

COMUNICACIÓN CORTA

**METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD
DEL AIRE (ICA) ANUAL EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR**

**METHODOLOGY TO CALCULATE OF AIR QUALITY INDICE IN CUENCA
CITY, ECUADOR**

Diana Lucía Moscoso Vanegas^{1}, Mayra C. Morales Pérez²,
Zenaida Rodríguez Negrín³ y Alejandro Alberto Arévalo Mora⁴*

¹ Centro de Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca,
Av. 12 de Abril. Cuenca, Ecuador.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta
Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Centro de Bioactivos Químicos. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuaní
km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

⁴ Consultor Privado, Urbanización Río Sol, Guayaquil, Ecuador.

Recibido: Septiembre 18, 2019; Revisado: Octubre 24, 2019; Aceptado: Noviembre 25, 2019

RESUMEN

En la actualidad, el 98 % de ciudades de países pobres no cumplen los estándares de calidad de aire según la Organización Mundial de la Salud, (OMS, 2018) y la ciudad de Cuenca en Ecuador, no está exenta a esta problemática debido al crecimiento demográfico, al desarrollo tecnológico y el uso excesivo del transporte que han provocado un aumento de la contaminación atmosférica. Por esta razón, se propone un procedimiento para el cálculo de un índice cuantitativo de calidad de aire anual (ICA) que integra los inventarios de emisión de las fuentes contaminantes, la modelación de la dispersión y el monitoreo de los principales contaminantes atmosféricos con estaciones de monitoreo pasivo y semiautomáticas validadas. El resultado de la aplicación del procedimiento para el cálculo del ICA en la ciudad constituye una herramienta de evaluación científica que puede ser utilizada a escala local en ciudades de países en desarrollo.

Palabras clave: contaminación; índice de calidad de aire; monitoreo.



Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Diana L. Moscoso, Email: diana.moscoso@ucuenca.edu.ec



ABSTRACT

Currently, 98 % of cities in poor countries do not have air quality standards according to the World Health Organization (WHO, 2018) and the city of Cuenca - Ecuador, is not exempt of this problem due to demographic growth, technological development and excessive use of transport that have caused an increase in air pollution. For this reason, in this paper is proposed a procedure for calculating an annual quantitative air quality index (ICA) that integrates emission inventories from pollutant sources, dispersion modeling and monitoring of main air pollutants using stations with passive monitoring and semi-automatic validated. The procedure for ICA calculation in the city constitutes a scientific evaluation tool that can be applied at local level in cities of developing countries.

Keywords: pollution; air quality index; monitoring.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de contaminantes atmosféricos, presentes en las urbes, es un tema de preocupación tanto a nivel nacional como mundial; estudios recientes asocian la presencia de estos contaminantes con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, resultando necesario un control de la calidad del aire, mediante medidas a nivel normativo, operativo e institucional, más estrictas (Yassi y Kjellstrom, 2001).

En la ciudad de Cuenca - Ecuador, en los últimos años el desarrollo tecnológico, el crecimiento demográfico y el uso del transporte han traído como consecuencia el aumento de la contaminación atmosférica (Moreno, 2010). En esta ciudad se cuenta con una “Red de Monitoreo de la Calidad del Aire” que inició sus actividades desde el 2007, y la conforman 19 puntos de vigilancia distribuidos en diferentes sitios de la ciudad, (Espinoza, 2012) y desde septiembre del 2012 se incorpora la estación automática de calidad del aire y de meteorología, registrando en tiempos reales la concentración de los contaminantes (CO, NO₂, SO₂, PM_{2.5} y O₃), pero no se han establecido metodologías para el cálculo del ICA en la ciudad; por esta razón, es importante contar con la definición y evaluación de un Índice de calidad del aire como una herramienta útil para la información y la gestión ambiental.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1 se muestra el esquema metodológico para el procedimiento de cálculo del ICA.

2.1. Diagnóstico ambiental.

La zona de estudio es la ciudad de Cuenca ubicada en un valle interandino de la sierra sur ecuatoriana, a una altitud promedio de 2 550 metros sobre el nivel del mar y ocupa una superficie de aproximadamente 72 km². Los datos climatológicos fueron tomados de la estación meteorológica del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, durante 5 años, período en que se muestrearon los contaminantes en la ciudad.

Las variables meteorológicas que son indicadores de clima son la temperatura y las precipitaciones; en el periodo estudiado la temperatura media no presenta variaciones significativas manteniéndose en el rango de 15,42 a 16,05 °C; y en lo que respecta a la

precipitación varía notablemente sin presentar ninguna tendencia.

Teniendo en cuenta el comportamiento de otros factores meteorológicos como la dirección y velocidad del viento, donde esta última se ha ido incrementando con valores que oscilan entre 4,7 hasta 7,7 m/s, se justifica que estas variables puedan ser consideradas como variables ambientales influyentes en los niveles de concentración de contaminantes y en el ICA anual. Las direcciones de viento predominantes es desde el oeste y suroeste, y el parque industrial está ubicado al noreste de la ciudad, por lo que la dispersión de las emisiones a sotavento de las fuentes se dirige hacia la parte poblada de Cuenca.

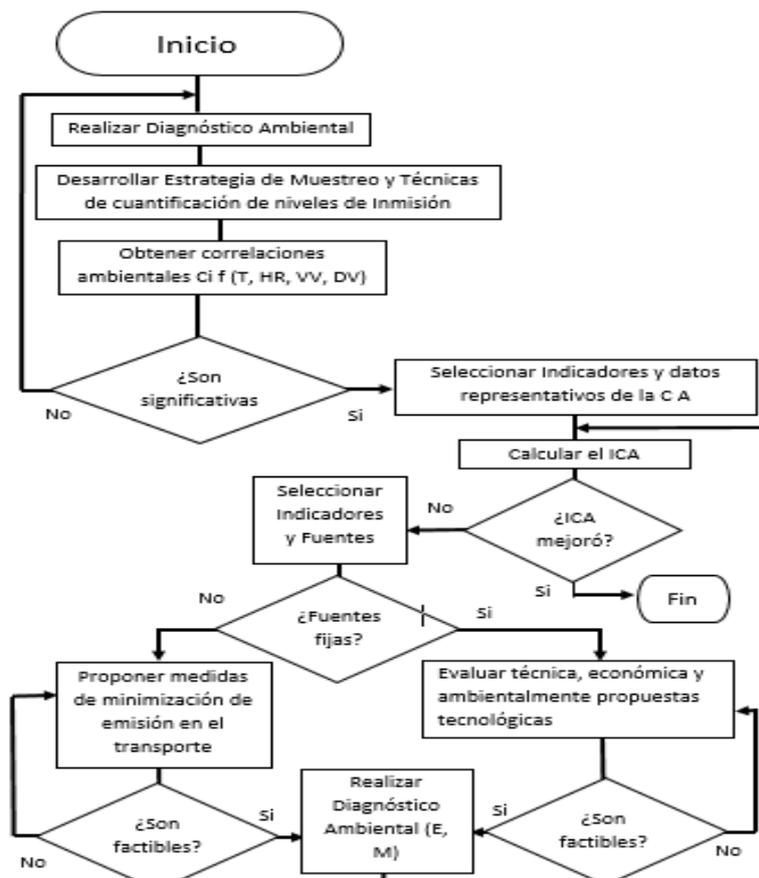


Figura 1. Esquema metodológico para el cálculo del ICA

En el parque industrial de la ciudad existen 32 fuentes fijas, siendo consideradas 30 de ellas para el estudio. Para realizar el inventario de emisiones de las fuentes, se usaron los factores de emisión (AP-42 de la EPA) y mediciones directas en las fuentes con un equipo de medición de gases de combustión TESTO 350 M/ para los contaminantes CO, SO₂ y NO_x. Para el material particulado en todas las empresas se utilizaron los factores de emisión de acuerdo al tipo de combustible y su contenido de azufre (%) (Moscoso et al., 2018). El inventario de emisiones de las fuentes móviles se realizó utilizando los factores de emisión de los vehículos tanto livianos como pesados, (García, 2002).

Para la modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos, considerando las emisiones de las fuentes fijas industriales y móviles se emplearon dos modelos numéricos, DISPER5.2 y “Weather Research and Forecasting with Chemistry” (WRF/Chem), y se empleó también el sistema de información geográfico ArcGIS 9.3

para el post-procesamiento y visualizador de los resultados modelados.

2.2. Estrategia de muestreo y técnicas de cuantificación de niveles de inmisión.

En este trabajo, el muestreo pasivo fue utilizado para cuantificar los niveles de NO₂ SO₂ en 15 puntos de monitoreo y 13 para el O₃ que cubren toda el área urbana de la ciudad. El área seleccionada y los puntos de muestreo aparecen representados en la figura 2.

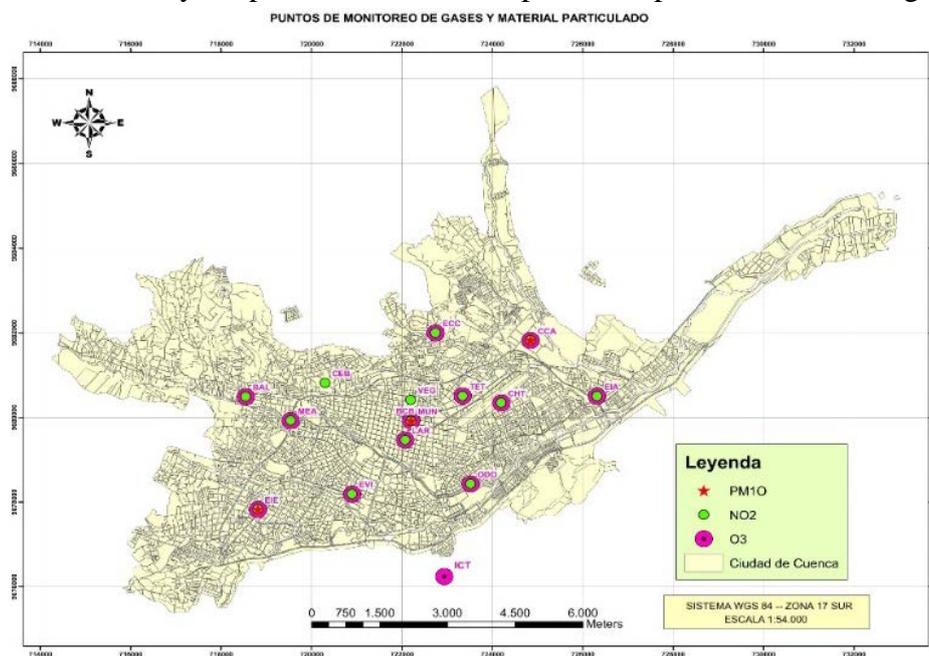


Figura 2. Puntos de muestreo de NO₂, O₃ y PM₁₀ en la ciudad de Cuenca

El material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), se determinó en tres sitios de monitoreo MUN, EIE y CCA empleando un muestreador de alto volumen THERMO HY-VOL (Referencia EPA 40CFR50. Apéndice J). La obtención de las muestras es durante 24 horas consecutivas de exposición, reportándose la concentración promedio durante este periodo de medición. El intervalo de la toma de muestras es de 6 días. Se trabajó con los datos del monitoreo desde el año 2011 hasta el 2015.

Para la validación del muestreo pasivo se calculó el porcentaje de confiabilidad siguiendo lo propuesto por (Núñez, 2014), resultando para el NO₂ que está en el rango 75 - 77 %; mientras que para el SO₂ entre 72 - 74 %.

2.3. Cálculo del ICA.

El cálculo del índice de calidad del aire anual (Icaa) se realizó desde el año 2011 al 2015, con los datos que proporciona la Red de Monitoreo Pasivo de la calidad del aire, para los contaminantes PM₁₀, NO₂ y SO₂; siguiendo la metodología propuesta por Henyk Weitzenfeld, debido a que está se adapta a las condiciones de desarrollo de los programas de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad.

$$Icaa = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^p \frac{Xk}{Nk} \quad (1)$$

Donde: Xk = concentración promedio en el año del parámetro k; Nk = concentración normal promedio del parámetro k establecido para un año; p = número de parámetros normalizados para promedios anuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del diagnóstico ambiental realizado por Moscoso et al., (2018) se constató que de las 30 empresas evaluadas del parque industrial las simbolizadas por J, A y AB son las más contaminantes. En la figura 3, se muestran los resultados de la modelación de las emisiones de las fuentes referidas anteriormente realizada por medio del software Disper 5.2; observándose que la dispersión de los contaminantes desde la zona industrial toma una dirección suroeste, hacia las zonas residenciales de la ciudad, afectando principalmente el centro histórico; con concentraciones máximas de 59,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, 182,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_x, 561,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO₂, y 31,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM, aproximadamente a 1 000 m de distancia de las fuentes emisoras, lo cual se debe al viento predominante que es del este, seguido por el noreste; siendo los contaminantes más críticos el NO_x, SO₂ y PM₁₀.

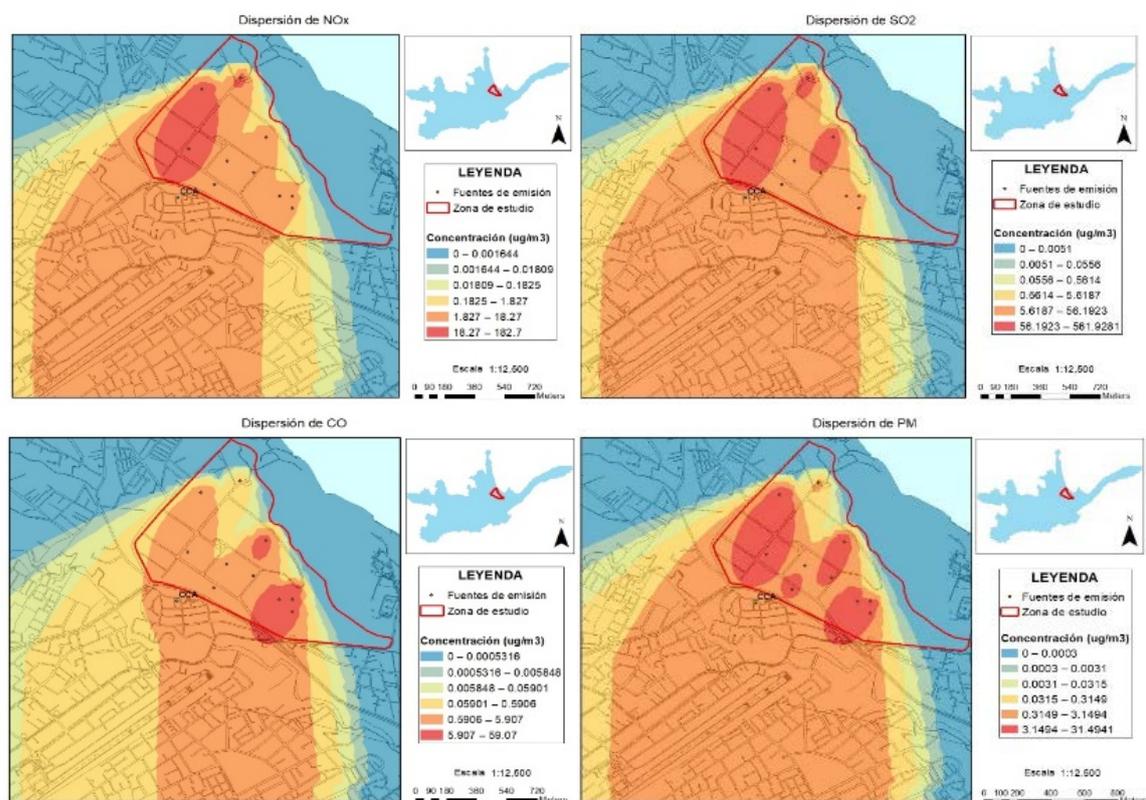


Figura 3. Dispersión del NO_x, SO₂, CO y PM, desde fuentes fijas del parque industrial

Referente a las emisiones de las fuentes móviles, la mayor concentración de CO y NO₂ se presenta en el centro de la ciudad, lo cual puede atribuirse al elevado flujo vehicular, la dispersión de los contaminantes se dirigen hacia el suroeste, pudiendo deberse a la dirección de los vientos predominantes, respecto al O₃ se registran valores superiores en las periferias de la ciudad, mientras que las mínimas se dan dentro de la zona urbana. Para el cálculo de los valores del ICA, comparando los valores reportados por las estaciones respecto a la normativa de la OMS, es el PM₁₀ el que tributa en el cálculo del índice con valores superiores a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación CCA. Para todos los años evaluados; respecto a la normativa ecuatoriana el PM₁₀ y NO₂ intervienen en el cálculo del índice para los años 2011 hasta 2014 con valores de NO₂ superiores a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones VEG y BCB. En el 2015 intervienen los tres contaminantes (PM₁₀, NO₂ y SO₂), por lo que se ve ascenso de la contaminación atmosférica e índices de calidad.

En la figura 4 se representa los valores del ICA calculado respecto a las dos normativas observándose un acenso en el deterioro de la calidad del aire en el 2015 de alerta para la normativa ecuatoriana y de advertencia para la normativa de la OMS.

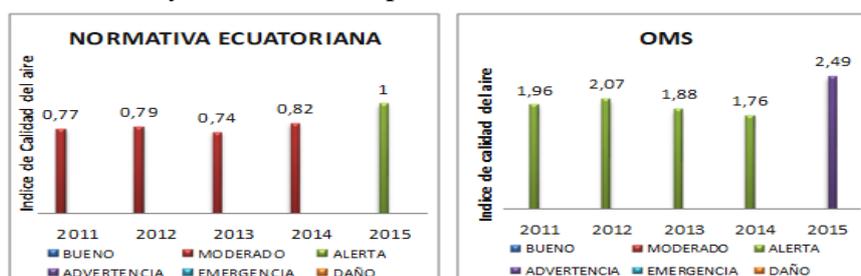


Figura 4. ICA de la ciudad de Cuenca en situación normal respecto a Normativa Ecuatoriana y OMS

4. CONCLUSIONES

1. El método de cálculo del ICA propuesto a partir de las estaciones de monitoreo pasivo y semiautomáticas es factible y novedoso permitiendo establecer una tendencia de la contaminación a largo plazo en ciudades en desarrollo como lo es Cuenca.
2. El diagnóstico ambiental realizado durante los años de monitoreo evidenció que la zona del parque industrial y el material particulado PM_{10} son los determinantes en el cálculo del índice de calidad del aire en la ciudad de Cuenca.

REFERENCIAS

- Espinoza, C., Informe de la calidad del aire, año 2011., Cuenca. 2012, pp. 1-49.
- García, J., Evaluación de escenarios utilizando el modelo regional de calidad del aire multiscale climate chemistry model., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2002, pp. 1-114.
- Moreno, A., Calidad del aire en América Latina vs combustibles alternativos. El hombre y el medio ambiente., XIV Jornadas Ambientales, España, 2010, pp. 169-201.
- Moscoso, D., Astudillo, A., y Morales, M., Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del Cantón Cuenca-Ecuador., Centro Azúcar, Vol. 45, No. 2, 2018, pp. 33-45.
- Núñez, V., Metodología de diagnóstico técnico ambiental en fuentes fijas industriales para prevenir y mitigar los episodios críticos de contaminación atmosférica y el impacto a la salud humana., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba, 2014.
- Yassi, A., y Kjellström, T., Riesgos ambientales para la salud., Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 3ra edición, organización internacional del trabajo, Madrid, España, 2001, Disponible en: <http://www.mtas.es/es/publica/enciclo/general/contenido/tomo2/53.pdf>