

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO PLAYA A PARTIR DE LAS EMISIONES DE LAS FUENTES FIJAS.

Área temática: Problemas ambientales, cambio climático y gestión de riesgo.

Autora: Grechel Yilian Sánchez Guevara

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). grechel.sanche@hidro.cu

Resumen

El trabajo tiene como objetivo general: Evaluar la calidad del aire del municipio Playa debido a las emisiones de sus principales fuentes fijas.

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas que está enfrentando el mundo, la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera se ha agudizado principalmente por el desarrollo industrial, esto ha provocado un deterioro de la calidad del aire a nivel mundial. En Cuba la calidad del aire también está afectada, principalmente en los territorios donde el desarrollo industrial es mayor. En este trabajo se realizó una evaluación de la calidad del aire en el municipio Playa a partir de las emisiones de fuentes fijas, el municipio cuenta con 11 fuentes emisoras de gases y partículas contaminantes a la atmósfera, para esta evaluación se utilizaron dos modelos de dispersión, el *DISPER 4.0* y la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999. Se utilizaron estos dos modelos de dispersión para realizar una comparación entre ellos, ya que el *DISPER 4.0* es un modelo más refinado y solo utiliza para la dispersión de los contaminantes el rumbo del viento predominante y se obtiene valores de concentraciones más exactos. Sin embargo la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999 utiliza todos los rumbos del viento, es un modelo de sondeo y su objetivo es mostrar las peores condiciones de dispersión, por lo tanto maximiza las concentraciones. Para la modelación con el *DISPER 4.0* se emplearon los escenarios de las 7:00 am y la 1:00 pm y para la NC 39:1999 se utilizaron los escenarios de las 7:00 am, la 1:00 pm y las 24 horas. Después de realizar las modelaciones se calculó el índice de calidad del aire para los contaminantes que sobrepasaron la concentración máxima admisible (CMA) descrita por la Norma Cubana. El dióxido de azufre (SO₂) es el principal contaminante del municipio pues supera la CMA en varias de las fuentes estudiadas. A pesar de que el municipio no cuenta con industrias altamente contaminantes se afecta la calidad del aire en algunos sectores incluidos dentro de sus límites administrativos. La investigación arrojó que en el municipio Playa la calidad del aire es de manera general “buena”.

Palabras claves: contaminación, evaluación, dispersión y calidad.

Introducción

La contaminación es uno de los principales problemas medioambientales que existe en el mundo, es un fenómeno que toma auge día a día. Entre los principales factores que dan paso a esta situación se encuentra el continuo desarrollo industrial, el consumo de combustible y los procesos antrópicos a los que está siendo sometido el mundo. Cuba no está ajena a esta situación, la contaminación está dañando la salud de las personas y el ecosistema, principalmente en los territorios donde el desarrollo industrial es más elevado y hay una mayor concentración de la población. En algunas ciudades más que en otras estos niveles de contaminación tienen una tendencia a ser mayores, ya que las emisiones de gases y de otras sustancias a la atmósfera tienen un nivel más alto en aquellos territorios donde hay una mayor concentración de industrias.

En el país existen municipios con un alto grado de contaminación debido a su desarrollo industrial entre estos podemos encontrar: Mariel, Regla, Nuevitas y Moa. Dicha contaminación puede estar dada por la mala planificación que pueda existir en el territorio, por no tener una buena educación ambiental y por la utilización de tecnologías obsoletas. En la actualidad el conocimiento del estado de la calidad del aire tiene una gran importancia para la humanidad dada la creciente contaminación que está sufriendo el medio ambiente lo cual ha dado lugar a la realización de varios estudios para un mayor conocimiento de esta situación.

I-Metodología empleada

Para la realización de este trabajo, desde el punto de vista metodológico se consultó la bibliografía relacionada con el tema de estudio. Gran parte de esta bibliografía fue brindada por los siguientes organismos:

- Delegación municipal del CITMA en Playa.
- Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA).
- Instituto de Meteorología (INSMET).
- Agencia de Medio Ambiente (AMA).

Además se realizó un inventario mediante encuestas para conocer la cantidad de fuentes fijas que existen en el municipio. Después de conocer la cantidad de fuentes fijas existentes se realizó el cálculo de las emisiones para cada una de estas fuentes utilizando el método de Factores de Emisión.

A continuación la fórmula utilizada en el cálculo de las emisiones:

$E = FE * A$ donde: E = Emisión en (g/s) FE = Factor de emisión en g/kg

A = Nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo.

Después de calcular los datos de emisiones, se procedió a la obtención de las variables meteorológicas del municipio, la cual fue brindada por la estación meteorológica de Casablanca. Luego se calculó la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla mediante el programa *MLHASC* (MIXING LAYER and ATMOSPHERIC STABILITY CONDITION) (González, 2012). Posteriormente se realizó la modelación de cada una de las fuentes con el propósito de conocer la dispersión de los contaminantes emitidos por las mismas. Para estas modelaciones se empleó el modelo que establece la Norma Cubana NC 39:1999 versión 3.0 y el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos *DISPER*, versión 4.0.

A continuación se explica en qué consiste cada uno de ellos:

- **Modelo NC versión 3.0**

Para la modelación se utilizó la implementación del modelo que establece la Norma Cubana NC 39:1999, desarrollada por el Grupo Técnico de Modelación de la Calidad del Aire, perteneciente al Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera del Instituto de Meteorología. Se utilizó el software MATLAB 7.8.0, para la implementación, lo que permitió mejor capacidad de cálculo y la posibilidad de mostrar los resultados en forma de gráficas y archivos de datos. El aspecto más novedoso en esta versión es poder obtener una salida en archivo de datos que puedes ser llevada a un Sistema de Información Geográfica (SIG) y realizar los mapas correspondientes. También considera el efecto del viento para cada uno de los 16 rumbos. Los cálculos principales que permite realizar este modelo son: Concentración máxima de un contaminante expulsado caliente a la atmósfera a través de una chimenea, la velocidad crítica del viento (asociada a la ocurrencia de la concentración máxima) y la distancia entre la fuente y el punto donde ocurre la concentración máxima.

En la tabla 1 se muestra los valores de concentración máxima admisible establecido por la Norma Cubana NC 39:1999 para cada uno de los contaminantes utilizados en la modelación.

Tabla 1- Valores de la concentración máxima admisible para cada contaminante atmosférico.

Contaminantes atmosféricos	Períodos	Valor de concentración máxima admisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Azufre (SO_2)	20 minutos	500
	24 horas	50
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	20 minutos	85
	24 horas	40
Monóxido de Carbono CO	20 minutos	5000
	24 horas	3000
Material Particulado (PM_{10})	20 minutos	200
	24 horas	50
Material Particulado ($\text{PM}_{2.5}$)	20 minutos	100
	24 horas	25

Fuente: Norma Cubana NC 39:1999

- **Modelo Disper, versión 4.0**

Con la información de las fuentes de emisión y los datos meteorológicos se aplicó el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos *DISPER*, versión 4.0. A través de este software se realizó una georreferenciación del área de estudio y posteriormente se comenzó a introducir la información técnica de la fuente de emisión, así como los datos del comportamiento de las variables meteorológicas. Se aplicó este modelo en los horarios correspondientes a las 7:00am y 1:00pm, ya que las condiciones meteorológicas difieren para esos momentos del día. Posteriormente se exportaron en coordenadas cartesianas los valores de concentración en superficie de los principales contaminantes para su manejo en un Sistema de Información Geográfica (SIG). (Batule, 2012)

Por último se realizó la distribución espacial de los contaminantes para los dos modelos, utilizando en el *SIG ARGIS 10.1*, empleando el método de interpolación *Kriging* con el objetivo de representar en una imagen satelital del *Google Earth*, versión 5.0, la dispersión de los contaminantes para cada escenario. Además se utilizó el programa *SURFER 10* para representación del índice de calidad del aire.

En la tabla que aparece a continuación se muestra las categorías que se tuvieron en cuenta para la representación del índice de calidad de aire establecida por la Norma Cubana NC 111: 2004.

Tabla 2- Categorías de calidad del aire establecida por la norma.

Índice	Categoría	Comentarios
0 - 79	Buena	No sobrepasa el 79 % del valor de la CMA prescrito en la NC 39:1999 [3]. Óptima calidad sanitaria del aire. Supuesta protección de toda la población (aunque no puede asegurarse que no sobrepase el umbral de respuesta de efectos adversos en individuos aislados).
80 - 99	Aceptable	No supera el 99 % de la CMA. Comienza el deterioro de la calidad del aire. Posible aparición de efectos leves en individuos o grupos de alta susceptibilidad (variabilidad individual de umbral de respuesta a los

		efectos) de muy difícil detección aún por investigaciones.
100-199	Deficiente	Sobrepasa entre 100 - 199 % el valor de la CMA prescrito en la NC 39:1999 [3]. Ligeramente incremento en la frecuencia y severidad de los efectos adversos agudos y crónicos en la población general y principalmente en personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y alérgicas y en otras de elevada susceptibilidad, solo detectables mediante investigaciones muy específicas y sensibles.
200-299	Mala	Supera entre 2 y 3 veces (200 – 300 %) el valor de la CMA. Aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos en grupos de alta susceptibilidad y en la población general, ya medibles mediante investigaciones específicas a escala individual y ecológica, basadas en registros morbilidad. Da lugar a una SITUACIÓN DE ATENCIÓN .
300 -499	Pésima	Supera entre 3 y 5 veces el valor de la CMA. En dependencia del incremento de la concentración del contaminante y el tiempo de exposición continua el aumento de la frecuencia y gravedad de efectos adversos en los grupos de alta susceptibilidad y en la población general. Da lugar a una SITUACIÓN DE ALERTA .
≥ 500	Crítica	Se supera el límite de 5 veces la CMA, dando lugar a un incremento aún mayor del riesgo o probabilidad de ocurrencia de los efectos adversos sobre la salud de la población general y en grupos de riesgo, que se traduce en un evidente incremento agudo de la morbilidad y mortalidad que sobrecarga los servicios asistenciales; da lugar a una SITUACIÓN DE EMERGENCIA AMBIENTAL .

Fuente: Norma Cubana de Calidad del Aire NC 111: 2004

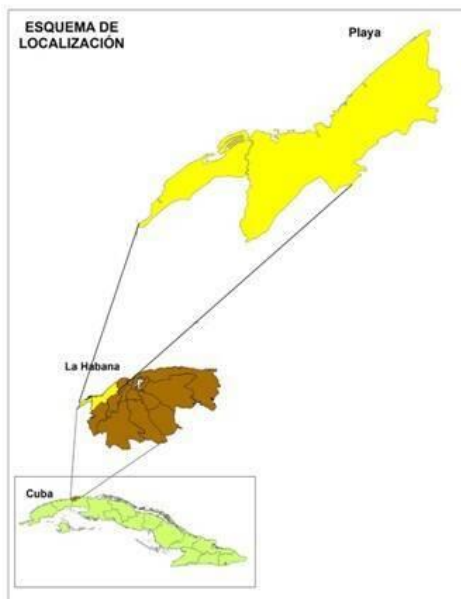
II- Características físico – geográfica y socioeconómica del municipio Playa.

Localización físico-geográfica

El municipio Playa está situado en el extremo noroeste de la provincia La Habana. Tiene 35.81 km² de superficie lo que corresponde al 5% del total de la provincia. Limita al Norte con el Estrecho de la Florida, con una extensión costera de 12.2 km, al Este con el río Almendares, siendo este el límite que lo separa de los municipios Plaza y Cerro, al Sur, limita con los municipios Lisa y Marianao y al Oeste con el municipio Bauta de la provincia Artemisa.

El municipio está caracterizada por el amplio desarrollo en su superficie de un conjunto de formaciones carbonatadas-neogénicas, entre las que se destacan las siguientes: Formación Güines (gn); Formación Vedado (vd); Formación Jaimanitas (js) y Formación Santa Fé (sf), además está desarrollado sobre un relieve del tipo de llanuras bajas a medias, que corresponden a la región geomorfológica Alturas del Norte de Habana-Matanzas. Las alturas que predominan son de alrededor de 12 m y alcanzan valores de hasta 58 m, está caracterizado por formas de relieve de origen fluvial, marino y cárstico donde los procesos fundamentales que ocurren son la erosión y sedimentación. La media anual de las precipitaciones está en el rango de 1200 a 1400 mm, siendo el promedio anual en días con lluvias de 80 a 100 mm. La temperatura media anual del municipio oscilando entre 24 y 26 °C. Los vientos que predominan en el área de estudio es de dirección Este, con una frecuencia de 17,7% y una velocidad media anual de 10,6km/h. Aunque el desarrollo urbano en el municipio es muy elevado, lo cual trae como consecuencia que no sea posible seguir sobre el terreno los límites naturales de los suelos, existen algunas áreas con terrenos baldíos que posibilitan reconstruir en alguna medida la distribución y características de los suelos en el territorio. Predominan en territorio los suelos del agrupamiento Húmico Sialíticos, fundamentalmente del tipo y subtipo de las Rendzinas Rojas, género Carbonatado-Lítico. El comportamiento hidrológico del territorio se sustenta en la cuenca del río Jaimanitas y los cursos inferiores y medios del río Quibú. En general, estos ríos son consecuentes al estar orientados de norte a sur cortando ortogonalmente a la morfoestructura regional. También se encuentra una pequeña porción de la cuenca del río Almendares hacia el Este y pequeñas áreas de la desembocadura del río Santa Ana, sin olvidar pequeñas cuencas endorreicas, de distribución y funcionamiento local que marcan la actividad cársica del territorio y que producto del fenómeno de la urbanización están totalmente selladas. (Campos, et al, 2001)

Figura 1– Esquema de localización del municipio

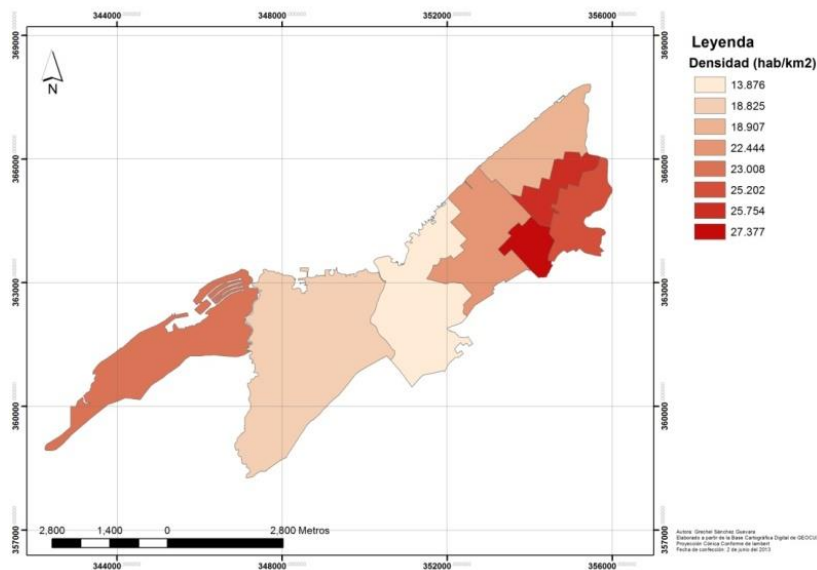


Fuente: Elaborado por la autora a partir de la Base Cartográfica Digital de GEOCUBA.

El municipio tiene una población de 180.142 habitantes y una densidad de población de 5.030,5 habitantes por km². Posee 8 consejos populares, los cuales son: Santa Fé, Siboney, Cubanacán, Ampliación Almendares, Miramar, Sierra, Ceiba y Buena Vista. En la tabla 3 se muestra información relacionada con cada uno de los consejos populares.

Figura 2- Mapa de densidad de población del municipio Playa. Año 2012

Densidad de población. Municipio Playa



Fuente: Elaborado por la autora a partir de la base cartográfica de GEOCUBA.

Tabla 3 - Información de los Consejos Populares del Municipio Playa.

No.	Consejo popular	Área (Km ²)	Población
1	Santa Fé	5.54	23.008
2	Siboney	11.3	18.825
3	Cubanacán	6.01	13.876
4	Ampliación Almendares	4.11	22.444
5	Miramar	3.26	18.907
6	Sierra	1.35	25.754
7	Ceiba	2.35	25.202
8	Buena Vista	1.16	27.377

Fuente: Elaborado por la autora a partir del Anuario Estadístico de Playa. Año 2011.

III-Evaluación de la calidad del aire a partir de fuentes fijas en el municipio Playa

Para evaluar la calidad del aire del municipio en primera instancia se realizó un levantamiento de las fuentes fijas del territorio y un inventario de las emisiones. A partir de lo anterior se realizó la modelación utilizando dos modelos de dispersión, el *DISPER 4.0* y la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

Se utilizaron estos dos modelos de dispersión para realizar una comparación entre ellos, ya que el *DISPER 4.0* es un modelo más refinado y solo utiliza para la dispersión de los contaminantes el rumbo del viento predominante y se obtiene valores de concentraciones más exactos. Sin embargo la Norma Cubanas de Calidad del Aire NC 39:1999 utiliza todos los rumbos del viento, es un modelos de sondeo y su objetivo es mostrar las peores condiciones de dispersión, por lo tanto maximiza las concentraciones.

III.1- Información técnica de las fuentes de emisión

En la tabla 4 se muestra cada una de las fuentes puntuales utilizadas en la investigación y los parámetros de emisión que fueron utilizados. Además se muestran los contaminantes utilizados en la modelación y las emisiones estimadas de cada uno de ellos.

Tabla 4- Parámetros de la emisión.

Fuentes	Parámetros de la emisión				Emisiones estimadas (g/s)					
	Altura (m)	Diámetro (m)	Velocidad de salida (m/s)	Temperatura de salida de la mezcla (°C)	SO ₂	NO ₂	CO	PM10	PM2,5	COVDM
1 CIM	8	0,48	0,9	215	0,07110556	0,005783947	0,001008828	0,000470786	0,000319462	
2 EMI	12	0,58	1,1	230	1,17611481	0,088099074	0,009388889	0,037868519	0,02847963	0,0006572
3 Novatec	25	0,17	0,45	250	0,6437139	0,049921366	0,006780289	0,013959613	0,010369815	0,0005184
4 CIS. La Pradera	8	0,32	0,8	300	0,23075916	0,018770667	0,003273954	0,001527842	0,001036752	0,0002674
5 CIMEQ	8	0,5	0,9	250	0,07110556	0,005783947	0,001008828	0,000470786	0,000319462	
6 Hotel Meliá-Hat	12	0,6	1,2	265	0,07110556	0,005783947	0,001008828	0,000470786	0,000319462	
7 Hosp Cira Garc	7	0,3	0,8	350	0,10459855	0,008508371	0,001484018	0,000692542	0,000469939	0,0001212
8 Fábrica de Queso	12	0,3	0,8	300	0,06507961	0,005293778	0,000923333	0,000430889	0,000292389	
9 Hotel Comodoro	15	0,3	0,8	100	0,07110556	0,005783947	0,001008828	0,000470786	0,000319462	
10 Escuela de medic	5	0,3	0,8	150	0,10459855	0,008508371	0,000692542	0,000692542	0,000469939	0,0001212
11 MINAL	25	0,6	1,2	250	5,62599074	0,455481481	0,079444444	0,037074074	0,025157407	0,006488

Fuente: Elaborado por la autora a partir del inventario a cada una de las fuentes.

A continuación se muestra la ubicación de las fuentes fijas del municipio, 5 de estas fuentes se encuentran concentradas al Oeste del territorio y las 6 restantes están dispersas por todo el área de estudio. Como se puede observar en la figura 3, al Norte se encuentran ubicados los hoteles y al Sur el resto de las fuentes, es importante destacar que la presencia de chimeneas que existen en el municipio está asociada principalmente a la elaboración de alimento.

Figura 3- Ubicación de las fuentes puntuales en el municipio Playa.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth.

III.2.- Variables meteorológicas empleadas en los modelos de dispersión de contaminantes

Para la aplicación de los modelos de dispersión de los contaminantes se utilizaron diferentes variables meteorológicas, estas fueron brindadas por la estación meteorológica de Casablanca. Las variables utilizadas fueron:

- Velocidad del viento.
- Temperatura del aire.
- Estabilidad atmosférica.
- Altura de la capa de mezcla.
- Dirección del viento.

A continuación se muestra los valores de las variables meteorológicas y los horarios utilizados en la modelación con el *DISPER 4.0*. Los valores de la altura de la capa de mezcla y la estabilidad atmosférica fueron determinados mediante fórmulas y método.

Tabla 5- Valores de las variables meteorológicas de utilizadas en la modelación.

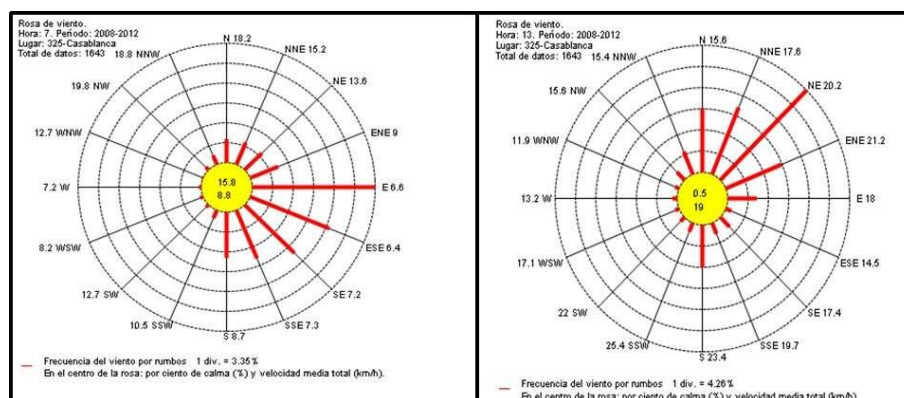
Escenario	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura del aire(K)	Estabilidad atmosférica	Altura de la capa de mezcla (m)	Dirección del viento(°)
7:00am	1.82	295.79	1	40.69	270
1:00pm	5.48	300.9	7	1468.24	225

Fuente: Elaborado por la autora a partir de la información de las variables meteorológicas brindada por la estación meteorológica de Casablanca.

Para determinar la velocidad y dirección del viento para cada uno de los horarios se realizó la rosa de los vientos. En el caso de las 7:00am el viento predominante proviene del Este (E) y a la 1:00pm el viento predominante es del Noreste (NE). En la figura 4 se muestra la rosa de los vientos para cada uno de los horarios.

Figura 4- Rosa de los vientos de las 7:00am y de la 1:00pm.

Rosa de los vientos de las 7:00am Rosa de los vientos de las 1:00 pm



Fuente: Centro de Clima, Instituto de Meteorología, (INSMET, 2013).

III.3- Distribución espacial de los contaminantes atmosféricos en el municipio Playa

Se realizó la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos en 11 fuentes puntuales y en diferentes horarios, con el modelo *DISPER 4.0* se utilizaron 2 horarios para la representación de la contaminación, (la 7:00am y la 1:00pm) y en el caso de la Norma Cubana se utilizaron 3 horarios,

(la 7:00am, la 1:00pm y las 24 horas). Se realizó la modelación para estos escenarios debido a las diferencias que existen en las condiciones meteorológicas.

Es importante aclarar que en este trabajo solo serán mostrados los mapas de los contaminantes que han sobrepasado la norma de concentración máxima admisible (CMA) establecida por la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39: 1999. En el municipio el único contaminante que sobrepasó la norma fue el dióxido de azufre (SO₂) en los dos modelos utilizados. En el modelo de la NC 39:1999 sobrepasaron la norma 6 fuentes de las 11 utilizadas en la investigación y con el modelo *DISPER 4.0* solo 1 sobrepasó la norma en el escenario de la 7:00am.

En la tabla 6 se muestra cada uno de los horarios y las fuentes que superaron la norma con el modelo NC 39:1999.

Tabla 6- Fuentes que superaron la norma establecida de CMA.

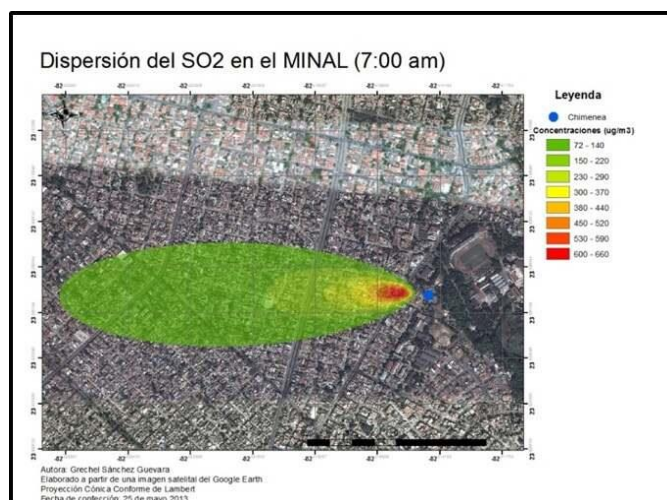
SO ₂			
Fuentes	7:00 am	1:00 pm	24 horas
EMI	732.2533	741.1523	184.5703
Novatec	673.7633	678.7159	169.4667
CIS. La Pradera	587.0964	592.3569	147.7744
Hospital Círa García			61.8524
Escuela de medicina VG	914.0252	930.7505	231.0047
MINAL	581.714	584.78	146.1802

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los resultados obtenidos en la modelación.

III.3.1- Resultados de la ejecución del modelo de dispersión *DISPER 4.0* a las 7:00 am

En la figura 5 se muestra la dispersión del dióxido de azufre (SO₂) emitido por la chimenea del Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL). Como se puede observar en la figura los contaminantes se dispersan hacia el Oeste, esto es debido a que el viento predominante en ese horario proviene del Este. También se puede observar que los valores más altos de concentraciones se dispersan cerca de la fuente emisora y el resto se dispersa afectando los consejos populares de Ceiba, Sierra, Ampliación Almendares y Buena Vista.

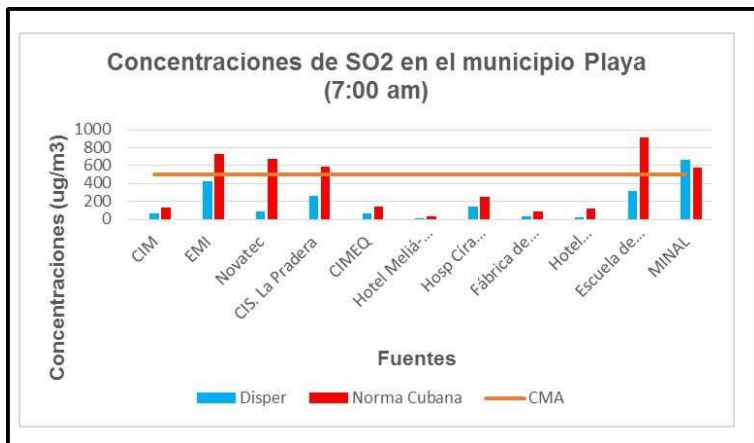
Figura 5- Dispersión del SO₂ emitido por el MINAL.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con el *DISPER 4.0*.

En la siguiente figura se muestran las concentraciones de SO₂ para cada uno de los modelos utilizados en la investigación. Se comprobaron los valores de concentraciones obtenida con los reflejados en la norma cubana. El SO₂ en el MINAL a la 7:00am superó la concentración máxima admisible (CMA) en 1.339 veces.

Figura 6- Concentraciones máximas de SO₂ en el municipio Playa.

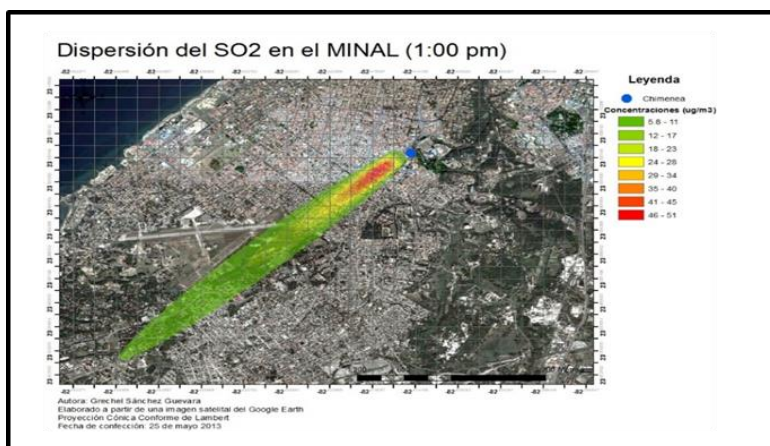


Fuente: Elaborado por la autora a partir de los resultados obtenidos en la modelación.

III.3.2- Resultados de la ejecución del modelo de dispersión DISPER 4.0 a la 1:00pm

En la figura 7 se muestra la dispersión del dióxido de azufre (SO₂) emitido por la chimenea del Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL). En este horario los contaminantes se dispersan hacia el Suroeste, debido al viento predominante que proviene del Noreste, afectando los consejos populares de Ceiba, Sierra, Ampliación Almendares, Buena Vista y Cubanacán.

Figura 7- Dispersión del SO₂ emitido por el MINAL.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con el *DISPER 4.0*.

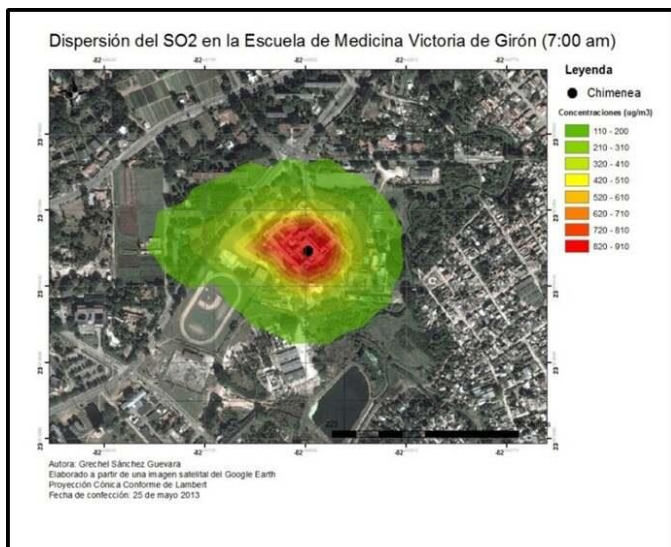
Después de determinar las concentraciones máximas admisibles para los contaminantes analizados en los diferentes escenarios, se llegó a la conclusión que para la 1:00pm ninguno sobrepasó la norma establecida con el modelo *DISPER 4.0*.

III.3.3- Resultados de la ejecución del modelo de dispersión Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999 a la 7:00am

Según datos establecidos por la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999, el único contaminante que superó las concentraciones máximas admisibles para los 3 horarios establecidos fue el SO₂.

De las 5 fuentes que superaron la norma el valor más alto de concentración emitido lo alcanzó la escuela de medicina Victoria de Girón, con $914.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual superó lo establecido en 1.828 veces, la distancia a la que ocurre esta concentración máxima es a 20 m de la fuente emisora. En la figura que se muestra a continuación se puede observar la dispersión del SO_2 emitido por la escuela.

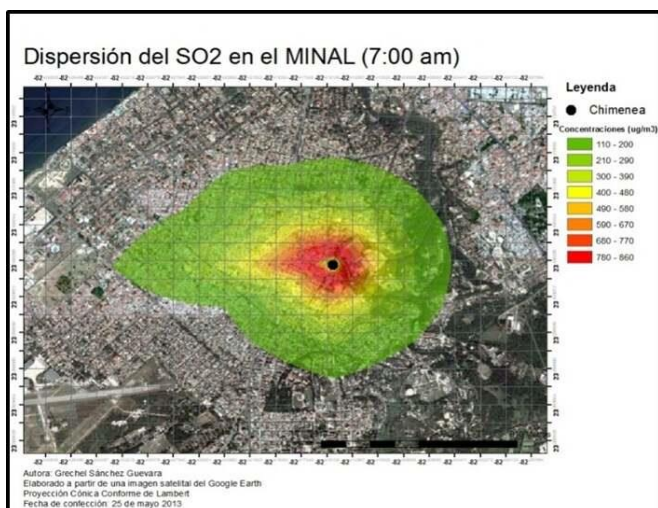
Figura 8- Dispersión del SO_2 emitido por la escuela de medicina Victoria de Girón.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

Sin embargo el valor más bajo de concentración máxima emitida lo obtuvo el MINAL, pero la distancia a la que ocurre esta concentración es mayor que el resto de las fuentes, esto sucede por la diferencia que existe en las alturas de las chimeneas. La CMA en el MINAL a la 7:00 am es de $581.714 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este superó la norma en 1.163 veces, con una distancia de ocurrencia de 158 m de la fuente emisora.

Figura 9- Dispersión del SO_2 emitido por el MINAL.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

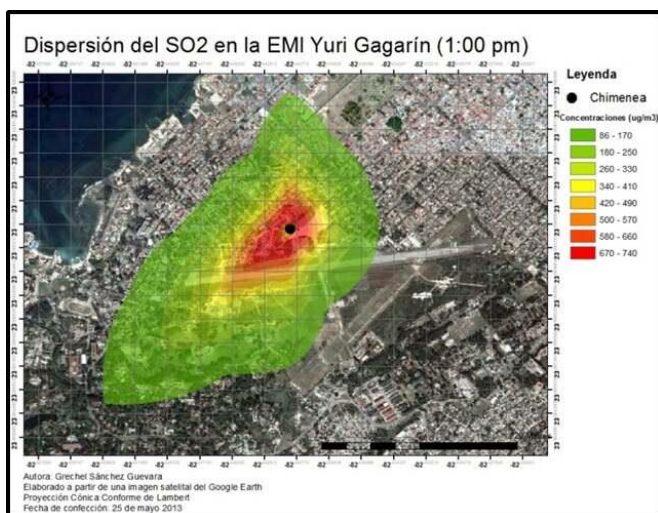
III.3.4- Resultados de la ejecución del modelo de la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999 a la 1:00 pm

En este horario, al igual que en de la 7:00am, el SO_2 fue el único contaminante que superó las CMA, el máximo valor de concentración emitida lo tomó la escuela de medicina Victoria de Girón

y el mínimo el MINAL. A diferencia de la 7 de la mañana, los contaminantes se dispersan hacia el Suroeste, debido a que el viento predominante en esta hora es proveniente del Noreste.

En la figura 10 se puede observar la dispersión del SO₂ en la EMI Yuri Gagarín a la 1:00 pm, este alcanzó una CMA de 741.15 µg/m³, el cual superó la norma establecida en 1.482 veces, con una distancia de ocurrencia de 71 m de la fuente emisora.

Figura 10- Dispersión del SO₂ emitido la EMI Yuri Gagarín.

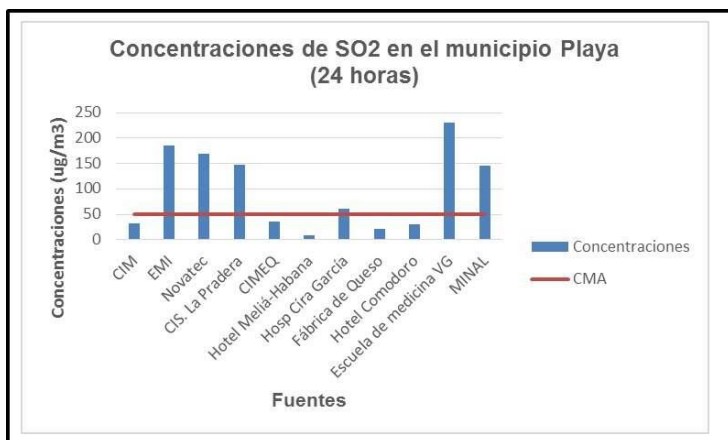


Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

III.3.5- Resultados de la ejecución del modelo de dispersión a las 24 horas, Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999

Luego de realizar los gráficos de concentraciones máximas para cada contaminante, se determinó que el dióxido de azufre fue el único que superó la norma establecida. En la figura 11 que aparece a continuación se muestran las concentraciones de SO₂ en las 11 fuentes utilizadas en la investigación, de las cuales 6 superaron la CMA. Estas fuentes son: EMI Yuri Gagarín, Laboratorio Novatec, CIS La Pradera, hospital Círa García, escuela de medicina Victoria de Girón y el MINAL.

Figura 11- Concentraciones máximas de SO₂ en el municipio Playa.

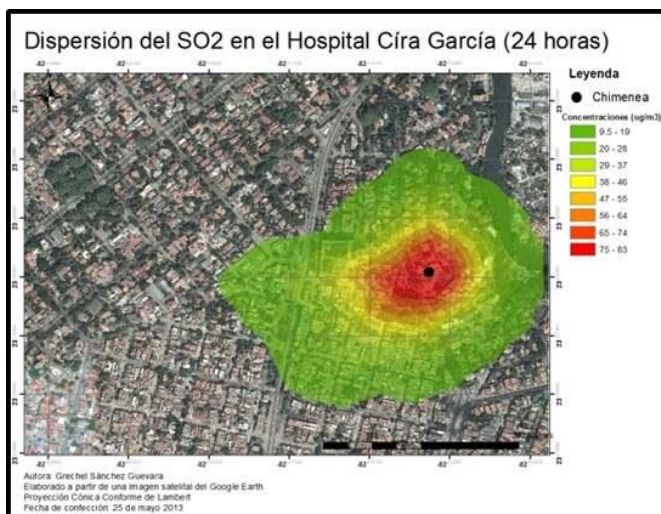


Fuente: Elaborado por la autora a partir de resultados obtenidos en la modelación.

De las 6 fuentes que superaron la norma de CMA la que tomó mayor valor coincide con los 2 primeros horarios, sin embargo el mínimo valor de concentración máxima emitida lo obtuvo el hospital Círa García, este alcanzó un valor de 61.8524 µg/m³, el cual superó en 1.237 veces lo

establecido por lo norma. La distancia a la que ocurre esta concentración máxima es a 40 m de la fuente emisora.

Figura 12- Dispersión del SO₂ emitido por el hospital Círa García.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

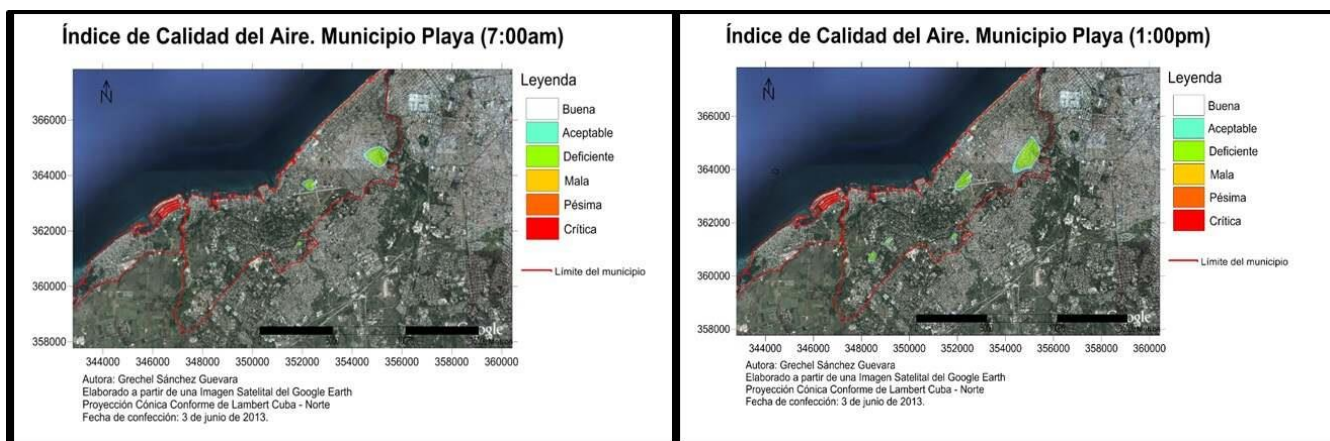
III.4- Índice de calidad del aire

Para determinar el índice de calidad del aire en el municipio se tuvo en cuenta las fuentes que sobrepasaron la norma de CMA descrita en la NC 39:1999. Se realizaron los mapas para los 3 escenarios mencionados anteriormente.

III.4.1- Índice de calidad del aire (7:00 am) y (1:00 pm)

Como se puede observar en la figura 21 la calidad del aire a las 7.00 am y a la 1:00 pm en el área de estudio es buena, excepto en algunos sectores de los consejos populares de Ceiba, Ampliación Almendares y Siboney, que debido a la presencia de las fuentes que superan la CMA establecida en la norma, presentan las categorías de aceptable y deficiente.

Figura 13- Índice de calidad del aire en el municipio Playa.



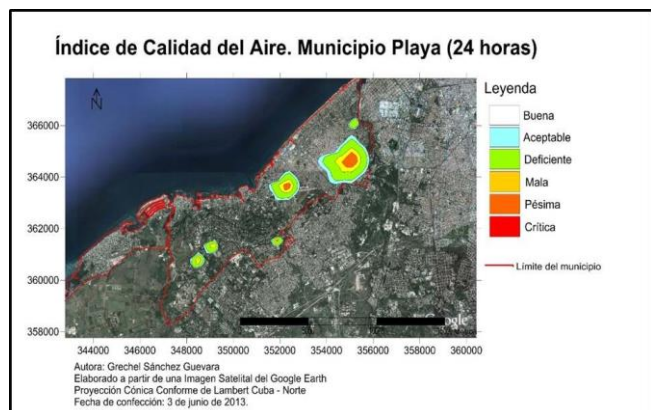
Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

III.4.3- Índice de calidad del aire (24 horas)

El índice de calidad del aire para el promedio diario se encuentra en el rango de buena a pésima, predominando la categoría de buena al igual que en los horarios anteriores. Algunos sectores del

municipio alcanzaron la categoría de pésima debido a las presencias de fuentes fijas que superaron la CMA estas fuentes son: MINAL, EMI Yuri Gagarín y la escuela de medicina Victoria de Girón.

Figura 14- Índice de calidad del aire en el municipio Playa.



Fuente: Elaborado por la autora a partir de una imagen satelital del Google Earth y los resultados obtenidos en la modelación con la Norma Cubana de Calidad del Aire NC 39:1999.

De manera general, se puede observar en las figuras que las concentraciones máximas alcanzadas por las emisiones de las fuentes fijas del municipio no sobrepasan los límites del territorio.

Conclusiones

1. A pesar de que el municipio Playa no cuenta con industrias altamente contaminantes se afecta la calidad del aire en algunos sectores incluidos dentro de sus límites administrativos.
2. El municipio Playa cuenta con 11 fuentes emisoras de gases y partículas contaminantes a la atmósfera.
3. En los escenarios de las 7:00am y 1:00pm se evidenció que de manera general la calidad del aire en el municipio es “buena”, exceptuando algunos sectores que se encuentran en la categoría deficiente por la cercanía a las fuentes de emisión.
4. Se comprobó que en el escenario de las 24 horas la calidad del aire que predomina en el municipio Playa es “buena”, pero también en las zonas aledañas a las fuentes principales aparecen las categorías de “aceptable”, “deficiente”, “mala” y “pésima”.
5. El resultado de las modelaciones verificó que las máximas concentraciones alcanzadas fueron producto de las emisiones de la escuela de medicina Victoria de Girón.
6. Los resultados de la dispersión comprobaron que el principal contaminante emitido por las fuentes fijas del municipio es el dióxido de azufre el cual supera la norma en los 3 escenarios.

Bibliografía

1. Batule, L. (2011). Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por la Antillana de Acero. Estudio de caso: Cotorro. Trabajo de Diploma 5to año. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
2. Campos, M, et al, (2001). Evaluación Ambiental Integral del Municipio Playa. Departamento de estudios geoambientales. Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana. Cuba.
3. Carrari, C, et al. (2004). Utilización de los modelos de dispersión atmosférica para la estimación de dosis de exposición. Mecánica computacional Vol. XXIII. Bariloche. Argentina.
4. Cuesta, O, et al, (2012). Diagnóstico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de La Habana. CITMA. Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.

5. Cuesta, O. et al. (2000). Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera Este de la Bahía de la Habana. INSMET. La Habana. Cuba.
6. Dispersión de contaminantes. Recuperado el 12 de marzo de 2013, de: <http://www.canarina.com/3ddisperes.htm>
7. Efecto de los contaminantes atmosféricos. Recuperado el 10 de enero de 2013, de : <http://www.jmarcano.com/biodiverso/index.html>
8. Evaluación ambiental. Recuperado el 12 de marzo de 2013, de: <http://www.canarina.com/evaluacionambiental.htm>
9. González, Y, et al. (2012). Evaluación de la calidad del aire, en la ciudad de Pinar del Río, considerando las emisiones de sus principales fuentes estacionarias. Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.
10. La Contaminación Atmosférica. Recuperado el 10 de enero 2013, de: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2.html#secundarios>
11. Lecha, L, et al. (1994). El Clima en Cuba. Editorial Academia. La Habana. Cuba.
12. LLanes, M.T. (2010). Pronóstico de la precipitación en el territorio de Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológica. Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.
13. López, C. (2007). Introducción a la Gestión de la Calidad del Aire. Instituto de Meteorología. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. La Habana. Cuba.
14. Martínez, M. (2012). Inventario de las emisiones y modelación de dispersión y transporte de los contaminantes atmosféricos en el municipio Cerro, La Habana. Trabajo de Diploma 5to año. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
15. Norma Cubana 111 (2004). Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
16. Norma Cubana 39 (1999). Requisitos higiénico – sanitarios. CITMA – INN – MEP, La Habana. Cuba.
17. Núñez, A. (1998). Geología. Fundación de la Naturaleza y el Hombre. La Habana. Cuba.
18. Oficina Nacional de Estadísticas (2011). Anuario Estadístico de La Habana. Cuba.
19. Rodríguez, D. et al. (2008). Estudio de las variables meteorológicas secundarias que intervienen en la difusión de contaminantes atmosféricos. Estudio de caso Pinar del Río. Universidad de Pinar del Río.