

# COMPARACION DE LOS MODELOS DE DISPERSION DE BERLIAND Y SCREEN PARA UNA FUENTE PUNTUAL CONTINUA.

Oswaldo Cuesta Santos, Arnaldo Collazo Aranda, Manuel Govin Benjamin y Antonio Wallo Vázquez

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, Cuba.  
Email: osvaldo\_cuesta@yahoo.com  
Delegación Provincial del CITMA de Ciudad de La Habana

**RESUMEN:** El estudio de la dispersión atmosférica es un método de control que tiene numerosas ventajas, especialmente para procesos industriales, los cuales pueden ser variados tomando en cuenta periodos favorables cuando las condiciones de dispersión son tan buenas que los contaminantes puedan distribuirse o tan desfavorables que se puedan conocer las concentraciones máximas que puedan afectar la zona en estudio. Se comparan el modelo establecido por la Norma Cubana de Calidad del Aire (NC 39: 1999), que muestra las condiciones más desfavorables para la dispersión de los contaminantes y el modelo de tipo gaussiano SCREEN, que permite conocer de forma rápida la dispersión de los contaminantes.

Estos resultados se muestran utilizando un sistema de información geográfico a través de mapas que reflejan el comportamiento de la dispersión de los contaminantes en la zona de afectación de la refinería Níco López. Se comparan los resultados obtenidos en cada uno de los modelos y se exponen las ventajas de cada método y se mencionan las medidas de mitigación a realizar en la zona para mejorar la calidad del aire.

## 1. Introducción.

La degradación del medio ambiente debida a la actitud adoptada por los humanos hacia la naturaleza durante el último siglo, en el sentido de que en su actuación tenía licencia para explotar los recursos naturales con una total indiferencia ante todo lo que no repercutiera en beneficio directo del hombre, ha dado lugar a uno de los problemas capitales que la humanidad tiene planteados en la actualidad, la contaminación.

La actividad contaminante introduce ciertos desequilibrios en los ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo. etc.) lo que puede llegar a provocar reacciones de consecuencias impredecibles para la biosfera y por tanto , para el planeta, amenazando un desarrollo sostenible que pueda garantizar la supervivencia en condiciones adecuadas a las generaciones futuras.

La exigencia de un aire limpio y puro proviene en principio del público en general ante su creciente preocupación por los problemas de contaminación atmosférica originados como consecuencia de la evolución de la tecnología moderna y la previsión de que las cada vez mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera alteren el equilibrio natural existente entre los distintos ecosistemas, afecten la salud de los humanos y los bienes materiales o incluso, provoquen cambios significativos en el clima.

En los últimos años la comunidad científica y la opinión pública en general están brindando gran atención a los problemas vinculados con la protección del medio ambiente atmosférico. Actualmente los problemas relacionados con el calentamiento global, los gases de efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono, la deposición ácida de contaminantes desde la atmósfera y los daños que producen sobre la salud humana, los diversos ecosistemas acuáticos y terrestres provocan que numerosos recursos se inviertan en control de las emisiones de los contaminantes a la atmósfera.

Los trabajos de diagnóstico de la contaminación atmosférica revisten una importancia primordial para la selección e instrumentación de medidas que permitan una adecuada armonía entre las diversas actividades que se ejecutan en un territorio de forma tal que no se perjudique el medio ambiente y sean compatibles las diferentes actividades socioeconómicas.

La contaminación atmosférica a escala local ocurre usualmente por efecto de una o más fuentes emisoras ubicadas en el entorno de esa localidad. Los ejemplos típicos son las áreas céntricas de las ciudades, en las cuales se superponen los efectos de las emisiones de numerosas fuentes fijas de la actividad comercial y las emisiones provocadas por los vehículos. En nuestra área de estudio ocurre similar comportamiento aunque las emisiones originadas por las fuentes fijas de las industrias provocan una elevada afectación, específicamente la Refinería “Nico López” tiene un peso fundamental.

Debido a la problemática expuesta, el presente trabajo tiene como objetivo principal la comparación de dos modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos. Se utiliza el modelo (Berliand) establecido por la Norma Cubana de Calidad del Aire (NC 39: 1999), que muestra las condiciones más desfavorables para la dispersión de los contaminantes y el modelo de tipo gaussiano SCREEN, que permite conocer de forma rápida la dispersión de los contaminantes. A su vez se conocerá la distribución de los contaminantes en el área de estudio y las propuestas para la mitigación de las emisiones.

## **2. Materiales y Métodos.**

Para el cálculo de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera existen tres sistemas teóricos fundamentales, a los cuales se han brindado múltiples soluciones numéricas para facilitar su aplicación práctica en estudios del impacto ambiental provocado por emisiones desde fuentes estacionarias. Estos sistemas son identificados en sus formas generales como: Modelo de la Similitud, (Monin, 1959); Modelo de Dispersión Gaussiano (Taylor, 1921). Y Modelo de Transporte–Gradiente o Modelo K, cada uno de los cuales presentan características que definen el principio de su campo de aplicación.

El Modelo de Transporte gradiente se basa en la hipótesis que la longitud de la mezcla y los flujos turbulentos de concentración y contaminante se asumen proporcionales al gradiente medio de la concentración. La utilización de este modelo requiere una rigurosa evaluación de la turbulencia atmosférica en la capa superficial aspecto que ha sido abordado en Cuba por López, 1984.

A partir de la fórmula básica de Berliand, 1975, se desarrollaron en la antigua URSS metodologías de cálculos de dispersión de contaminantes que encontraron amplia aceptación y aplicación en los países de Europa del Este y en Cuba, donde se aplica a través de la NC 93-02-202, 1987 (actual NC 39: 1999), para ajustar el modelo a las condiciones tropicales del país. Alvarez R. 1988 y Alvarez O. 1991 han realizado algunas modificaciones al modelo teórico de Berliand atendiendo a

nuestras condiciones específicas de régimen de viento y a su adecuación a zonas tropicales para pronósticos de contaminación atmosférica a largo plazo.

El modelo SCREEN puede realizar todos los cálculos de corto plazo para una sola fuente, el modelo puede incorporar los efectos de terreno elevado sencillo en concentraciones máximas y puede calcular las concentraciones promedio de 24 horas ocasionadas por la impactación del penacho en terreno complejo usando el procedimiento de tamizado de 24 horas del Modelo Valley. Las fuentes de área simples pueden modelarse con SCREEN usando un método de integración numérica.

Además, SCREEN examina un amplio rango de condiciones meteorológicas, incluyendo todas las clases de estabilidad y velocidades del viento para encontrar impactos máximos.

El tiempo de permanencia del  $\text{SO}_2$  y del  $\text{H}_2\text{S}$  en la atmósfera es relativamente pequeño, debido a múltiples reacciones catalíticas, fotoquímicas y otras que producen su oxidación y transformación en sulfatos, principalmente en regiones industriales en presencia de amoníaco (en estos lugares el tiempo de permanencia de estos elementos puede alcanzar solo algunas horas). En el aire más limpio el  $\text{SO}_2$  puede alcanzar un tiempo de vida hasta dos o tres semanas; las concentraciones máximas admisibles (Cma) para muestras instantáneas (20 minutos) para el  $\text{SO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{S}$  son de 500 y 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente (C.E.N., 1987, NC 39: 1999).

Entre las fuentes antropogénicas, la industria química y de fertilizantes son las principales productoras de amoníaco, mientras que el transporte vehicular y la industria energética lo son del óxido nítrico; estos dos compuestos de nitrógeno son fuentes importantes de  $\text{NO}_2$ , ya que ambos son transformados por múltiples reacciones en la atmósfera. El  $\text{NO}$  y el  $\text{NH}_3$  también provocan efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente atmosférico cuando sus concentraciones están por encima del nivel natural. Las Cma para estos contaminantes son de 600 y 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, mientras para el  $\text{NO}_2$  es de 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en muestras instantáneas de 20 minutos (C.E.N., 1987; NC 39: 1999).

Por otro lado el Monóxido de Carbono (CO) es el contaminante más estudiado vinculado al tráfico automotor en las ciudades, aunque las fuentes industriales potentes como la refinación de petróleo y las centrales termoeléctricas también son grandes emisoras a la atmósfera de este contaminante.

La Organización Mundial de la salud (W.H.O., 1998) en sus valores guías sobre el monóxido de carbono aconseja que el valor de 100 mg/m<sup>3</sup> no debe ser superado durante 15 minutos. La Norma Cubana 39: 1999 establece valores instantáneos para la concentración máxima admisible del monóxido de carbono de 5,0 mg/m<sup>3</sup>, mientras que para promedios de 24 horas la Cma es de 3,0 mg/m<sup>3</sup>.

La norma cubana establece las concentraciones máximas admisibles para el material particulado, en particular para el polvo total en suspensión. Para muestras instantáneas se propone de 150 a 500 µg/m<sup>3</sup> en dependencia del contenido de óxido de silicio (de 8 al 90%). Mientras que para las muestras diarias se establece que la Cma está en el rango de 50 a 150 µg/m<sup>3</sup> con la misma dependencia del contenido de silicio. En nuestras ciudades por lo general el contenido de silicio es alto, por lo que deben tomarse como referencia los valores más bajos de las Cma.

## MODELO DE LA NORMA CUBANA

El modelo utilizado es el establecido por la Norma Cubana de Calidad del Aire (NC 39: 1999), cuya formulación principal es la siguiente:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad [\text{mg/m}^3]$$

C<sub>m</sub> = Es el valor máximo probable de la concentración de un contaminante expulsado a la atmósfera.

A = Constante de estratificación térmica atmosférica que define las condiciones de difusión de los contaminantes del aire.

M = Flujo máximo de la sustancia contaminante expulsada al aire.

F = Coeficiente de precipitación de la sustancia contaminante en el aire.

m y n = Coeficientes de condiciones de emisión a la atmósfera de la mezcla de gases y aire.

H = Altura de la chimenea sobre el nivel del suelo.

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre la mezcla de los gases y aire.

V = Caudal total de la mezcla de gases y aire.

La concentración máxima como resultado de esta ecuación es originada bajo condiciones meteorológicas desfavorables y para condiciones de terreno uniforme y planos. Se utilizó la rosa de los vientos de la estación Casablanca que es representativa de la zona de estudio para representar la dispersión de los contaminantes por cada rumbo de viento.

### MODELO SCREEN 3

Este modelo está basado en un modelo de pluma Gausseano el cual relaciona factores de fuente y factores meteorológicos para estimar la concentración de contaminantes de fuentes continuas.

La ecuación fundamental para determinar los niveles de concentración es:

$$X = Q / ( 2\pi U_S \sigma_Y \sigma_Z ) \left\{ \exp \left[ -1/2 \left( (Z_r - h_e) / \sigma_Z \right)^2 \right] + \exp \left[ -1/2 \left( (Z_r + h_e) / \sigma_Z \right)^2 \right] + \sum_{N=1}^K \left[ \exp \left[ -1/2 \left( (Z_r - h_e - 2NZ_i) / \sigma_Z \right)^2 \right] + \exp \left[ -1/2 \left( (Z_r + h_e - 2NZ_i) / \sigma_Z \right)^2 \right] + \exp \left[ -1/2 \left( (Z_r - h_e + 2NZ_i) / \sigma_Z \right)^2 \right] + \exp \left[ -1/2 \left( (Z_r + h_e + 2NZ_i) / \sigma_Z \right)^2 \right] \right] \right\}$$

Donde :

X: Concentración (g/m<sup>3</sup>)

Q: Velocidad de Emisión (m/s)

$\pi$ : 3.141593

U<sub>S</sub>: Velocidad del Viento (m/s)

$\sigma_Y$ : Coeficiente de Dispersión Lateral (m)

$\sigma_z$ : Coeficiente de Dispersión Vertical (m)

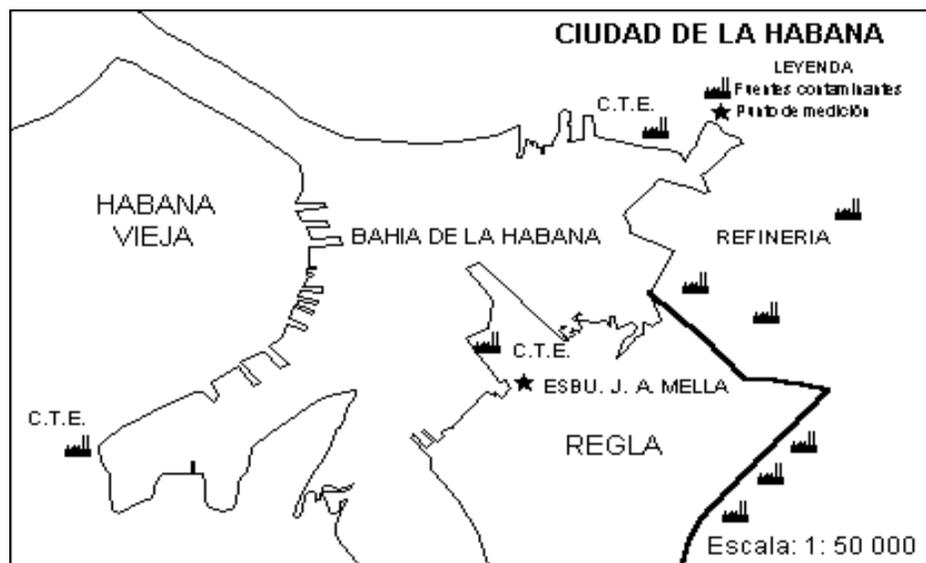
$Z_r$ : Altura del receptor (m)

$h_e$ : Altura de la Pluma (m)

$Z_i$ : Altura de Mezcla

K: Límite de sumatoria, generalmente  $\leq 4$

La meteorología completa (Full Meteorology) utiliza las condiciones meteorológicas que producen la peor dispersión de contaminantes. Mientras que otras dos opciones fueron puestas en SCREEN para facilitar pruebas específicas (EPA, 1995).



**Figura 2.1. Esquema de las fuentes contaminantes**

En la Figura 2.1 se observa el área de estudio la cual abarca en detalle el municipio de Regla donde se encuentra ubicada la Refinería “Nico López”, también se puede apreciar las principales fuentes contaminantes.

Se utilizó el modelo SCREEN y el modelo de dispersión de contaminantes que está contenido en el software **DISPER** Versión 1.0 (Collazo y López, 1994), que responde a la Norma Cubana y que ha sido utilizado con éxito en otros trabajos de evaluación de la calidad del aire. Para la representación del cálculo de la dispersión de los

contaminantes a través de mapas se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), SPRING (INPE, 1998).

### 3. Resultados de la modelación.

En el cálculo de las concentraciones de los compuestos gaseosos principales como son: el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO), así como las partículas totales suspendidas (PTS) se obtuvieron los siguientes resultados a partir de los datos tecnológicos de las fuentes emisoras y del monitoreo realizado para determinar las emisiones en cada una de las fuentes (Cuesta, O. et al., 2000) de la Refinería “Nico López” agrupadas en una fuente área sumaria a partir de las emisiones de 9 fuentes estacionarias.

En la Tabla 3.1 se muestran las Concentraciones Máximas estimadas para cada compuesto estudiado según los valores de emisiones monitoreados de forma real cuando el proceso productivo se encontraba al 100 % de su capacidad. Según los valores hallados encontramos que el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno son los compuestos cuyas concentraciones máximas estimadas superan las concentraciones máximas admisibles de estas sustancias establecidas por la Norma Cubana para muestras instantáneas (plazos de 20 minutos) siendo superiores para el primer caso 5.5 veces y para el dióxido de nitrógeno de 11.4 veces. Por su parte las restantes sustancias contaminantes los valores máximos hallados resultan inferiores al valor máximo admisible establecido.

**Tabla 3.1 Valores de Concentración Máxima estimados según el modelo DISPER en la zona de la Refinería “Nico López”**

Contaminante	C <sub>ma</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración Máxima estimada (mg/m <sup>3</sup> ) (100%)
SO <sub>2</sub>	0.5	2.73
NO <sub>2</sub>	0.085	0.97
PTS	0.5	0.17
CO	5.0	0.89
Distancia Máxima (m)	-	667
Velocidad Peligrosa (m/s)	-	3.4

Los datos de entrada para la ejecución del Modelo SCREEN3 se relacionan a continuación:

EMISIÓN DEL CONTAMINANTE (SO<sub>2</sub>): 457.83; (NO<sub>2</sub>): 162.04; CO): 149.8; (PST): 27.64

ALTURA DE LA CHIMENEA (M): 45.2

DIÁMETRO INTERIOR DE LA CHIMENEA (M): 1.4

VELOCIDAD DE SALIDA DE LA MEZCLA GASEOSA (M): 9.2

TEMPERATURA DE LA EMISIÓN (°K): 768.1

TEMPERATURA DEL AIRE AMBIENTE (°K): 304

**Tabla 3.2 Valores estimados de concentraciones del SO<sub>2</sub> según las diversas variantes del Modelo SCREEN en la zona de la Refinería “Nico López”**

Opción utilizando el Modelo SCREEN3	Categoría Estabilidad	Velocidad viento (m/s)	Concentración máxima (µg/m <sup>3</sup> )	Distancia (m)
1- Meteorología Completa	6	1.0	2919	1606
2- Categoría de Estabilidad	1	3.0	2049	295
2- Categoría de Estabilidad	4	3.5	2112	502
2- Categoría de Estabilidad	6	1.0	2919	1606
3- Categoría y Veloc. del viento	1	3.0	2049	295
3- Categoría y Veloc. del viento	4	3.0	2090	547
3- Categoría y Veloc. del viento	6	3.0	1502	1220

El usuario tiene tres opciones para utilizar los datos meteorológicos en el modelo SCREEN:

1. La meteorología completa (Full Meteorology) utiliza las condiciones meteorológicas que producen la peor dispersión de contaminantes. Para obtener el peor caso examina un rango de clases de estabilidad y velocidades del viento y selecciona la combinación de velocidad del viento y estabilidad que produce las máximas concentraciones en la superficie. Como salida se dan las máximas concentraciones para cada distancia y el máximo total y su correspondiente distancia.
2. La segunda opción es tomar una sola clase de estabilidad y el programa examina un rango de velocidades solamente para esa clase de estabilidad. Al usar esta opción el usuario puede determinar las concentraciones máximas asociadas con cada uno de los procedimientos individuales.
3. La tercera opción es especificar una sola clase de estabilidad y velocidad del viento.

Estas dos últimas opciones fueron puestas en SCREEN para facilitar las pruebas. Pero pueden ser útiles si ciertas condiciones meteorológicas son importantes. Sin embargo no se recomiendan para los procesos rutinarios del modelo.

Al comparar los resultados de las salidas con ambos modelos para el SO<sub>2</sub> (Tabla 3.1 y 3.2), podemos apreciar que los valores de las concentraciones máximas bajo las peores condiciones de dispersión y transporte son similar, alcanzándose 2,73 y 2,91 mg/m<sup>3</sup>, para la Norma Cubana (NC) y el modelo SCREEN respectivamente, pero la distancia donde ocurre este máximo si tiene una marcada diferencia, pues en a norma cubana ocurre a 667 metros y para el SCREEN a 1606, casi 1000 metros de diferencia en el lugar de ocurrencia de esta concentración maxima.

En el SCREEN pudimos hacer el análisis para una categoría de estabilidad Neutral (4) y una velocidad del viento promedio de 3,5 m/s (similar a la velocidad peligrosa del modelo de la NC) se obtuvo una concentración máxima de 2,1 mg/m<sup>3</sup> a la distancia de 502 m. En este caso la distancia de ocurrencia del máximo es mas parecida. Aunque aquí la concentración difiere de 2,1 a 2,7 respecto a la Norma Cubana.

Para la categoría de moderadamente estable (6) y una velocidad del viento de 3,0 m/s tenemos que el Modelo SCREEN muestra una concentración maxima de 1,5 mg/m<sup>3</sup> a los 1220 m, lo cual al ser comparado con el modelo de la NC refleja una concentración maxima mucho más baja y su ocurrencia a una distancia aproximadamente dos veces más lejana.

**Tabla 3.3 Valores estimados de concentraciones del NO<sub>2</sub> según las diversas variantes del Modelo SCREEN en la zona de la Refinería “Nico López”**

Opción utilizando el Modelo SCREEN3	Categoría Estabilidad	Velocidad viento (m/s)	Concentración máxima (µg/m <sup>3</sup> )	Distancia (m)
1- Meteorología Completa	6	1.0	1035	1606
2- Categoría de Estabilidad	1	3.0	725.2	295
2- Categoría de Estabilidad	4	3.5	747.6	502
2- Categoría de Estabilidad	6	1.0	1033	1606
3- Categoría y Veloc. del viento	1	3.0	725.2	295
3- Categoría y Veloc. del viento	4	3.0	739.8	547
3- Categoría y Veloc. del viento	6	3.0	531.8	1220

Al comparar los resultados de las salidas con ambos modelos para el NO<sub>2</sub> (Tabla 3.1 y 3.3), podemos apreciar que los valores de las concentraciones máximas bajo las peores condiciones de dispersión y transporte son similar, alcanzándose 0.97 y 1.03 mg/m<sup>3</sup>, para la Norma Cubana (NC) y el modelo SCREEN respectivamente, pero la distancia donde ocurre este máximo si tiene una marcada diferencia, pues en a norma cubana ocurre a 667 metros y para el SCREEN a 1606, casi 1000 metros de diferencia en el lugar de ocurrencia de esta concentración maxima, esto ultimo es igual a lo obtenido para el SO<sub>2</sub>.

Para el NO<sub>2</sub>, en el modelo SCREEN, también pudimos hacer el análisis para una categoría de estabilidad Neutral (4) y una velocidad del viento promedio de 3,5 m/s (similar a la velocidad peligrosa del modelo de la NC) se obtuvo una concentración máxima de 0.75 mg/m<sup>3</sup> a la distancia de 502 m. En este caso la distancia de ocurrencia del máximo es mas parecida, como en el caso anterior para el SO<sub>2</sub>. Aunque aquí la concentración difiere de 0.75 a 0.97 respecto a la Norma Cubana. Para la categoría de moderadamente estable (6) y una velocidad del viento de 3,0 m/s tenemos que el Modelo SCREEN muestra una concentración maxima de 0.53 mg/m<sup>3</sup> a los 1220 m, lo cual al ser comparado con el modelo de la NC refleja una concentración maxima mucho más baja y su ocurrencia a una distancia aproximadamente dos veces más lejana. Por lo tanto el comportamiento para ambos gases contaminantes es similar en cada uno de los modelos estudiados.

EN LAS TABLAS 3.4 Y 3.5 SE MUESTRAN EL COMPORTAMIENTO PARA EL CO Y EL PST, ESTOS CONTAMINANTES PRESENTARON CONCENTRACIONES MAXIMAS POR DEBAJO DE LO ESTABLECIDO POR LA NORMA CUBANA Y SU COMPORTAMIENTO EN AMBOS MODELOS ES IDENTICO AL DISCUTIDO PARA EL SO<sub>2</sub> Y NO<sub>2</sub> ANTERIORMENTE.

**Tabla 3.4 Valores estimados de concentraciones del CO según las diversas variantes del Modelo SCREEN en la zona de la Refinería “Ñico López”**

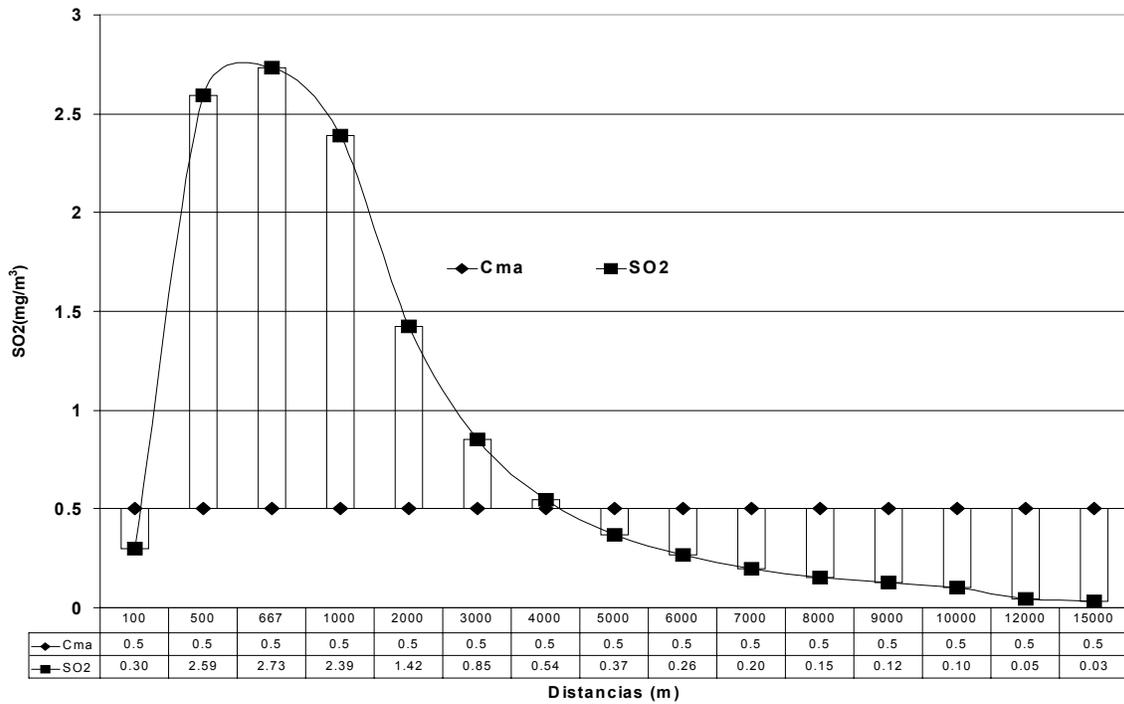
Opción utilizando el Modelo SCREEN3	Categoría Estabilidad	Velocidad viento (m/s)	Concentración máxima ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Distancia (m)
1- Meteorología Completa	6	1.0	955.0	1606
2- Categoría de Estabilidad	1	3.0	670.4	295
2- Categoría de Estabilidad	4	3.5	691.1	502
2- Categoría de Estabilidad	6	1.0	955.0	1606
3- Categoría y Veloc. del viento	1	3.0	670.4	295
3- Categoría y Veloc. del viento	4	3.0	683.9	547
3- Categoría y Veloc. del viento	6	3.0	491.6	1220

**Tabla 3.5 Valores estimados de concentraciones del PST según las diversas variantes del Modelo SCREEN en la zona de la Refinería “Ñico López”**

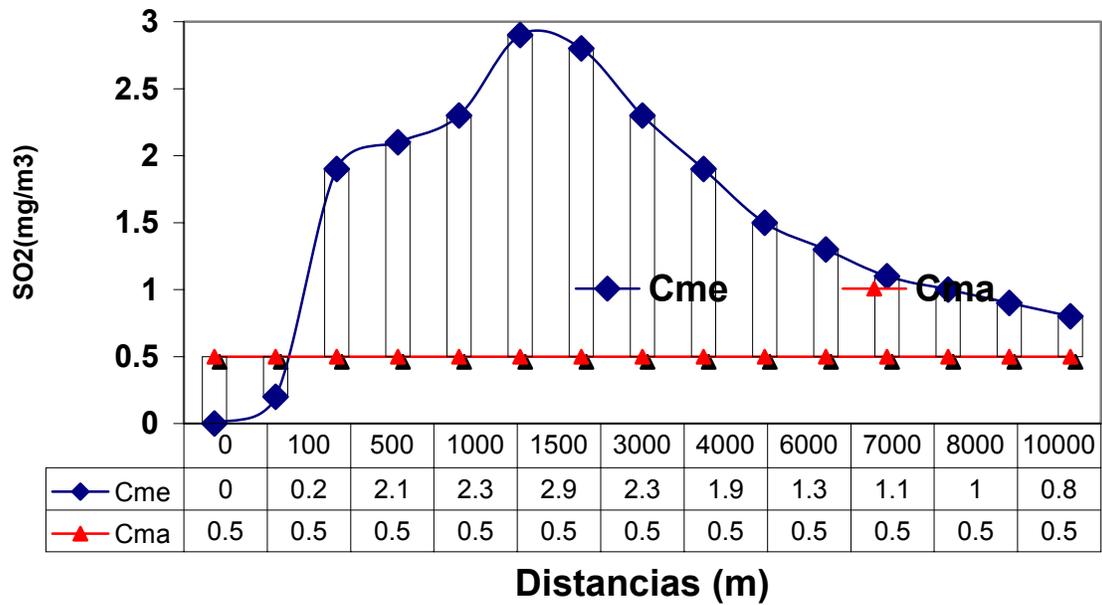
Opción utilizando el Modelo SCREEN3	Categoría Estabilidad	Velocidad viento (m/s)	Concentración máxima ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Distancia (m)
1- Meteorología Completa	6	1.0	176.2	1606
2- Categoría de Estabilidad	1	1.0	123.7	295
2- Categoría de Estabilidad	4	3.5	127.5	502
2- Categoría de Estabilidad	6	1.0	176.2	1606
3- Categoría y Veloc. del viento	1	3.0	123.7	295
3- Categoría y Veloc. del viento	4	3.0	126.2	547
3- Categoría y Veloc. del viento	6	3.0	90.7	1220

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Modelo Norma Cubana y los calculados para el modelo Screen se puede apreciar que los mismos se asemejan en cuanto al valor de las concentraciones máximas estimadas, aunque siempre el Screen da valores mayores cuando calcula la ocurrencia de las peores condiciones de dispersión en el caso “full meteorology”. Como diferencia tenemos que para este caso el valor máximo ocurre a una distancia mucho mayor en el Screen (1606 m), que en el modelo de la NC (667 m)

El modelo SCREEN tiene la ventaja de poder modelar condiciones meteorológicas de interés según las características de la localidad estudiada.

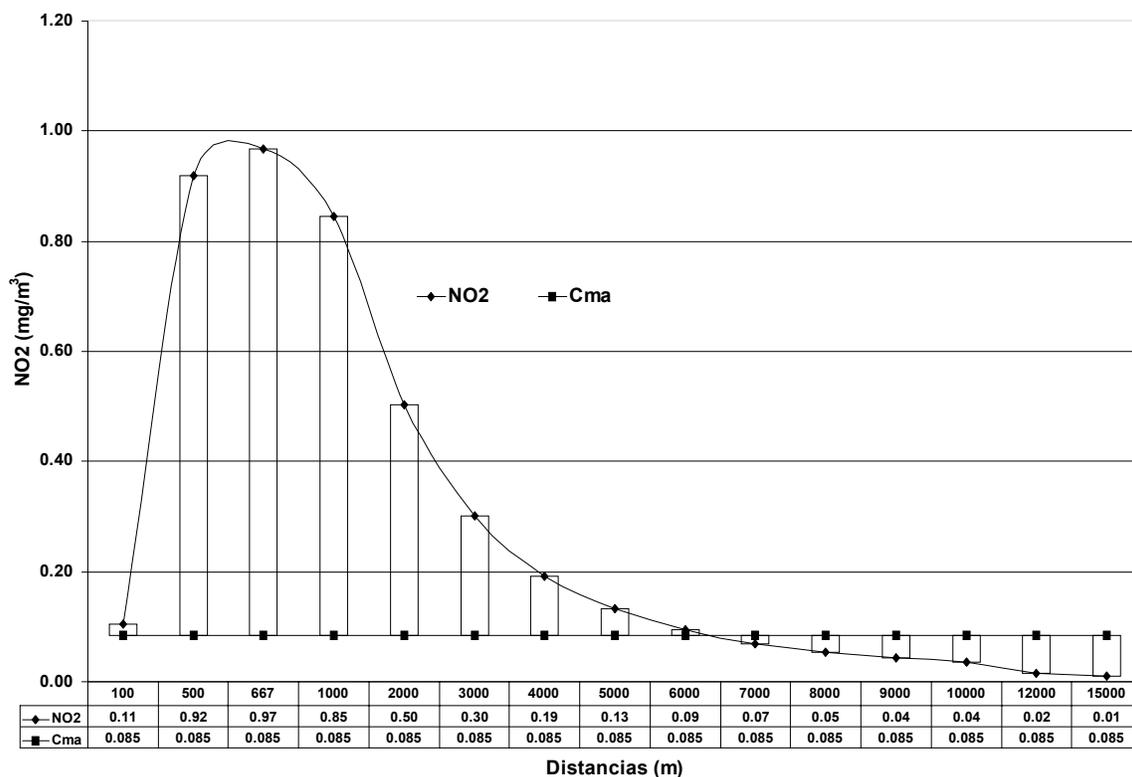


**FIGURA 3.1** Concentración máxima estimada de SO<sub>2</sub> vs. Distancia. Modelo de la Norma Cubana.



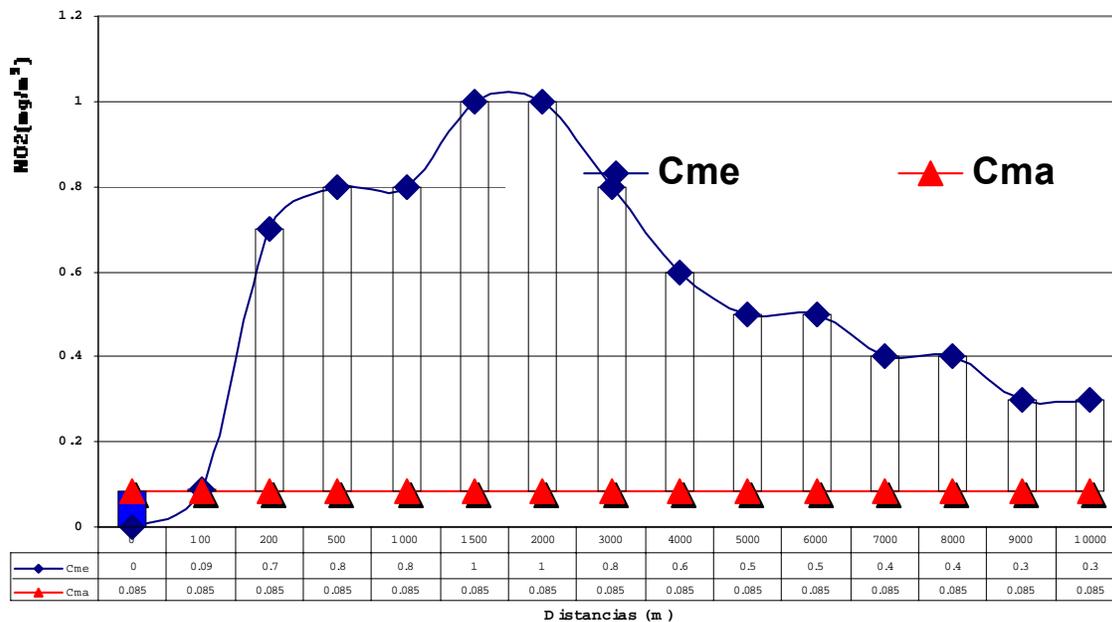
**FIGURA 3.2** Concentración máxima estimada de SO<sub>2</sub> vs. Distancia. Modelo SCREEN3. Meteorología completa.

Al comparar la marcha de las concentraciones en la distancia en ambos modelos observamos que el modelo de la NC (Figura 3.1), las concentraciones del SO<sub>2</sub> sobrepasan la Cma desde los 100 metros hasta los 4.0 kilómetros. Mientras que en el modelo SCREEN (Figura 3.2) se comienza a sobrepasar la Cma a partir de los 100 metros también, pero se mantiene por encima de la misma hasta una distancia superior a los 10km. La magnitud de estas concentraciones están entre 1 y 2 veces por encima de la Cma. apreciándose que en el modelo de la NC, las concentraciones bajan mucho más rápidamente.



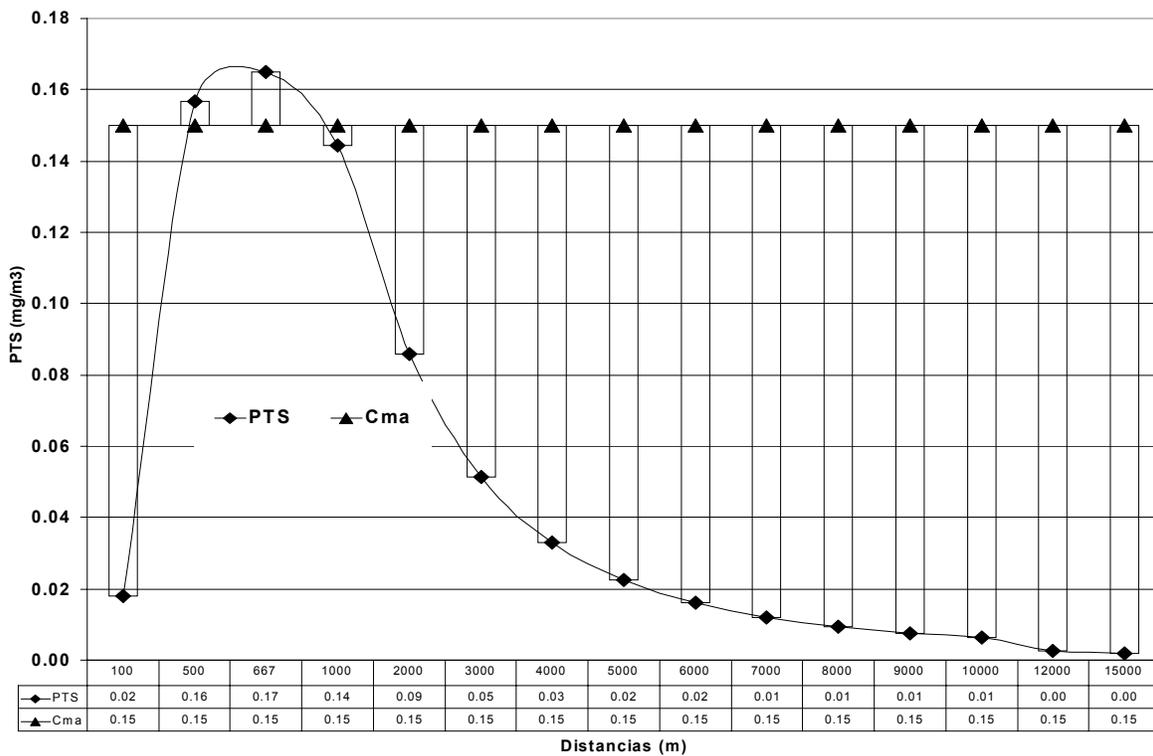
**FIGURA 3.3 Concentración máxima estimada de NO<sub>2</sub> vs. Distancia. Modelo de la Norma Cubana.**

Para el caso del NO<sub>2</sub> en ambos modelos (Figura 3.3 y 3.4) observamos un comportamiento similar al descrito para el SO<sub>2</sub>, pero aquí vemos que la Cma para el NO<sub>2</sub> se mantiene por encima hasta los 6 Km. y para el caso del modelo SCREEN se mantiene por encima de la Cma más allá de los 10 Km.

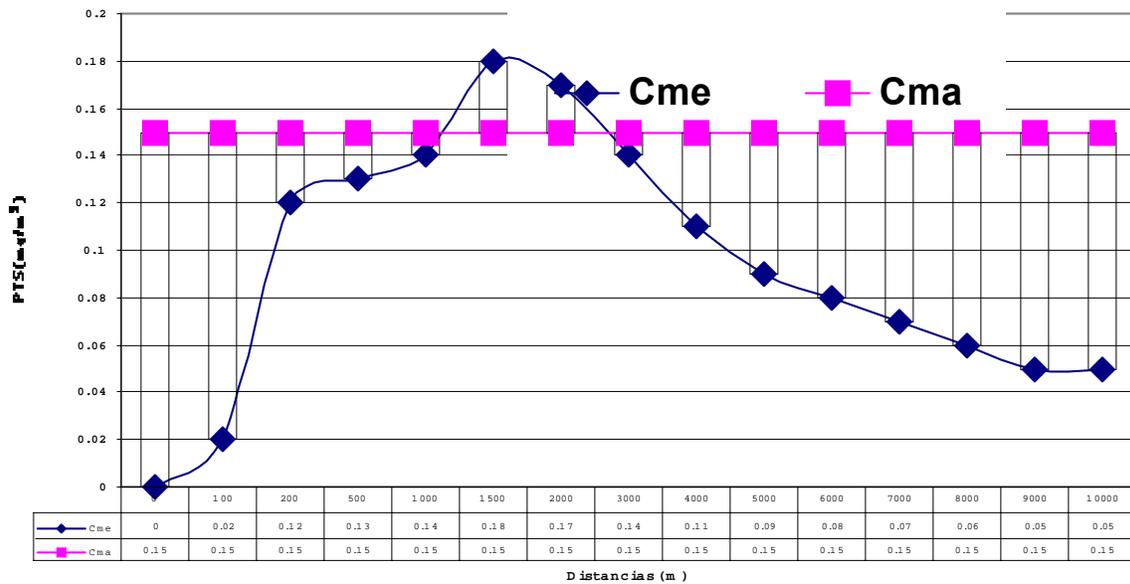


**FIGURA 3.4 Concentración máxima estimada de NO2 vs. Distancia. Modelo SCREEN3. Meteorología completa.**

Para el caso del PTS (Figuras 3.5 y 3.6) tenemos que el modelo de la NC se sobrepasa la Cma entre los 500 y 900 metros, ya al kilómetro la concentración estimada disminuye por debajo de la Cma. Para el caso del modelo SCREEN, tenemos que la Cma se sobrepasa entre los 1500 y 2000 metros y después las concentraciones estimadas disminuyen paulatinamente por debajo de la Cma. Siempre las concentraciones estimadas por el SCREEN disminuyen mas lentamente y se encuentran por encima de las concentraciones calculadas del modelo de la NC.

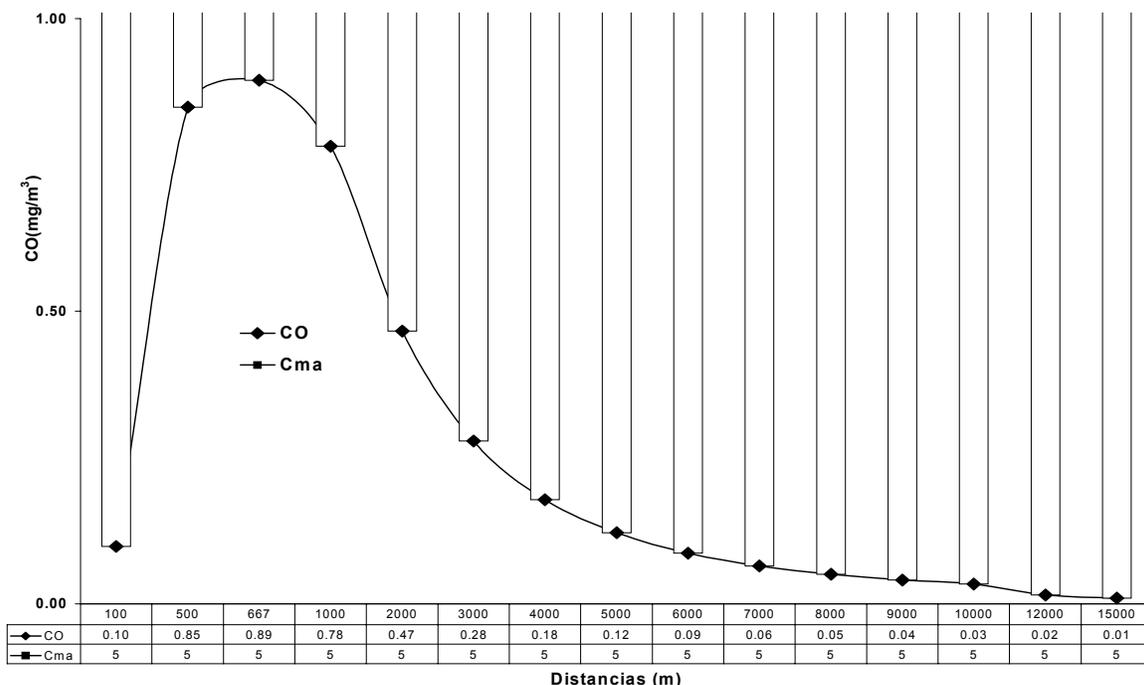


**FIGURA 3.5** Concentración máxima estimada de PST vs. Distancia. Modelo de la Norma Cubana.

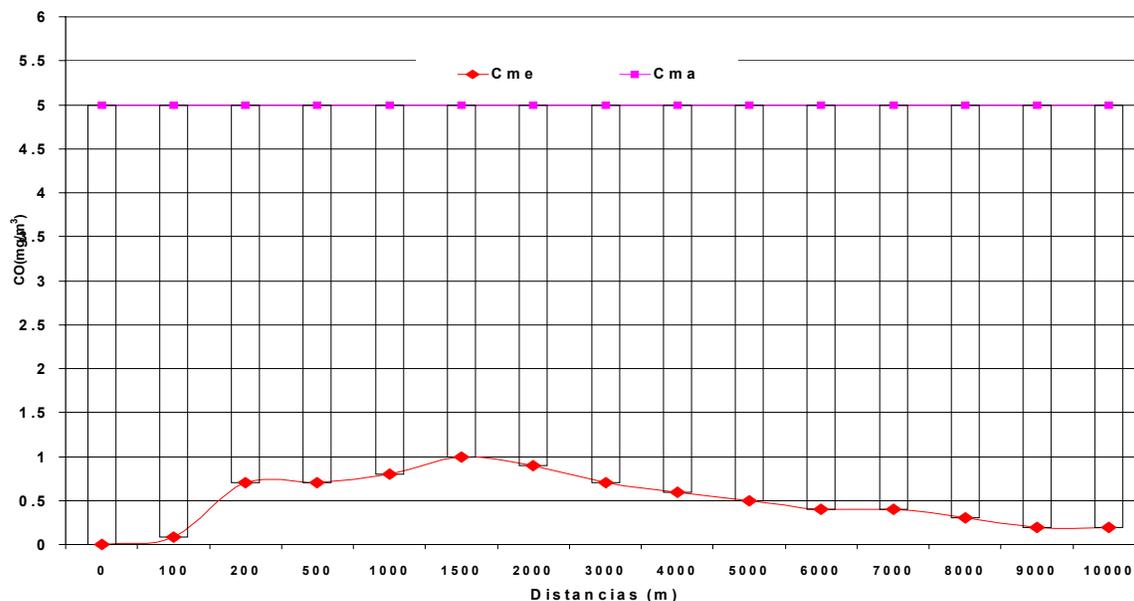


**FIGURA 3.6** Concentración máxima estimada de PTS vs. Distancia. Modelo SCREEN3. Meteorología completa.

Para el caso del Monóxido de carbono (CO) en ambos modelos las concentraciones estimadas están por debajo de la Cma (Figura 3.7 y 3.8) el comportamiento en la distancia es similar al descrito en los contaminantes anteriores.



**FIGURA 3.7 Concentración máxima estimada de CO vs. Distancia. Modelo de la Norma Cubana.**



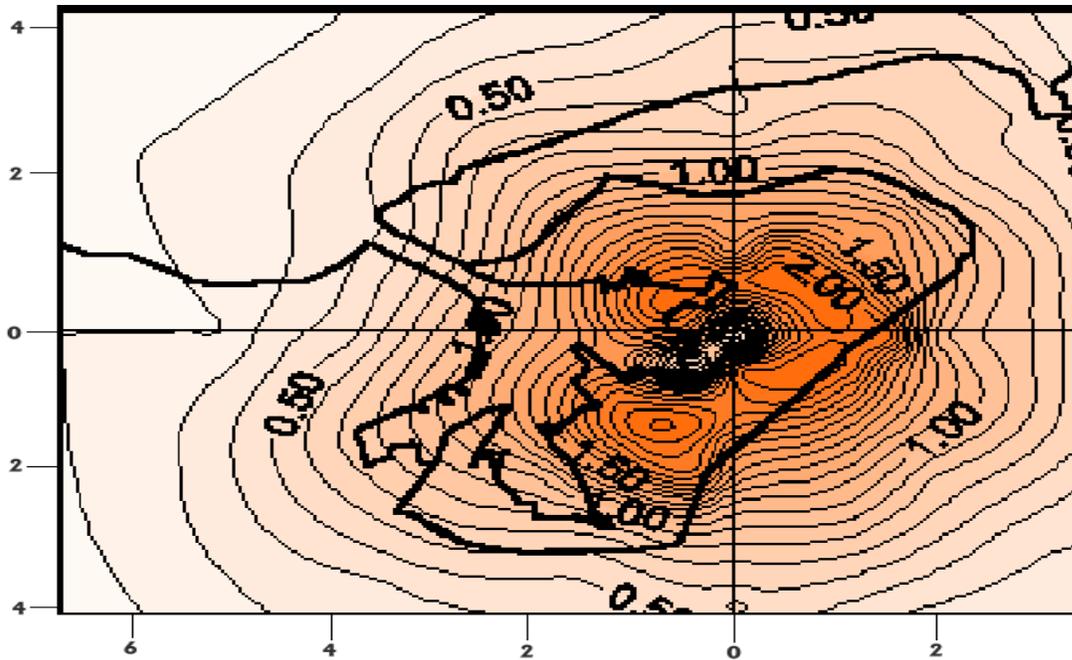
**FIGURA 3.8 Concentración máxima estimada de CO vs. Distancia. Modelo SCREEN3. Meteorología completa.**

Al comparar los resultados obtenidos en cada modelo se observa que:

Los valores de concentración obtenidos (a partir de los 2000 m) para una misma distancia resultan menores en el caso del Modelo Norma Cubana.

Existen diferencias significativas entre las distancias a las cuales ocurren las concentraciones máximas admisibles 667 m en el caso del Modelo Norma Cubana y 1500 m en el Modelo Screen. Este aspecto debe ser considerado a la hora de calcular el área de protección sanitaria, con vistas a evitar afectaciones a la salud como ocurre actualmente con los vecinos que viven en áreas cercanas a la Refinería “Nico López”.

En la Figura 3.9 se muestran las concentraciones para el  $\text{SO}_2$  cuando la Refinería se encuentra al máximo de su ciclo productivo actual. Este contaminante es el que supera en más de 5 veces la concentración máxima admisible y presenta uno de sus máximos sobre la zona urbana de Regla en la cual los valores estimados superan en más de cuatro veces la Norma Cubana de Calidad del Aire. En general, este es uno de los contaminantes que más efectos nocivos deben provocar según los cálculos realizados. Es necesario señalar que la concentración máxima admisible se supera en todo el área de estudio en un diámetro aproximado de más de 4 Km a partir del centro de la Refinería “Nico López”.



**Figura 3.9. Concentraciones de SO<sub>2</sub>**

Los valores encontrados para el CO, el NO<sub>2</sub>, y el polvo total en suspensión (PTS) al 100% aparecen reflejados en las figuras 3.10, 3.11 y 3.12 respectivamente. El NO<sub>2</sub> presenta valores superiores a la concentración máxima admisible en toda el área de estudio, el máximo es de 0,77 mg/m<sup>3</sup>, esto implica que se sobrepasa la norma cubana unas 8 veces y esto ocurre a unos 700 metros del área central de la refinería. Los otros dos compuestos presentan concentraciones aceptables para la calidad del aire en la zona.

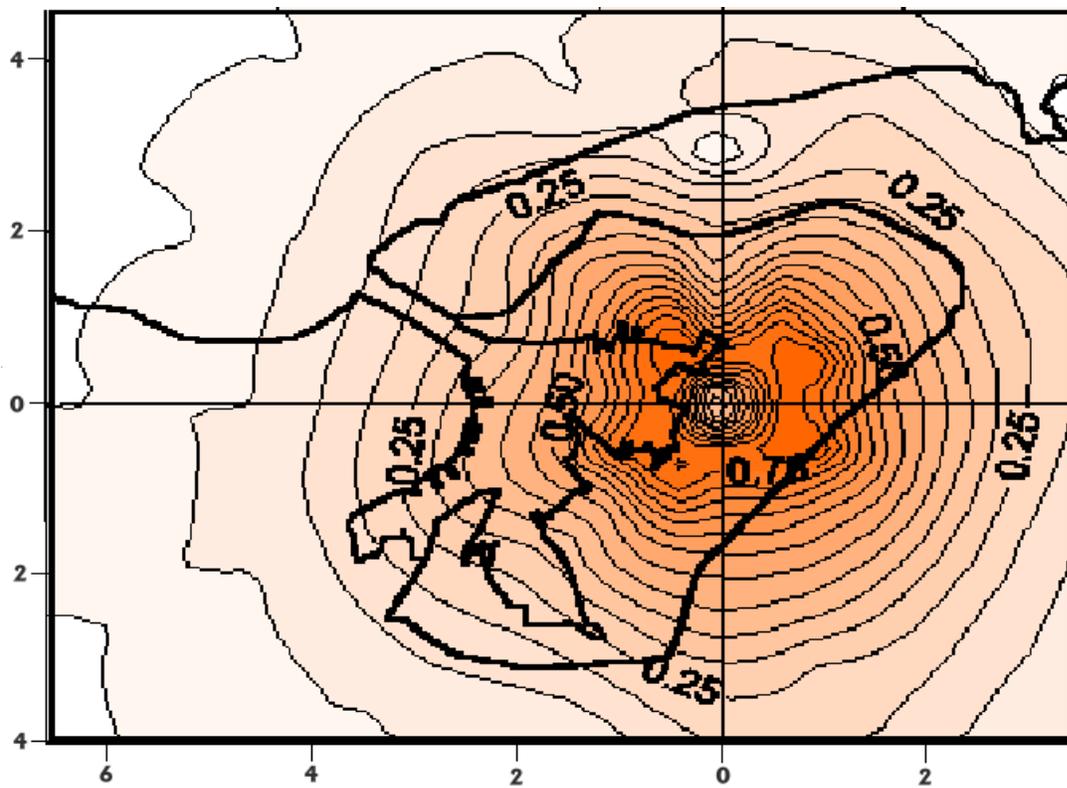


Figura 3.10. Concentraciones de CO

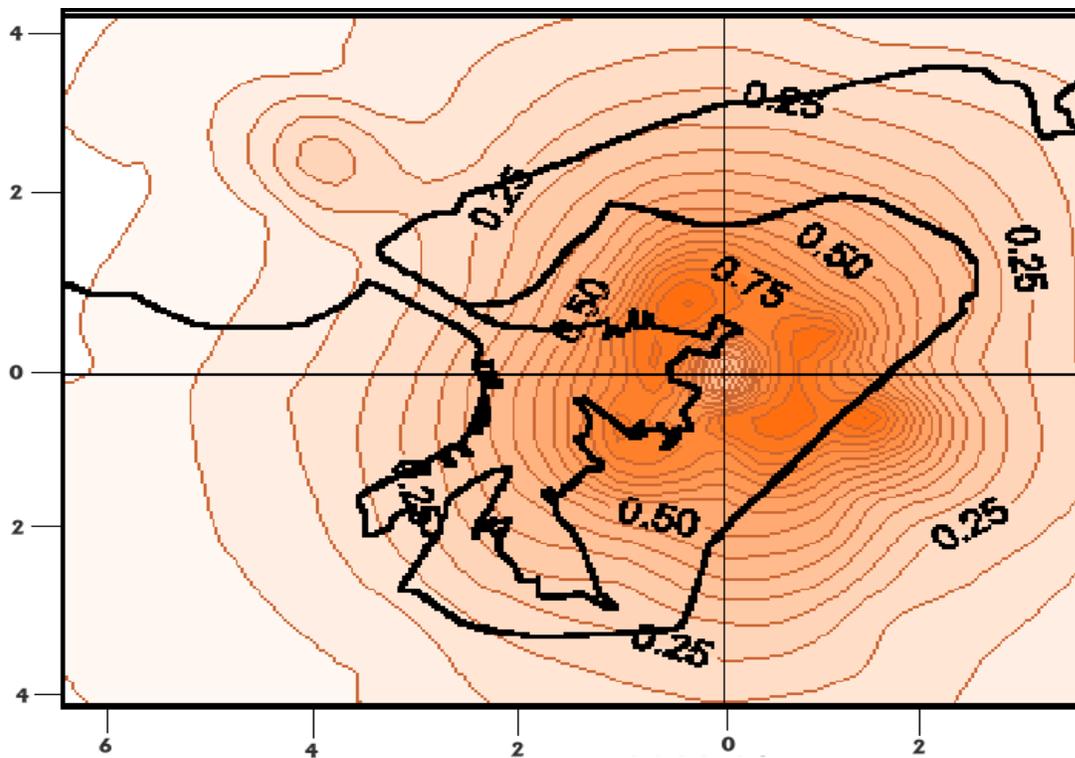
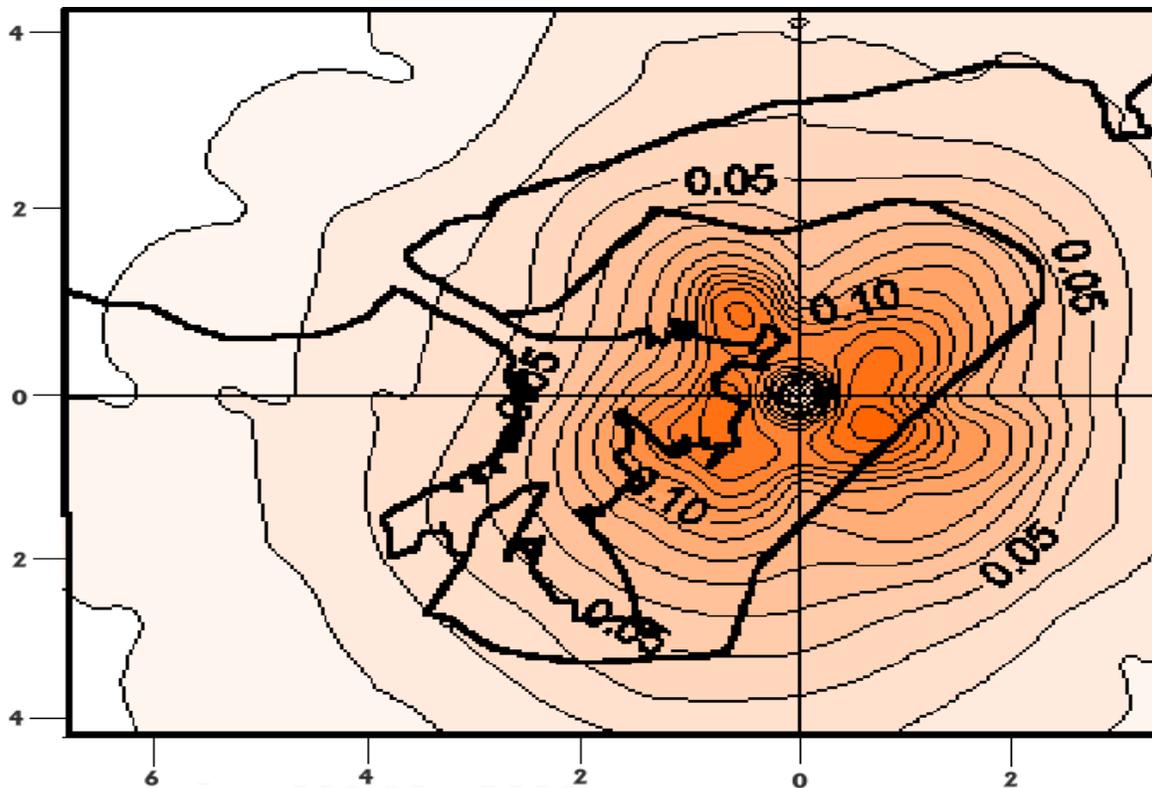
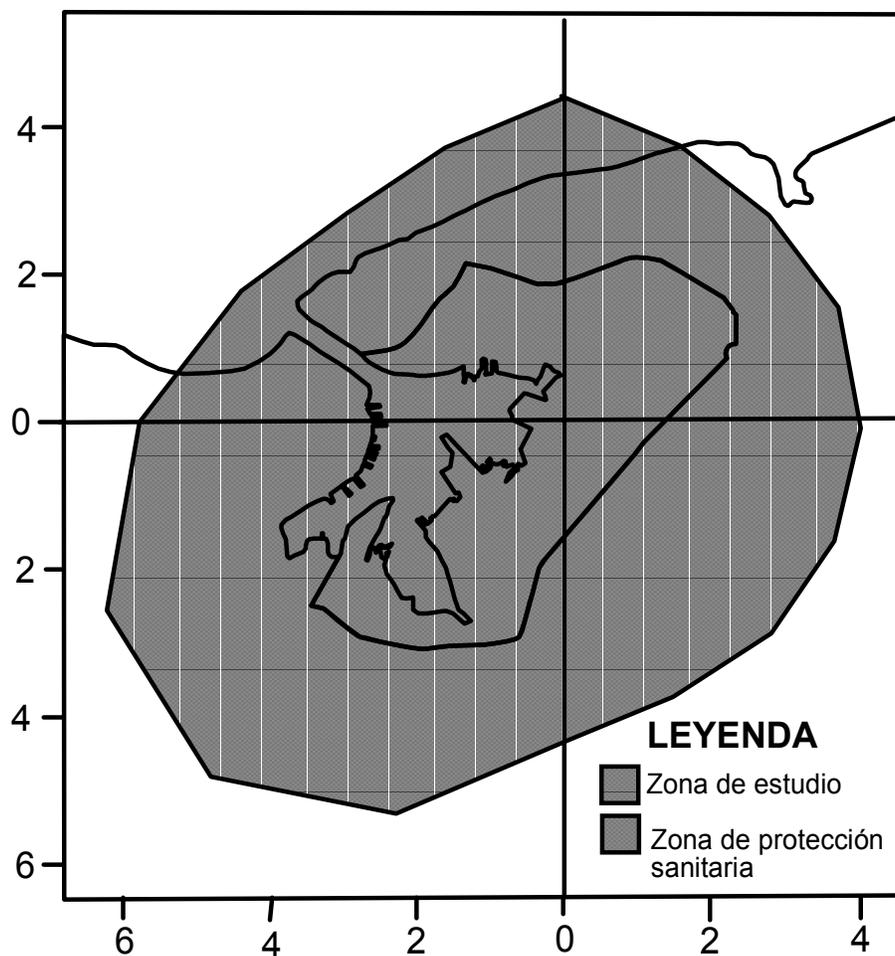


Figura 3.11. Concentraciones de NO<sub>2</sub>



**Figura 3.12. Concentraciones de PTS (100% refinera).**

En la Figura 3.13 se muestra el territorio definido por los radios de protección sanitaria en torno a la fuente emisora, en este caso la refinera "Nico Lopez". La zona de protección sanitaria necesaria debido a las emisiones de las fuentes gaseosas de la refinera abarca un area extensa alrededor de la misma, en la cual como sabemos se encuentran asentamientos urbanos. Los asentamientos urbanos afectados son: Municipio Regla, Reparto Guiteras y la Ciudad Camilo Cienfuegos dentro del municipio Habana del Este, El municipio Habana Vieja y parte de los municipios Guanabacoa, 10 de Octubre y Centro Habana.



**Figura 3.13 Zona de Protección Sanitaria.**

El contaminante de mayor emisión es el  $\text{SO}_2$  alrededor de la zona de la refinería y las medidas de mitigación deben encaminarse sobre los procesos tecnológicos que los producen, aunque el  $\text{NO}_2$  es el contaminante que supera en mas veces la Cma y por lo tanto mayor efecto nocivo debe producir sobre la salud humana. Medidas tecnológicas necesarias y otras de carácter medioambiental se deben implementar para mejorar las condiciones de calidad del aire en la zona de estudio.

### **Posibles políticas de mitigación de las expulsiones**

La búsqueda de alternativas que conlleven a la reducción y mitigación de los impactos potenciales detectados pasa por la instrumentación de diversas medidas correctivas las que de forma general pudieran agruparse en los siguientes sectores:

a) Medidas tendentes a la reducción de expulsiones y del aumento de la dispersión atmosférica de los contaminantes.

b) Reorganización paulatina y perspectiva del territorio.

Los contaminantes típicos y los focos de emisión correspondientes a los diversos procesos que se llevan a cabo en las refinerías son extremadamente complejos, variando de una forma considerable la contaminación ocasionada en cada caso concreto.

Entre las técnicas de reducción de las emisiones se distinguen habitualmente entre las del tipo primario implementadas mediante procedimientos de optimización y reformulación del proceso de combustión, y secundario implementadas mediante dispositivos que actúan sobre la propia corriente de los gases originados en la combustión.

Los equipos correctores típicos de la contaminación atmosférica en las refinerías son las antorchas, en las que se queman hidrocarburos procedentes de purgas, fugas, etc. Un tipo especial de ellas son las denominadas antorchas ácidas donde se quema el  $H_2S$ . En los tratamientos previos tales como desulfuración de destilados para ajustar los productos a las especificaciones comerciales, hidrocrqueo de fracciones pesadas, etc. Se separan  $H_2S$  y  $NH_3$ , y puesto que el  $H_2S$  no puede ser enviado a la atmósfera debido a su toxicidad y olor repugnante es necesario transformarlo en otro compuesto.

Para la transformación del  $H_2S$  cabe la siguiente alternativa:

- Quemarlo para obtener  $SO_2$  en las llamadas antorchas ácidas.
- Transformar el  $H_2S$  en azufre, con lo que se soluciona parcialmente el problema de la emisión de  $SO_2$  en la refinería, al tiempo que se produce un beneficio, ya que el azufre tiene una buena salida en el mercado.

Las medidas de mitigación deben encaminarse sobre los procesos tecnológicos que los producen, especialmente:

- ◆ Realizar mantenimientos periódicos a los quemadores y optimizar la relación aire combustible.
- ◆ Instalar sistemas apropiados para la captación de las partículas en conducto de salidas de gases.

- ◆ Instalar sistemas de control proporcional integral derivativo acoplado a tecnología de avanzada computarizada para el control y regulación de los parámetros del proceso de combustión.

Otra medida importante es el consumo de crudo a refinar con bajo contenido de azufre, pues durante el proceso se emitirá menor cantidad. Esta medida debe ser estudiada cuidadosamente para poder continuar trabajando con el crudo cubano que tiene un elevado contenido de azufre (Cuesta et al., 2000).

Como medidas auxiliares en la refinería debe realizarse un proceso de renovación de válvulas, para evitar un sin número de fugas no organizadas que se producen en el proceso productivo. Otro aspecto a mejorar son las emisiones que se producen en los tanques de almacenamiento y durante el servicio de transportación y embarque.

#### **4. Conclusiones y Recomendaciones.**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Modelo Norma Cubana y los calculados para el modelo Screen se puede apreciar que los mismos se asemejan en cuanto al valor de las concentraciones máximas estimadas, aunque siempre el Screen da valores mayores cuando calcula la ocurrencia de las peores condiciones de dispersión en el caso "full meteorology". Como diferencia tenemos que para este caso el valor máximo ocurre a una distancia mucho mayor en el Screen (1606 m), que en el modelo de la NC (667 m)

El modelo SCREEN tiene la ventaja de poder modelar condiciones meteorológicas de interés según las características de la localidad estudiada.

Los valores de concentración obtenidos (a partir de los 2000 m) para una misma distancia resultan menores en el caso del Modelo Norma Cubana.

Existen diferencias significativas entre las distancias a las cuales ocurren las concentraciones máximas admisibles 667 m en el caso del Modelo Norma Cubana y 1500 m en el Modelo Screen. Este aspecto debe ser considerado a la hora de calcular el área de protección sanitaria, con vistas a evitar afectaciones a la salud como ocurre actualmente con los vecinos que viven en áreas cercanas a la Refinería "Nico López".

En general tenemos que el  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  son los contaminantes que presentan valores por encima de la Cma según los cálculos realizados. La zona de protección sanitaria abarca una extensa área alrededor de la refinería donde en la actualidad existen extensas áreas pobladas. Debemos recordar que estos cálculos se realizan para las peores condiciones de dispersión de los contaminantes y el cálculo de la zona de protección sanitaria tiene como objetivo una vez realizada una nueva inversión, no proyectar áreas de viviendas en esa zona. Por lo tanto en la actualidad se deben buscar medidas para mejorar la tecnología para emitir menos y otra es de carácter ambiental en la zona que favorezcan la dispersión de los contaminantes.

Los asentamientos humanos cercanos a las instalaciones industriales (refinería y fuentes cercanas) están sometidos a un fuerte estrés debido a la contaminación atmosférica. Esto requiere en el futuro y según las condiciones económicas un reordenamiento urbanístico y constructivo.

Las medidas de mitigación deben encaminarse sobre los procesos tecnológicos que los producen, especialmente:

- ❖ Realizar mantenimientos periódicos a los quemadores y optimizar la relación aire combustible.
- ❖ Utilizar combustible con bajo porcentaje de azufre.
- ❖ Instalar sistemas apropiados para la captación de las partículas en conducto de salidas de gases.
- ❖ Instalar sistemas de control proporcional integral derivativo acoplado a tecnología de avanzada computarizada para el control y regulación de los parámetros del proceso de combustión.

Para lograr una política coherente de mitigación de los efectos de la contaminación atmosférica unido a un sistema de vigilancia y control deben estar presente otras medidas de carácter tecnológico para minimizar las emisiones de contaminantes al aire que las empresas contaminadoras deben ir aplicando paulatinamente según las propuestas elaboradas en este trabajo y otras que se consideren mejoren el medio ambiente en general.

## 5. Referencias Bibliográficas.

1. Álvarez, R. (1990): Caracterización de la dispersión de contaminantes en la zona minero - metalúrgica de Moa. Informe de Resultado. IDICT, Instituto de Meteorología. CITMA.
2. Álvarez. O. 1994. Diagnóstico y pronóstico de la contaminación por SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S en Moa. Modelación con consideraciones de terreno plano. Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Geográficas, La Habana
3. Collazo, A; y López, C., (1999): DISPER Versión 2.0. La Habana.
4. Cuesta, O. et al., (2000): Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la Bahía de La Habana. Informe Científico técnico, INSMET, pp. 226, La Habana
5. E.P.A., (1995): SCREEN3 Model User's Guide. EPA - 454/B-95-004
6. Holwartz, G. C., (1974): Climatological aspects of the composition and pollution of the atmosphere, Technical Note No. 139, WMO-393.
7. INHEM (1992): Serie Salud Ambiental. Contaminación del Aire y Salud. No. 2, 129 pp., Impreso en México.
8. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales, INPE (1998): Manual de operación de SPRING 3.1.2, Brasil. (Licencia autorizada).
9. López. C. 1984. Factores Meteorológicos de la Contaminación Regional del aire en Cuba. Tesis para el grado de DR. EN Ciencia Físico- Matemático INSMET, La Habana
10. Normas de Gestión Ambiental NC (1999): Norma Cubana 39 – 1999. Requisitos higiénico – sanitarios. CITMA – INN – MEP, La Habana, Cuba.
11. US EPA. 1996. Review of National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. OAQPS Staff Paper EPA-452/R-96-013. US EPA, Research Triangle Park, NC.
12. WHO. 1995. Updating and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe. Reports of WHO Working Groups, Reports: EUR/ICP/EHAZ 9405/EHAZ 94 05/MT09; EUR/ICP/EHAZ 9405/MT10; EUR ¿ICP ? CEH 230/B 04295. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.