

Contaminación atmosférica en el municipio Regla: Aplicación del índice de calidad del aire (ICA)

Autores: OSVALDO CUESTA SANTOS, ANTONIO WALLO VÁZQUEZ, ARNALDO COLLAZO ARANDA Y PATRICIA CASTELLANOS PENTON

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología de Cuba, CITMA . e-mail: ocuesta@met.inf.cu

Resumen:

El Índice de Calidad del Aire se considera un indicador global de la calidad del aire en un momento determinado o día y en una estación de monitoreo en concreto. El ICA se ha de interpretar como un indicador orientativo de la calidad del aire enfocado al público en general. Los especialistas habrán de tener en cuenta otros factores a la hora de estudiar los niveles de contaminación como será la sinergia entre contaminantes, el efecto de sustancias no evaluadas, la presencia de compuestos no perjudiciales pero sí molestos.

Se estudia el comportamiento de la contaminación atmosférica utilizando un Índice de Calidad del Aire (ICA) en dos puntos de monitoreo en el municipio Regla, Ciudad de La Habana donde se miden los contaminantes principales: SO₂, NO₂, y Partículas Suspendidas Totales (PST). Se encontró que las Partículas y el NO₂ son los contaminantes que mas contribuyen al deterioro de la calidad del aire, ocurriendo con mayor frecuencia días con categorías deficiente y mala y mostrando un incremento en las categorías de pésima y critica. Se dan las recomendaciones necesarias para la reducción de la contaminación del aire. Se recomienda la utilización de este ICA para la evaluación de la contaminación del aire en los asentamientos humanos como una buena herramienta para la información y la gestión ambiental.

Palabras claves: Calidad del Aire, Índice, Contaminación Atmosférica, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Partículas.

Introducción

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.

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es un indicador global de la calidad del aire en un momento determinado o día y en una estación de medida en concreto. El ICA se ha de interpretar como un indicador orientativo de la calidad del aire enfocado al público en general. Los especialistas habrán de tener en cuenta otros factores a la hora de estudiar los niveles de contaminación como será la sinergia entre contaminantes, el efecto de sustancias no evaluadas, la presencia de compuestos no perjudiciales pero sí molestos, etc.

El ICA resultante del día viene determinado por aquel contaminante que nos da la concentración con más incidencia negativa sobre la salud de las personas. Es importante entender que el ICA no es el resultado de hacer una media de una serie de valores sino que es una cifra que pondera la aportación de la concentración medida de cada uno de los contaminantes a la calidad del aire.

El presente trabajo estudia la calidad del aire utilizando un Índice de Calidad del Aire (ICA) en dos puntos de monitoreo durante tres años (2001 – 2003), en los cuales se midieron los contaminantes principales: SO₂, NO₂, y Partículas Suspendidas Totales (PST). Para los contaminantes monitoreados se analizó su comportamiento respecto al índice utilizado y se dan las recomendaciones necesarias para la reducción de la contaminación del aire.

Materiales y métodos

Las estaciones de monitoreo utilizadas fueron Casablanca y Regla en las cuales se midieron las concentraciones de los contaminantes principales durante el periodo del 2001 al 2003 de forma simultanea, estas estaciones están situadas en la zona de la ribera este de la Bahía de La Habana y dan cobertura suficiente para conocer la contaminación atmosférica en el municipio Regla. La localidad presenta una intensa actividad industrial y portuaria. En sus márgenes se asientan dos centrales termoeléctricas (a partir del 2001 dejaron de prestar servicio), una refinería de petróleo y otras industrias más pequeñas, que también contribuyen con sus emisiones a la contaminación del aire. La cercanía de estas potentes fuentes contaminantes, así como el intenso tráfico de medios de transporte automotor, ferroviario y marítimo, y la alta densidad de población,

hacen de esta zona una de las mas afectadas por la contaminación atmosférica dentro de la ciudad de La Habana (Cuesta y Cabrera, 1994; Cuesta et al., 2002). La Estación Casablanca debido a su ubicación al norte y en la localidad del mismo nombre recibe poca influencia de las fuentes de la ciudad, aunque en determinadas situaciones meteorológicas se produce una marcada influencia de estas fuentes (Cuesta et al., 2002).

Los contaminantes muestreados fueron: el SO₂, NO₂, y las Partículas Suspendidas Totales (PST) que son algunos de los principales compuestos propios de las zonas urbanas. Los datos obtenidos responden a muestras diarias y se tomo una serie de tres años comprendida desde el 2001 al 2003.

Los valores obtenidos de las mediciones y análisis químicos de los contaminantes estudiados se realizaron según las metodologías del Centro de Contaminación y Química Atmosférica (CECONT) del Instituto de Meteorología, que se rigen por lo general por las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el muestreo, análisis químico y procesamiento de la información (WHO, 1980; 1997) y (WMO, 1990).

La situación de la calidad del aire o grado de contaminación del aire en los asentamientos humanos se evalúa mediante el Índice de Calidad del Aire (ICA)

el cual fue establecido en la Norma Cubana 111: 2002, el cual incluye una escala de seis categorías: Buena, Aceptable, Deficiente, Mala, Pésima y Crítica. El ICA se determina utilizando como criterio el valor resultante del cociente de las concentraciones reales de cada uno de los contaminantes, tomando como denominador las Concentraciones Máximas Admisibles (Cma) correspondientes al período de tiempo evaluado y que están establecidas en la Norma Cubana 39: 1999.

De acuerdo con el tipo de toxicidad específica de cada contaminante principal, se establece la evaluación del ICA (Ver Tabla 1) de cada contaminante para un período de tiempo diario e instantáneo o ambos:

- **Índice de valor 0:** Corresponde a un nivel de concentración inferior al límite de detección del método analítico normalizado.
- **Índice de valor 100:** Corresponde al valor (100%) de la Cma del contaminante principal evaluado según la NC. 39: 1999, en mg.m⁻³.
- **Índice de valor 200:** Corresponde a un valor de concentración real que supera en 2 veces la Cma del contaminante principal evaluado según la NC. 39: 1999. Se evalúa sucesivamente hasta el Índice de valor 500.

Tabla 1. Equivalencia del índice tomando como referencia las concentraciones máximas admisibles (Cma) promedio diarias e instantáneas.

Contaminante Principal	Índice 100 Calidad Aceptable		Índice 300 Límite inferior de Calidad Pésima		Índice 500 Límite inferior de Calidad Crítica	
	Diario	Horario	Diario	Horario	Diario	Horario
Dióxido de Azufre (SO ₂)	0,05	0,5	0,15	1,5	0,25	2,5
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	0,04	0,085	0,12	0,255	0,2	0,425
Partículas en suspensión totales (PST)	0,1	0,3	0,3	0,9	0,5	1,5
Partículas en suspensión ≤ 10 μm (PM ₁₀); Partículas torácicas	0,05	No se aplica	0,15	No se aplica	0,25	No se aplica
Monóxido de Carbono (CO)	3	5	9	15	15	25
Ozono (O ₃)	No se aplica	0,08*	No se aplica	0,24	No se aplica	0,4

Nota: Para evaluar el ICA Diario para PST se asume la Cma media diaria de 0,1 mg.m⁻³, correspondiente a polvos con contenido ≥ 50 % de óxido de silicio (SiO₂) en la NC. 39: 1999.

Una vez determinada individualmente la concentración promedio diaria o instantánea de cada contaminante principal, se divide por la Cma correspondiente al contaminante y período de tiempo

evaluado; el valor así obtenido, de acuerdo con su magnitud se interpola linealmente en la Categoría correspondiente, de acuerdo a los límites establecidos en la Tabla 2, calculándose los subíndices correspondientes.

Tabla 2. Relación entre el Índice de Calidad del Aire y posibles implicaciones sanitarias relacionadas con cada Categoría de Calidad

Índice	Categoría	Comentarios
0 - 79	Buena	No sobrepasa el 79 % del valor de la Cma prescrito en la NC. 39. 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. Ligeró 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.

Resultados y discusión

Se analiza el comportamiento de la calidad del aire a través de las diversas categorías del índice (ICA) en las dos estaciones de monitoreo y por cada contaminante en específico y finalmente se realiza el estudio del índice en general, pues la norma establece que el índice de ese día corresponde al mayor valor de los índices correspondientes de cada uno de los contaminantes muestreados.

Al observar la marcha mensual (Tabla 3) del ICA correspondiente al material particulado (PST) en la estación de Regla podemos inferir que la categoría

de calidad del aire mala presenta mayor cantidad de días que las restantes durante todos los meses. El máximo ocurre en el mes de Enero con 89. La categoría pésima ocurre con mucho menos frecuencia, pero está asociada a los meses de Diciembre a Marzo su máximo de ocurrencia. Durante el mes de Febrero se repitieron los días con categoría crítica con más frecuencia. De este análisis podemos concluir que durante el período poco lluvioso se produce la mayor afectación en la calidad del aire y pueden aparecer los más importantes efectos a la salud.

Tabla 3. Aplicación del ICA para las PST en la Estación de Regla (Mensual).

Índice	Categoría	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0-79	Buena	0	0	0	0	5	1	7	5	0	1	1	0
80-99	Aceptable	0	0	4	0	1	0	1	0	0	0	0	1
100-199	Deficiente	0	5	19	12	17	4	0	0	16	21	22	0
200-299	Mala	89	57	52	63	54	76	77	74	65	63	61	73
300-499	Pésima	3	14	16	13	13	9	5	8	8	7	5	16
>500	Crítica	1	8	2	2	3	0	3	6	1	1	1	3

El análisis anual del material particulado (Tabla 4) arrojó que hay una marcada cantidad de días siempre muy superior a las demás categorías en la de calidad del aire mala con su máximo en el 2001 de 317, también son

apreciables los registros observados en la pésima y la crítica, que aunque son mucho menores que la categoría Mala se aprecia su máxima incidencia durante el año 2003 con 66 y 21 casos respectivamente.

Tabla 4. Aplicación el ICA para las PST en la Estación de Regla (Anual).

Índice	Categoría	2001	2002	2003	TOTAL
0-79	Buena	0	0	20	20
80-99	Aceptable	1	0	6	7
100-199	Deficiente	17	34	65	116
200-299	Mala	317	300	187	804
300-499	Pésima	25	26	66	117
>500	Crítica	5	5	21	31

En el total general para los años estudiados se mantiene la categoría Mala con la mayor cantidad de casos con 804. Observándose que las PST durante este período pudieron provocar un aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos a la salud, sobre todo, en grupos de alta susceptibilidad y en particular durante el último año analizado. En la Estación Casablanca no se pudo muestrear este contaminante.

Desde el punto de vista mensual, para el NO₂ medido en la estación de Regla (Tabla 5) la categoría de calidad del aire deficiente registra la mayor cantidad de días en los meses de junio y julio con 43 casos respectivamente. Dentro de las categorías Buena y la Aceptable ocurren un número considerable de casos y en la categoría Crítica ocurren muy pocos casos, y la mayoría está concentrada en los meses de febrero y marzo con 7 y 14 respectivamente.

Tabla 5. Aplicación del ICA para el NO₂ en la Estación de Regla (mensual).

Índice	Categoría	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0-79	Buena	24	25	27	40	46	8	15	33	22	33	33	26
80-99	Aceptable	20	22	12	19	20	19	20	37	27	40	27	28
100-199	Deficiente	23	15	23	14	25	43	43	17	18	9	27	21
200-299	Mala	16	7	14	13	0	17	10	1	13	4	2	7
300-499	Pésima	10	8	3	4	2	3	3	4	10	6	1	9
>500	Crítica	0	7	14	0	0	0	2	1	0	1	0	2

Al estudiar el NO₂ de forma anual en la Estación de Regla (Tabla 6) podemos ver que en la categoría de calidad del aire Aceptable ocurre la mayor cantidad de días durante el año 2002 con 153. Durante el año 2003 aparecen 27 casos en la categoría crítica, los únicos que se registran durante todo el período estudiado. En los tres años estudiados tenemos que la categoría Buena tiene mayor frecuencia de ocurrencia con 332. Después la categoría Aceptable presenta 291 casos. Las categorías Deficiente y Mala presentan una frecuencia de ocurrencia de 278 y 104 respectivamente, en estas categorías puede ocurrir un ligero 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.

Las categorías Pésima y Crítica presentan su máximo de ocurrencia durante el año 2003 lo cual puede dar lugar a un incremento del riesgo o probabilidad de ocurrencia de los efectos adversos sobre la salud de la población general y en particular en los grupos mas susceptibles (niños y adultos mayores de 65 años), lo cual se traduce en un evidente incremento de la morbilidad y mortalidad y se asocian a las situaciones de alerta y emergencia ambiental.

Tabla 6. Aplicación del ICA para el NO₂ de Regla (Anual).

Índice	Categoría	2001	2002	2003	Total
0-79	Buena	131	100	101	332
80-99	Aceptable	127	153	11	291
100-199	Deficiente	104	98	76	278
200-299	Mala	1	14	89	104
300-499	Pésima	2	0	61	63
>500	Crítica	0	0	27	27

En la Estación de monitoreo de Casablanca la aplicación del ICA refleja la poca influencia que tienen las fuentes potentes de emisión de contaminantes sobre la localidad. En estudios anteriores (Cuesta et al., 1994, 2000, 2002) se plantea que solo bajo condiciones sinópticas que provocan vientos de componente sur y en condiciones de poca dispersión y calmas se producen afectaciones de las fuentes antrópicas potentes de los alrededores. Para el caso del NO₂ en Casablanca se encontró que solo ocurren 10 casos en la categoría Aceptable y dos en la Deficiente durante los tres años de estudio. El resto de los días tienen la categoría de Buena. Para el

caso del SO₂, en las estaciones de Casablanca y Regla tenemos que siempre ocurre la categoría de Buena.

El índice General de la Calidad del Aire (Anual), calculado a partir de los valores máximos diarios (Tabla 7), muestran la mayor frecuencia de ocurrencia en la categoría Mala durante el año 2001, esta misma categoría ocurre con mayor frecuencia durante el 2002 y el 2003, pero decreciendo a 305 y 172 casos respectivamente. La ocurrencia de las categorías Pésima y Crítica aumentan considerablemente durante el año 2003 lo cual implica un deterioro de la calidad del aire en el territorio de Regla.

Tabla 7. Aplicación del ICA General (Anual).

Índice	Categoría	2001	2002	2003	TOTAL
0-79	Buena	0	0	6	6
80-99	Aceptable	1	0	4	5
100-199	Deficiente	19	31	57	107
200-299	Mala	313	305	172	790
300-499	Pésima	27	24	83	134
>500	Crítica	5	5	43	53

En cuanto a la cantidad de días en cada categoría por meses (Tabla 8) estos se observan en su mayoría en las categorías de Deficiente y Mala. Esta última es la más frecuente, produciéndose un máximo en enero con 82 casos. En el trimestre junio – agosto existe un máximo relativo, con valores por encima de 70 casos en estos meses.

Las más altas incidencias sobre todo en la crítica aparecen en febrero y marzo. Poniéndose de manifiesto de nuevo que el período poco lluvioso del año es en el que se producen las mayores afectaciones con efectos adversos a la salud y una mayor cantidad de días con posibilidad de ocurrencia de las situaciones de advertencias ambientales.

Tabla 8. Aplicación del ICA General (Mensual).

Índice	Categoría	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0-79	Buena	0	0	0	0	2	0	1	2	0	1	0	0
80-99	Aceptable	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
100-199	Deficiente	0	6	21	8	20	0	5	2	5	17	22	1
200-299	Mala	82	54	47	66	52	79	76	71	70	65	61	67
300-499	Pésima	9	11	9	14	15	11	7	11	14	8	6	19
>500	Crítica	1	13	15	2	3	0	3	7	1	2	1	5

De todo el análisis anterior se desprende que el material particulado y el NO₂ son los que están produciendo mayores afectaciones en la calidad del aire de la zona de estudio. EL ICA presenta gran número de días en la categoría de deficiente y mala, produciéndose incluso en la categoría de pésima y crítica.

Los programas de descontaminación del aire en los asentamientos humanos se deben ejecutar sobre la base de los niveles o categoría del Índice de Calidad del Aire determinado por los datos obtenidos en el proceso de vigilancia. Cuando la categoría de la calidad del aire se valore de mala, se deben intensificar las acciones de vigilancia y control de las fuentes emisoras y de monitoreo ambiental. Además establecerán planes a diferentes plazos, dirigidos a impedir el incremento de la misma y lograr su progresiva reducción.

Cuando la categoría de la calidad del aire se valore de pésima, se implementará de inmediato un plan de medidas urgentes de control de las fuentes emisoras previamente elaborado, dirigidas a impedir el empeoramiento y lograr una rápida mejoría de la situación, mediante la inmediata reducción de las emisiones principales, a la vez que se notificará de la situación a las autoridades sanitarias del territorio, con vistas a la toma de medidas de control preventivo y asistencial correspondientes; se intensificará el monitoreo ambiental, dirigido a evaluar el comportamiento de la situación ambiental y la efectividad de las acciones de control establecidas.

Cuando la categoría de la calidad del aire alcance la categoría de crítica, se implementará de inmediato un plan de medidas urgentes de control de las fuentes emisoras previamente elaborado, dirigidas a impedir

el empeoramiento y lograr por todos los medios disponibles y factibles la rápida mejoría de la situación, mediante la reducción inmediata de todas las emisiones posibles del territorio sin el comprometimiento de los servicios básicos esenciales para la sociedad, a la vez que se notificará de inmediato la situación a las autoridades sanitarias del territorio, con vistas a la toma de medidas de control preventivo y asistencial correspondientes; se intensificará el monitoreo ambiental, dirigido a evaluar el comportamiento de la situación ambiental y la efectividad de las acciones de control establecidas.

Conclusiones y Recomendaciones

Las PST es el contaminante que presenta los mayores valores del Índice de Calidad del Aire durante el período muestreado en la estación de Regla. Aunque el NO₂ también está incidiendo en el deterioro de la calidad del aire. En la estación de Casablanca el ICA mostró que en general la calidad del aire es buena.

El índice General de la Calidad del Aire (Anual), calculado a partir de los valores máximos diarios, muestra la mayor frecuencia de ocurrencia en la categoría Mala durante el año 2001, esta misma categoría ocurre con mayor frecuencia durante el 2002 y el 2003, pero decreciendo a 305 y 172 casos respectivamente. La ocurrencia de las categorías Pésima y Crítica aumentan considerablemente durante el año 2003 lo cual implica un deterioro de la calidad del aire en el territorio de Regla.

En cuanto a la cantidad de días en cada categoría por meses estos se observan en su mayoría en las de Deficiente y Mala. En la categoría Mala, la más frecuente encontramos un máximo en enero con 82

casos. En el trimestre junio – agosto existe un máximo relativo con valores por encima de 70 casos en estos meses.

Las más altas incidencias sobre todo en la crítica aparecen en febrero y marzo. Poniéndose de manifiesto de nuevo que el período poco lluvioso del año es en el que se producen las mayores afectaciones con efectos adversos a la salud y una mayor cantidad de días con posibilidad de ocurrencia de las situaciones de alertas y emergencias ambientales.

Se recomienda la utilización de este ICA para la evaluación de la contaminación del aire en los asentamientos humanos como una buena herramienta para la información y la gestión ambiental. Se utiliza por primera vez en nuestro país y este índice es parte de la Norma Cubana 111:2002: Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.

Referencias

- Cuesta-Santos, O. y A. Cabrera (1994):** El NO₂ troposférico en diferentes sistemas meteorológicos en dos localidades de la Ciudad de La Habana. *Atmósfera*, Vol. 7, No. 1, 31 - 46.
- Cuesta-Santos, O. et al.,(2000):** Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la Bahía de la Habana. Informe Técnico, pp. 226, Instituto de Meteorología, La Habana.
- Cuesta Santos, O., A. Collazo, A. Wallo, P. Sánchez, R. Labrador (2002):** Utilización de un índice de calidad del aire (ICA) en asentamientos humanos. Resultados preliminares. *Revista Cubana de Meteorología*. Vol. 9, No. 2, 2002.
- NC 39:1999:** *Atmósfera. Requisitos Higiénico - Sanitarios.*
- W. H. O. (1997):** *Healthy Cities Air Management. Information System, AMIS 1.0, 1997, WHO, Geneva.*
- W.H.O. (1980):** *Analysing and interpreting air monitoring data. GEMS, WHO-UNEP, offset publication No. 51, 53 pp. Geneva.*
- W.M.O. (1990):** *Compendio de Meteorología. Química Atmosférica y Meteorología de la Contaminación del aire. Vol. II, parte 6 No.364 pp. 237.*

Abstract

Air Quality Index is considered a global indicator of urban air pollution in a certain time or day and in a monitoring station place. The AQI one must interpret as an indicative to address of air quality focused the public in general. The specialists will keep in mind other factors when studying the pollution levels such as synergy among pollutants, effect of not evaluated substances and other. Air pollution behaviours is studied using an Air Quality Index (AQI) in two monitoring station in county Regla, Havana City where the main pollutants are measured: SO₂, NO₂, and Total Suspended Particles (TSP). It was found that Particles and NO₂ are pollutants that contribute to air quality badly. Faulty and bad categories are happening with more frequency days and its showing an increment in worst and critical categories. The necessary recommendations are given for the reduction of air pollution. The use of this AQI is recommended for evaluation of air pollution in the human health as a good tool for information and environmental management.

Key words: *Air Quality Index, Air Pollution, Sulphur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Particles.*