

CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO HABANA VIEJA

Sánchez, P¹. A. Wallo¹, A. Roque², O. Cuesta¹, A. Collazo¹, E. Echevarría²

1) INSMET/Centro de Contaminación y Química Atmosférica

2) INSMET/Centro de Física de la Atmósfera

Tel: (537) 8813411

FAX: (537) 338010

e-mail: sn_pedro07@yahoo.es

Resumen

Se estudiaron las condiciones meteorológicas generales y variables individuales que inciden en los procesos de contaminación atmosférica en la zona de estudio. Las características del viento en superficie y en la capa fronteriza mostraron condiciones favorables para que se produzcan en ese territorio condiciones de poca dispersión durante las primeras horas de la mañana, identificándose los rangos de velocidad del viento a los que se asocian valores de concentración determinados. Se identificaron tipos de situación sinóptica predominantes durante la ocurrencia de episodios de contaminación en la zona de estudio. Los resultados obtenidos en esta caracterización permitieron identificar algunas fuentes de expulsión que contribuyen al deterioro de la calidad del aire en el municipio Habana Vieja.

Introducción

La contaminación atmosférica en las zonas urbanas se desarrolla a partir de dos puntos de partida: la emisión de contaminantes primarios (es decir, los emitidos directamente desde las fuentes de emisión), y la formación de contaminantes secundarios (producidos por reacción química de los contaminantes primarios). Los primeros pueden ser causados por grandes fuentes individuales, como termoeléctricas y otras industrias, ubicadas comúnmente en el propio contexto urbano o en sus alrededores, o por grupos de fuentes pequeñas, principalmente transporte

automotor y otras actividades comerciales y domesticas habituales en regiones urbanas.

En la ciudad de La Habana, que en la actualidad concentra más del 50 % de su población en espacios reducidos del territorio, se ha manifestado en las dos ultimas décadas un protagonismo principal de las emisiones asociadas a la generación de electricidad y la refinación de crudos, con el área fuente más importante localizada alrededor de la bahía. La elevada frecuencia con que ocurren vientos del primer y segundo cuadrantes durante todo el año en la región (Martínez, 2001), y la localización en esas direcciones, de la mayor parte de las fuentes de emisión mencionadas, representan para el municipio Habana Vieja, un importante factor de riesgo de afectación por procesos de contaminación atmosférica.

La adecuada comprensión de la asociación entre las condiciones sinópticas y el desarrollo de mecanismos de contaminación es una premisa fundamental para la elaboración de criterios acerca de la calidad del aire a escala local.

Durante el verano, la situación más frecuente en el área geográfica de Cuba se caracteriza por la influencia sobre todo el territorio nacional del anticiclón del Atlántico (Lapinel, 1989). Cuando este sistema se encuentra extendido sobre la región, la masa de aire tropical se modifica haciéndose más húmeda e inestable en los niveles bajos provocando aumento de la nubosidad con actividad de chubascos y turbonadas. Si bien lo anterior es cierto, también durante esta época del año los movimientos turbulentos en superficie son más vigorosos, pudiendo determinar la ocurrencia de elevadas concentraciones de contaminantes.

En invierno, el anticiclón del Atlántico se retira y se hace más latente la influencia anticiclónica de origen continental, muy asociada al desplazamiento sobre el país en dirección oeste - este de frentes fríos cuya frecuencia de ocurrencia varía de una temporada invernal a otra, en dependencia de las condiciones de la circulación general de la atmósfera.

El presente trabajo aborda de forma integral la evaluación de la variación temporal de concentraciones diarias de contaminantes atmosféricos en el municipio Habana Vieja, y el objetivo principal asociado fue la identificación de interacciones específicas entre factores naturales y antropicos y su relación con las características actuales de la calidad del aire en ese municipio, tomando como base fundamental los antecedentes arriba mencionados.

Materiales y métodos

Características del área de estudio

Como puede apreciarse en la figura 1, el Municipio Habana Vieja limita al norte y al este con la bahía, mientras por el sureste y sur limita con los Municipios de Regla y 10 de Octubre, por el suroeste con el Municipio Cerro y al oeste con Centro Habana.

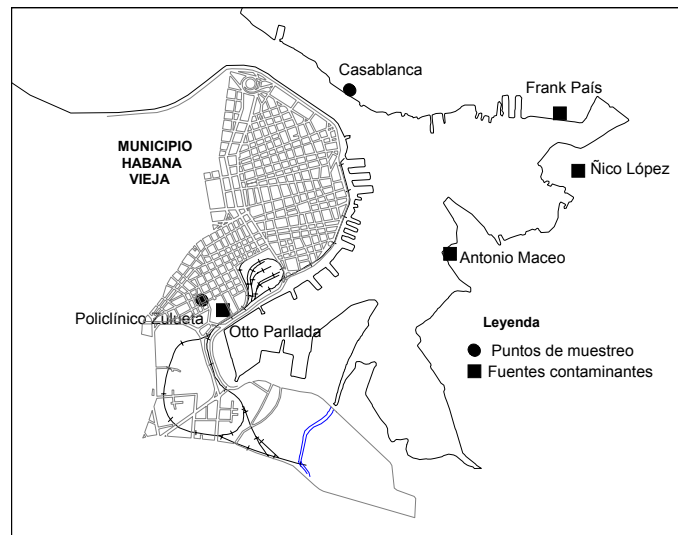


Fig. 1. Descripción del área de estudio

Aunque es uno de los municipios de menor extensión en la provincia Ciudad de La Habana (ocupa un área de 4,5 Km²), se cuenta entre los mas poblados del territorio, además de contar con una de las más notables acumulaciones de valores culturales e históricos en el país, tanto en espacios interiores como expuestos al aire libre, razones por las cuales debe conferirse al estudio de factores ambientales como la

contaminación atmosférica, especial atención dada su conocida influencia negativa en la salud y en la conservación de materiales.

En la actualidad el municipio cuenta en su propio territorio con solo una fuente industrial significativa desde el punto de vista de sus vertimientos de contaminantes a la atmósfera, que es una CTE. No obstante, como puede verse en la propia figura, no muy distantes hacia el este, se localizan algunas industrias capaces de incidir negativamente en la calidad del aire de La Habana Vieja, siempre que se den en la atmósfera de la región, las condiciones propicias para la difusión de contaminantes.

Partiendo de los elementos anteriores, en principio se concibió la realización de mediciones de contaminantes atmosféricos en dos puntos diferentes de ese municipio, lo que por diversas razones no pudo lograrse y solo se realizó el muestreo en un punto ubicado en el ultimo piso del Policlínico Roberto M. Zulueta. Este punto de muestreo fue ubicado teniendo en consideración la dirección más frecuente del viento determinada para un periodo de diez años en la estación meteorológica de Casablanca (Martínez, 2001). Aunque las mediciones de viento no fueron realizadas en el lugar de muestreo, las mismas se consideran validas para los fines de este estudio, teniendo en cuenta la ubicación del punto de muestreo a corta distancia de Casablanca.

Las muestras diarias de contaminantes fueron tomadas con un flujo entre 0,25 y 2 L/min de aire durante 24 horas (de 8:00-8:00, hora local), en dependencia del tipo de contaminante, mientras que las muestras mensuales representan la media aritmética del total de muestras diarias correspondientes a cada mes.

Para las determinaciones de las concentraciones se utilizaron los métodos espectrofotometricos habitualmente aplicados en los laboratorios del CECONT y de uso común en la Red de Vigilancia de la Atmósfera Global de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1998).

En el procesamiento estadístico se utilizaron los programas Microsoft Excel, el paquete estadístico de propósito general STATISTICA y el SPSS versión 8.0, a través de los cuales se obtuvo la estadística descriptiva, y se realizaron las pruebas de significación para las diferencias entre las series correspondientes a los periodos lluvioso y poco lluvioso. También se realizó el análisis de correlaciones lineales múltiples entre las variables de contaminación y las meteorológicas asociadas.

En el estudio del viento en la vertical, se empleó la información de la base de datos agrológicos de la estación Casablanca proveniente tanto de la estación de radar aerológico AVK-1 (años 93-94) con radiosondas del tipo MRZ-3^a y MARZ 2.0, como los realizados por la técnica de globo piloto (95-2000), a las 7 de la mañana hora local ó 1200 GMT. Estos datos fueron objeto de un riguroso chequeo crítico antes de su almacenamiento.

Se determinaron los valores medios de la rapidez del viento por nivel y su distribución por rumbos para los 8 puntos del compás, es decir Norte (N), Noreste (NE), Este (E), Sudeste (SE), Sur (S), Suroeste (SW), Oeste (W) y Noroeste (NW). Paralelamente se determinaron los máximos mensuales de la rapidez del viento en cada nivel.

La identificación de los Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) según la clasificación utilizada por Lapinel (1988) se realizó por especialistas del Centro del Clima del Instituto de Meteorología.

Resultados

Características del perfil vertical del viento

Una característica de los perfiles encontrados, la que se ha verificado guarda estrecha relación con la época del año, es la diferencia entre la magnitud de la rapidez del viento en el periodo lluvioso (mayo-octubre) y el poco lluvioso (noviembre-abril), en el que resulta ser mayor (fig. 2). Por otro lado, el máximo de rapidez del viento para

ambos períodos por debajo del primer kilómetro de altura ocurre entre 200 y 500 m. con valores medios que oscilan aproximadamente entre 5 y 6 m/s en el caso del período lluvioso, mientras que en el Período Poco Lluvioso oscilan aproximadamente entre 7 y 8 m/s.

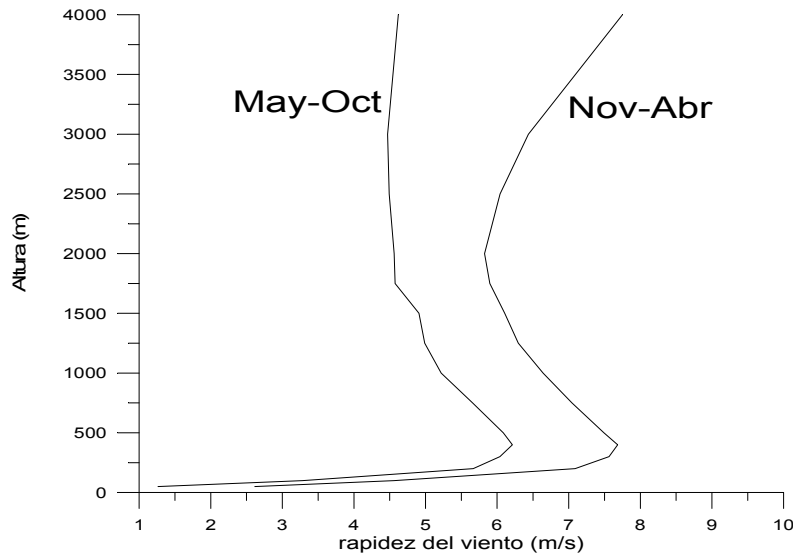


Fig. 2. Perfiles verticales del viento para los períodos: Poco Lluvioso (Nov-Abr) y Lluvioso (May-Oct) en la estación Casablanca a las 0700 hora local (1200 GMT). Período 1993-2000.

Este máximo por debajo de los 500 m de altura y que como se ha dicho se presenta en otras zonas del país, diversos autores (Carnesoltas, 1983, Amaro, 1985, Roque, 1991, Roque y Amaro, 1998) lo han asociado con la ocurrencia del Chorro de los Bajos Niveles.

En la Tabla 1 se aprecia que la inmensa mayoría de los valores de los máximos encontrados para cada nivel en Casablanca superaron los 10 m/s, condición indispensable para la ocurrencia de ChBN, por lo que no debe descartarse la aparición de este fenómeno a las 0700 hora local en esa estación, corroborando lo planteado por los autores citados acerca de que este fenómeno es típico en todo el país.

Tabla 1. Máximos mensuales de la rapidez del viento por niveles para la estación Casablanca a las 0700 hora local (1200 GMT). Período 1993-2000.

Nivel Mes	E	F	M	A	Y	J	L	G	S	O	N	D
Sup.	11.1	12	8	8.3	11.7	8	6	6	10	8.3	11	9.4
100	13.4	13.2	9.3	9.1	10.3	8.1	7	5.7	7.3	11.9	13	15.8
200	14.6	14	16	12	16	18	11.7	11	12.1	18.2	19	16
300	14.2	22.9	17.1	13.6	14.5	21.5	15	12.7	13.9	15	18.5	16.2
400	15	16.1	18.1	14.1	14.1	14	16.4	17.1	17.6	17.5	19	17.3
500	15.1	15	17	14.5	14	19	17.9	13.2	16.6	16.6	19	17.3
750	17.1	17.2	16.9	17.5	14.6	14	14.8	14	17.6	17.8	18.6	17.7
1000	16.1	17.2	16.5	19.4	11.4	12	13.7	13	15.1	18	18	17
1250	15.7	14.8	21.3	19.4	11.3	11.5	13.7	12.5	14.3	17	18.3	17.3
1500	17	14	41.7	14.2	14	13	12	11	13.8	17	18	18
1750	17	17	41.4	13.8	10.2	13.8	12.8	13	14.2	17	17	20.3
2000	23	18	25	13	11.8	14	13	9	25.3	16	16	19
2500	43.3	23	24.5	14.2	14	12.5	13	10	13.2	17.5	16.5	20.5
3000	43.3	23	31	15	10	13	12	13	20.7	19	16	20
4000	24.2	40	32	17	14	12	10	13	20.7	16	19	21

En la tabla puede apreciarse que los valores más bajos de esos máximos se alcanzan en los meses de julio y agosto desde superficie hasta 200 m de altura, mientras que el valor más alto se alcanzó en el mes de febrero en superficie e indistintamente para los meses de diciembre, noviembre y febrero para los demás niveles hasta 500 m.

En el estudio se observó además, que para todos los meses se presentan vientos con componente este hasta los 1500 m de altura, siendo el rumbo E el más predominante seguido del rumbo SE. Los vientos con componente N tienen su mayor frecuencia de ocurrencia en todas las capas entre los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, desde donde comienza a disminuir sustancialmente hasta volver a incrementarse a partir del mes de octubre en todas las capas.

Teniendo en cuenta que las principales fuentes emisoras tienen menos de 200 m de altura, este comportamiento del perfil vertical del viento, constituye la principal razón por la cual los estudios de contaminación a escala local deban concentrarse en los primeros 500 m de altura.

Caracterización estadística de las concentraciones

En las tablas 1 a 3 se muestra un resumen del comportamiento estadístico descrito por las concentraciones de los diferentes contaminantes medidos por periodos y para el año completo.

Tabla 1 Tallapiedra, período poco lluvioso (enero- abril, noviembre- diciembre), 2001.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Error Estd.
NO ₂	9.49564	0.10	25.0	3.360004	0.249747
NO	3.06586	0.10	17.0	3.452742	0.256640
NO _x	12.56149	0.20	42.0	6.085555	0.452336
NH ₃	4.44343	0.10	25.0	4.061845	0.301915
SO ₂	8.15146	0.23	32.0	4.730819	0.351639
H ₂ S	12.25669	4.43	30.0	4.023209	0.299043

Tabla 2 Tallapiedra, período lluvioso (mayo- octubre), 2001.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Error Estd.
NO ₂	6.521	0.100	65.100	7.040	0.5190
NO	2.130	0.100	17.000	2.880	0.2123
NO _x	8.651	0.200	65.300	8.806	0.6492
NH ₃	3.003	0.100	17.570	3.077	0.2268
SO ₂	10.865	0.050	72.300	11.007	0.8114
H ₂ S	13.306	0.125	50.020	8.112	0.5980

Tabla 3 Tallapiedra, período general, 2001.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Error Estd.
NO ₂	7.99614	0.100	65.10	5.720188	0.299408
NO	2.59392	0.100	17.00	3.207011	0.167863
NO _x	10.59005	0.200	65.30	7.818781	0.409254
NH ₃	3.71732	0.100	25.00	3.665726	0.191873
SO ₂	9.51954	0.050	72.30	8.591841	0.449718
H ₂ S	12.78570	0.125	50.02	6.431224	0.336626

En el análisis estadístico de los datos se comprobó que, tanto en términos absolutos como promedio, la presencia más relevante en la atmósfera alrededor del punto de medición correspondió al H₂S, cuya media aritmética para el año superó el estándar de

calidad del aire, comportamiento similar al determinado para ese contaminante en áreas al este de la cuenca de la bahía (Cuesta et. al, 2000). Al H_2S le siguieron en importancia por su presencia en la atmósfera local, el SO_2 y el NO_2 , mientras el NO y el NH_3 mostraron valores muy por debajo de sus correspondientes estándares.

En la comparación entre las medias aritméticas de las concentraciones de los diferentes contaminantes correspondientes a los periodos lluvioso y poco lluvioso del año (Tabla 4), se obtuvo que los óxidos de nitrógeno presentaron valores medios superiores en el periodo poco lluvioso del año, mientras que para el amoniaco no se encontraron diferencias significativas entre los valores medios de ambos periodos. Este comportamiento es similar al encontrado para otras localidades de la Ciudad de La Habana (Cuesta et al., 2002). El Dióxido de Azufre presentó valores medios de concentración mayores en el periodo lluvioso, en tanto el Sulfuro de Hidrogeno no presentó diferencias entre los periodos estudiados.

Al aplicar el método de las correlaciones lineales a la serie estudiada se obtuvo correlaciones significativas para el Dióxido de Nitrógeno con la fuerza del viento, la humedad relativa y la temperatura seca durante el periodo poco lluvioso. Los otros contaminantes no mostraron correlaciones significativas.

Tabla 4. Resultados de las comparaciones. Test de comparación de varianza (Prueba F) y Test de comparación de las medias (T test).

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NO2	Equal variances assumed	10.357	.001	-5.075	362	.000	-2.9417	.5797	-4.0816	-1.8017
	Equal variances not assumed			-5.110	262.678	.000	-2.9417	.5756	-4.0752	-1.8082
NO	Equal variances assumed	9.007	.003	-2.832	362	.005	-.9442	.3334	-1.5998	-.2885
	Equal variances not assumed			-2.826	347.631	.005	-.9442	.3341	-1.6012	-.2871
NOX	Equal variances assumed	2.558	.111	-4.886	362	.000	-3.8859	.7954	-5.4500	-2.3217
	Equal variances not assumed			-4.905	326.106	.000	-3.8859	.7923	-5.4445	-2.3272
NH3	Equal variances assumed	.972	.325	-3.827	362	.000	-1.4458	.3778	-2.1887	-.7029
	Equal variances not assumed			-3.815	333.108	.000	-1.4458	.3789	-2.1912	-.7004
SO2	Equal variances assumed	53.895	.000	3.040	362	.003	2.7110	.8918	.9572	4.4648
	Equal variances not assumed			3.063	249.886	.002	2.7110	.8851	.9678	4.4542
H2S	Equal variances assumed	22.651	.000	1.549	362	.122	1.0434	.6738	-.2817	2.3684
	Equal variances not assumed			1.559	269.594	.120	1.0434	.6693	-.2744	2.3611

Se rechaza la diferencia de las medias para el NH_3 , el NO_x y el H_2S . Las demás medias se consideran estadísticamente diferentes con una significación del 5%.

En el ámbito de los estudios de calidad del aire, la identificación de los tipos de situación sinóptica que afectan habitualmente a una región determinada, constituye una importante herramienta para la previsión de condiciones de alto potencial meteorológico para la ocurrencia de episodios de contaminación atmosférica.

Para evaluar la relación entre las condiciones meteorológicas generales y los procesos de contaminación en La Habana Vieja, fueron analizados datos de concentraciones diarias de SO₂, NO₂, y TSS, seleccionando los días en que fueron superados los estándares de calidad del aire y otras ocasiones consideradas de interés.

Como se observa en la Tabla 5, las concentraciones de ambos contaminantes que excedieron a los estándares de calidad del aire o se aproximaron a los mismos, ocurrieron durante el periodo lluvioso, con una mayor ocurrencia para el SO₂, mientras el NO₂ tubo solo dos días aislados con alta concentración durante el periodo.

Tabla 5. Situaciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación en La Habana Vieja, 2001.

Fecha	[SO ₂]	[NO ₂]	dd predom.	ff(Km/h)	Hrel. (%)	TSS	
150501	12.0	9.0	ne	16.5	77.0	AC mig. sobre el cont.	
160501	34.8	20.0	ne	25.0	79.0	AC mig. En el Golfo	
170501	16.4	19.5	nne	17.3	73.0	Onda Trop.	
310501	24.0	44.0	s	7.2	85.0	AC del AT.	
110601	18.6	11.5	e	3.9	81.0	AC del AT	
120601	22.9	15.8	ese	4.0	79.0	AC del AT	
130601	37.6	22.2	nne	17.0	77.0	AC del AT	
140601	24.7	11.6	ne	17.8	79.0	AC del AT	
230601	20.2	4.2	nne	4.3	81.0	Ac mig.sobre el At.	
240601	55.8	4.4	n	12.2	79.0	AC del AT.	
250601	72.3	2.6	nne	13.0	79.0	AC del AT.	
260601	42.7	2.9	ne	19.2	81.0	AC del AT.	
270601	57.0	15.0	ne	20.0	86.0	Onda Trop.	
280601	30.6	4.7	e	8.3	85.0	Onda Trop.	
290601	35.1	9.2	e	6.5	81.0	AC del AT.	
60801	25.9	7.0	e	11.0	81.0	AC del AT.	
70801	33.0	1.7	e	15.1	79.0	AC extend.	
80801	31.2	2.2	e	14.1	78.0	AC extend.	
90801	14.9	2.9	ene	11.0	82.0	AC del AT.	
100801	42.2	15.0	e	5.0	84.0	AC del AT.	
31001	16.3	65.1	e	16.3	78.0	Ac mig. sobre el cont.	

Destacó en ese sentido el episodio ocurrido entre el 23 y el 29 de Junio, tanto por su extensión como por concentrarse en el mismo los valores mas altos de SO₂. Esos días fueron caracterizados desde el punto de vista meteorológico, por el predominio de influencia anticiclónica sobre Cuba, la persistencia de vientos NNE al E, así como la ocurrencia reiterada de movimientos subsidentes del aire, factores que obraron de conjunto para provocar una muy limitada dispersión de los contaminantes en la atmósfera baja, dando lugar al señalado episodio. Durante los días del 15 al 17 de Mayo; 11 al 14 de Junio y 6 al 10 de Agosto se produjeron otras situaciones de interés, aunque en esos casos las concentraciones del SO₂ no llegaron a igualar el estándar de calidad del aire. Esta diferencia entre uno y otros episodios se relaciona principalmente con el comportamiento de las emisiones. Por pesquisas realizadas durante la etapa experimental, se conoció que durante el mes de Junio, de las tres CTE que operan en el territorio, solo funcionó la que se ubica hacia el NE del punto de medición, en la parte Este de la bahía. Dado que esa industria consume crudo nacional para su funcionamiento, existe una alta posibilidad de que la mayor parte del SO₂ detectado en Tallapiedra procediera de ese lugar, no así en casos como el episodio de agosto, cuando la referida planta no trabajó.

Tomando en consideración el comportamiento mostrado por el viento en superficie, puede afirmarse que las fuentes responsables de los procesos de contaminación ocurridos en el área de Tallapiedra son, en primera instancia las industrias ubicadas en el lado opuesto de la bahía habanera, con una incidencia menos marcada de la C.T.E. A. Maceo, enclavada a menos de un Km al NNE del punto de muestreo.

Las dos excedencias del NO₂ identificadas ocurrieron los días 31 de Mayo y 3 de Octubre. El primer caso estuvo asociado con la influencia sobre la región occidental, de un flujo anticiclónico extendido desde un centro ubicado al este sobre el Atlántico, que propició la persistencia de vientos del segundo cuadrante ese día, facilitando el arrastre del contaminante desde fuentes ubicadas en ese sector hacia el punto de muestreo.

El evento del 3 de Octubre se caracterizó por la influencia de un AC migratorio con centro en el continente, posterior al paso de un frente frío secundario por la región occidental el día 1. Esta situación facilitó el predominio de vientos de región norte, de manera que el aporte de contaminante pudiera estar asociado al transporte de masas de aire desde grandes áreas fuente ubicadas en esa región.

De los señalamientos anteriores puede concluirse que la ocurrencia de excedencias respecto a los estándares de calidad del aire establecidos para SO_2 y NO_2 se asocia a situaciones meteorológicas de tipo anticiclónico propios del periodo lluvioso, en las cuales estén presentes procesos de subsidencia y estabilidad atmosférica, que propician la acumulación de impurezas en la troposfera baja sobre el territorio de la Habana Vieja.

Conclusiones

- Los valores máximos de velocidad del viento pueden superar ampliamente los 10 m/s en cualquier mes de año a partir de los 200 m de altura, lo cual advierte de la posible presencia del fenómeno llamado Chorro de los Bajos Niveles a las 0700 hora local (12 GMT) en Casablanca como se ha manifestado en varias regiones de nuestro país.
- El rumbo predominante del viento sobre la región de estudio se manifiesta entre los rumbos E y SE durante todo el año en la mayoría de las capas analizadas en la vertical.
- Tanto para el SO_2 como para el NO_2 , las concentraciones mas altas ocurrieron durante el periodo lluvioso, destacando en ese sentido el episodio que se produjo con el SO_2 en los días del 23 al 29 de Junio, caracterizado desde el punto de vista meteorológico, por el predominio de influencia anticiclónica sobre Cuba.
- Las fuentes responsables de los procesos de contaminación ocurridos en el área de Tallapiedra son, en primera instancia las industrias ubicadas en el lado opuesto de la bahía habanera, con una incidencia menos marcada de la C.T.E. A. Maceo, enclavada a menos de un Km al NNE del punto de muestreo.

- La ocurrencia de excedencias respecto a los estándares de calidad del aire establecidos para SO₂ y NO₂ se asocia a situaciones meteorológicas anticiclónicas en las cuales están presentes procesos de subsidencia y estabilidad atmosférica, que propician la acumulación de impurezas en la troposfera baja sobre el territorio de la Habana Vieja.

Referencias bibliográficas

1. Amaro, L. et al. (1985): El chorro de los bajos niveles en Cienfuegos. Instituto de Meteorología, ACC (inédito), 10 p.
2. Carnesoltas, M. et al. (1985): Características del chorro de los bajos niveles sobre Cuba. II modelo analítico de la circulación local de brisa. Instituto de meteorología. ACC, (inédito). 18 p.
3. Cuesta, O., et al., (20001): Caracterización del medio ambiente atmosférico en la zona de la refinería Níco López. Informe Científico Técnico, pp. 130, Instituto de Meteorología, La Habana.
4. Lapinel, Braulio (1988): La Circulación Atmosférica y Las Características Espacio Temporales de las Lluvias en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Candidato a Dr. en ciencias Geográficas. Camagüey.
5. 16 Martínez, Clara L. (2001) Valores medios mensuales de algunas variables meteorológicas y rosa de los vientos de las provincias habaneras, Matanzas, Holguín, Santiago de Cuba, Guantánamo e Isla de la Juventud. Instituto de Meteorología, Agencia del Medio Ambiente, CITMA, Ciudad de La Habana, 181 pp.
6. Roque, A. (1991): Característica físico – estadística de los máximos de rapidez del viento en la Capa Fronteriza Planetaria sobre Camagüey. Tesis de Diploma en opción al título de Licenciado en Física. Instituto de Meteorología, ACC, 57 p.
7. Roque, A. y Amaro, L. (1998): Particularidades de los máximos de rapidez del viento en la Capa Fronteriza Atmosférica en la región de La Quebrada. Rev. Bras. Meteor., vol. 12, No. 2, pp 51-63.
8. WMO (1987): International Operation Handbook for Measurement of Back Ground Atmospheric Pollution, Geneva, Switzerland.

