 0,5 veces el admisible. Para el período anual se incluyen en los resultados de la modelación para 24 horas y 20 minutos (Figura III) utilizando el viento predominante que en este caso es del Este con 11,2 km/h (3,1 m/s).

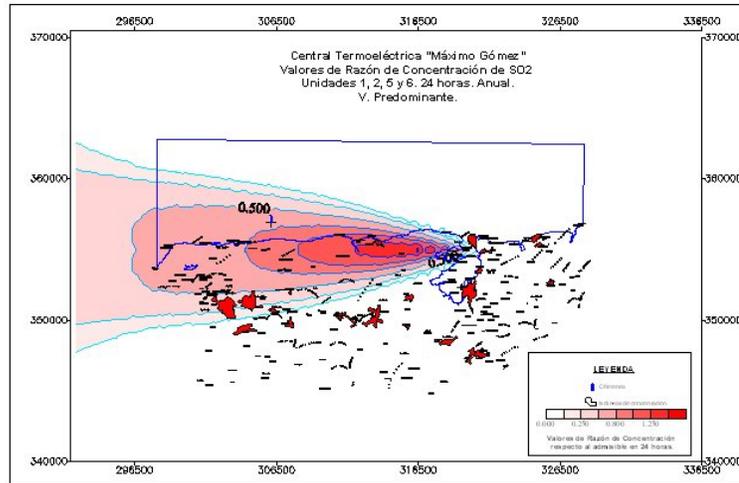


Figura III. Central Termoeléctrica "Máximo Gómez". Valores de Razón de Concentración de SO<sub>2</sub> (20 min) UNIDADES 1, 2, 5 y 6. Viento Predominante Anual.

En los mapas se pudo observar que de las poblaciones analizadas solamente se obtienen valores de C/CMA en Cabañas, con un rango entre 0,1 y 0,5 veces el admisible para 24 horas, mientras que para 20 minutos el rango oscila entre 0 y 0,2.

Los valores máximos aparecen al NNE de Mariel, alcanzando valores en los rangos entre 1,0 y 2,0 para 24 horas (Figura IV) y entre 0,5 y 0,8 en 20 minutos, en una zona llamada Vista del Mar, a menos de 5 km al Este de la CTE.

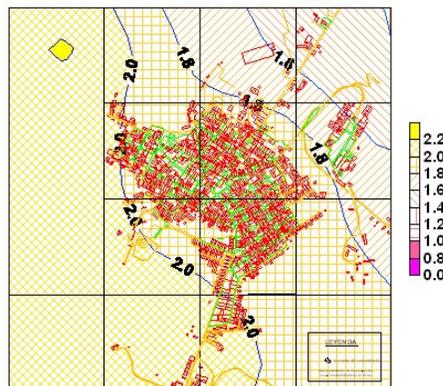


Figura IV. Central Termoeléctrica "Máximo Gómez". Valores de Razón de Concentración de SO<sub>2</sub> UNIDADES 1, 2, 5 y 6. 24 horas. Viento Medio Anual.

## CONCLUSIONES

Las emisiones de las Unidades 1, 2, 5 y 6 de la CTE "Máximo Gómez" del Mariel afectan a la población y a la economía en un radio de 25 km, con valores de la razón de la concentración sobre la concentración máxima admisible (C/CMA) que oscilan en el rango entre 0,5 y 3,5.

Las poblaciones más afectadas son: Mariel, que durante todo el año recibe, para el período de 24 horas, valores de contaminación por SO<sub>2</sub> que están en el orden de entre 1,0 y 3,5 veces el valor máximo admisible; Quebra Hacha con valores entre 1,0 y 2,0 y Guanajay, que durante seis meses en el año recibe valores similares a los que se alcanzan en Quebra Hacha.

Los valores de contaminación son ligeramente menores hacia el Este de la CTE, lo cual es resultado de las características del flujo de viento en la zona, donde el predominio es precisamente de vientos con componente Este casi todo el año.

En lo que respecta a las emisiones instantáneas (20 minutos), continúan siendo las mismas poblaciones las más afectadas, con valores que se encuentran en el rango entre 0,5 y 1,0 veces el admisible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, O.: Diagnóstico y pronóstico de la contaminación del aire por SO<sub>2</sub> y SH<sub>2</sub> en Moa. Modelación con consideraciones de terreno plano. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas, Autorreferat. INSMET, La Habana, 1993.
- Alvarez, O. y T. Gutiérrez: Determinación y Cartografía automatizada de los valores de concentración de las fuentes industriales continuas (inédito). 1998.
- Buonicore, A.J. y W.T. Davis.: Air Pollution Engineering Manual. AWWA, Washington D.C., 1992.
- Díaz, M.: Estudio integral para el control de la contaminación atmosférica por la industria química en Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Químicas. CEINPET, La Habana, 1997.
- NC 93 -02- 202 Requisitos higiénicos - sanitarios, concentración máxima expulsión y zonas de protección sanitaria, CEN, 1987.
- Slater, D.: Meeting the challenges of Integrated Pollution Control. Industry and Environment 19 (1): 19-22, 1996.
- UNEP. Industry compliance for sustained environmental protection. Industry and Environment 19 (1): 3-33, 1996.
- Yoest, H. & R.W.: Fitzgerald. Stationary Source Testing: The Fundamentals. Chemical Engineering Progress 92 (2): 36 - 41, 1996.