

El “Prototipo para visualizar la contaminación en el aire de Bogotá” realiza representaciones gráficas de la calidad del aire en la ciudad. Los datos provienen de las mediciones que realiza la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá que pertenece a la Secretaría Distrital de Ambiente.

Prototipo para visualizar la contaminación en el aire de Bogotá

Álvaro E. Cáceres L.

introducción

Uno de los principales problemas ambientales en Bogotá es la contaminación atmosférica [2]. Esta genera problemas de bienestar y de salud a los habitantes y resulta un inconveniente para el entorno natural. Esta problemática es de gran preocupación para la comunidad, por lo cual se han desarrollado métodos para medirla, controlarla y prevenirla.

El prototipo desarrollado en el trabajo de grado, permite visualizar la calidad del aire en la ciudad. La aplicación maneja consultas a partir de fechas específicas, para observar la variación de la contaminación atmosférica en el tiempo y maneja un modelo de vi-

sualización alternativo cuando hay escasez de información.

Control de la contaminación en Bogotá

¿Qué se hace actualmente en Bogotá para manejar esta problemática?

En Bogotá existe una entidad que promueve el desarrollo sostenible y la calidad del medio ambiente: La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

Esta organización orienta y lidera políticas ambientales para el aprovechamiento sostenible de los recursos ambientales y del suelo, con el fin de preservar la diversidad e integridad del medio ambiente [6].

La SDA cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Este es un sistema de monitoreo ambiental continuo que se encarga de obtener, procesar y divulgar la información de la calidad del aire en el Distrito Capital para evaluar el cumplimiento de estándares de calidad del aire y verificar la tendencia de la concentración de los contaminantes, para la definición de políticas de control de contaminación [7].

La RMCAB cuenta con 15 estaciones ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM10, PM2.5, PST), de gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃) y los parámetros meteorológicos de precipitaciones, vientos, temperatura, radiación solar y humedad relativa, entre otros [7].

Actualmente, la RMCAB utiliza el sistema de Información Geográfico *ArcView* para repre-

sentar gráficamente la contaminación en el aire de la ciudad. En la figura 1 se puede observar un ejemplo de estas visualizaciones. La gráfica se creó a partir de un promedio de las concentraciones medias de PM10 en el 2007 y muestra una distribución de colores en el mapa de Bogotá. Los colores claros indican menor cantidad de contaminación y los colores fuertes una mayor concentración.

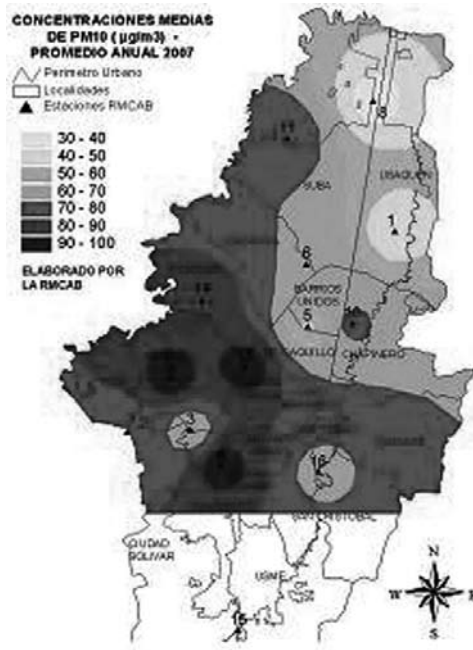


Figura 1: Visualización de la contaminación (PM10) hecha por la RMCAB [7]

Oportunidad para el desarrollo del trabajo de grado

El uso de las visualizaciones es muy útil y oportuno para los estudios ambientales y meteorológicos.

La SDA cuenta con un sistema de visualización de la contaminación en el aire de la ciudad. Sin embargo existen dos razones principales que motivaron la creación del prototipo:

a) La RMCAB no maneja representaciones gráficas de días y horas.

Por lo general la RMCAB realiza representaciones de promedios mensuales o anuales, pero el software *ArcView* no maneja consultas directas de días u horas hacia la base de datos para realizar las gráficas.

El manejo de días y horas es importante para el seguimiento de la variación de la contaminación respecto al tiempo. Estas condiciones meteorológicas fluctúan de un día a otro, incluso segundo a segundo, y los valores medios y sus desviaciones típicas con frecuencia disimulan las tendencias a corto plazo o los valores extremos que pueden tener enorme importancia [3].

Al realizar consultas de días y horas, se tiene la posibilidad de manejar opciones para adelantar o atrasar un día o una hora y de esta forma observar la variación de la contaminación de una forma ágil.

b) En algunos casos, la cantidad de estaciones y la información obtenida no es suficiente para realizar la visualización en todo el mapa de la ciudad.

A pesar de la ubicación estratégica de las estaciones de monitoreo, en algunos casos no existe la suficiente información para visualizar algún tipo de contaminante en toda la ciudad.

Por otro lado, algunas estaciones no funcionan ciertos días, esto hace que el número de datos disponibles para hacer las visualizaciones disminuya. Por lo tanto, la calidad de la representación gráfica se reduce.

Al analizar esta situación se propuso desarrollar un prototipo que realice la visualización gráfica de la contaminación en el aire de Bogotá dada una fecha específica (en hora o día). Y que tenga en cuenta las condiciones de las estaciones que funcionaron en esa fecha, es decir, si existe muy poca información para hacer la representación, se debe utilizar un modelo de visualización alternativo.

Desarrollo del software

Cómo se desarrollo la aplicación

El proyecto se desarrolló a partir de una metodología de carácter investigativo, la cual se desarrolló en cuatro fases:

a) Levantamiento de información sobre la actual forma de medir y visualizar la contaminación en Bogotá.

Se realizó mediante una serie de entrevistas en la SDA, en las que se conocieron los mecanismos que se usan actualmente.

b) Desarrollo de un algoritmo de visualización de partículas a partir de datos suministrados en puntos concretos.

Se desarrollaron dos algoritmos de visualización que fueron llamados: IDW e IDW2. Dichos algoritmos están basados en el método de interpolación multivariable: *Inverse Distance Weighted*, este método se describe más adelante.

c) Desarrollo de un prototipo que ejecute la visualización de datos provenientes de fechas particulares.

Para el desarrollo del prototipo se usó el lenguaje de programación Java y la herramienta JOGL. Esta permite acceder a las funcionalidades de OpenGL (Open Graphics Library) mediante Java.

OpenGL es una especificación estándar que define unas interfaces multilenguaje y multiplataforma para el desarrollo de aplicaciones interactivas para gráficos por computador en 2D y 3D.

La aplicación de software permite mostrar la funcionalidad de los algoritmos IDW e IDW2. Esta se conecta a la base de datos Oracle de la SDA para hacer las consultas.

d) Ejecución de pruebas en la SDA para realizar la validación de los resultados obtenidos.

Las pruebas y resultados se describen posteriormente.

Modelo de dispersión: Inverse Distance Weighted

El método de interpolación usado en el prototipo es Inverse Distance Weighted.

Los modelos de dispersión son métodos para calcular la concentración de contaminantes a diversas distancias de la fuente de medición [4]. En el modelo de dispersión de la calidad del aire en la ciudad, se usa la información recopilada por las estaciones de monitoreo, que incluye: ubicación del punto de emisión (longitud y latitud), el tipo del contaminante emitido (PM10, CO, SO₂, etc.) y su valor. Estos datos se usan como insumo del modelo de computación el cual está basado en el modelo de interpolación *Inverse Distance Weighted*.

Este método de interpolación asume que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia. De esta manera, el método pondera con mayor fuerza los puntos cercanos a los puntos dados discretos y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia. Este método es apropiado cuando la variable analizada (Concentración de contaminación atmosférica) disminuye conforme aumenta la distancia desde cada punto analizado [1].

A partir de este método se realizaron dos algoritmos denominados IDW e IDW2.

IDW realiza la interpolación sobre toda el mapa de la ciudad.

IDW2 es una adaptación del algoritmo IDW que realiza la misma interpolación en regiones determinadas por un radio alrededor de las estaciones que miden la contaminación. IDW2 permite visualizar la información de manera confiable al establecer rangos de alcance, de esta forma, si un punto de la ciudad está muy alejado de la zona de muestreo, no será tenido en cuenta. Por otro lado, cuando hay escasez de información la

aplicación utiliza IDW2 para no generalizar los niveles de contaminación en toda la ciudad.

En la Figura 2 se presenta un ejemplo de ambos algoritmos usando los mismos datos de entrada, para el algoritmo IDW2 se uso un radio de 5 km a partir de las estaciones de medición.

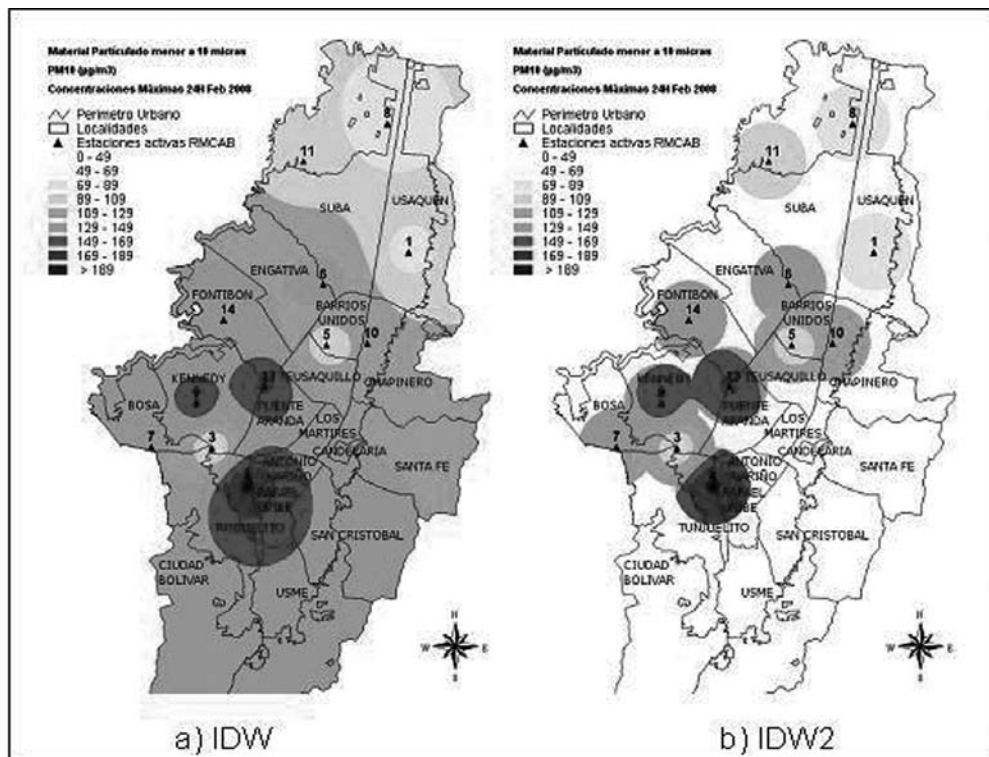


Figura 2: Algoritmos IDW e IDW2

Estructura lógica del prototipo

Cómo funciona la aplicación

El prototipo es una herramienta Stand Alone que permite conectarse a la base de datos Oracle que maneja la SDA. En la Figura 3 se presenta la interfaz gráfica del aplicativo.

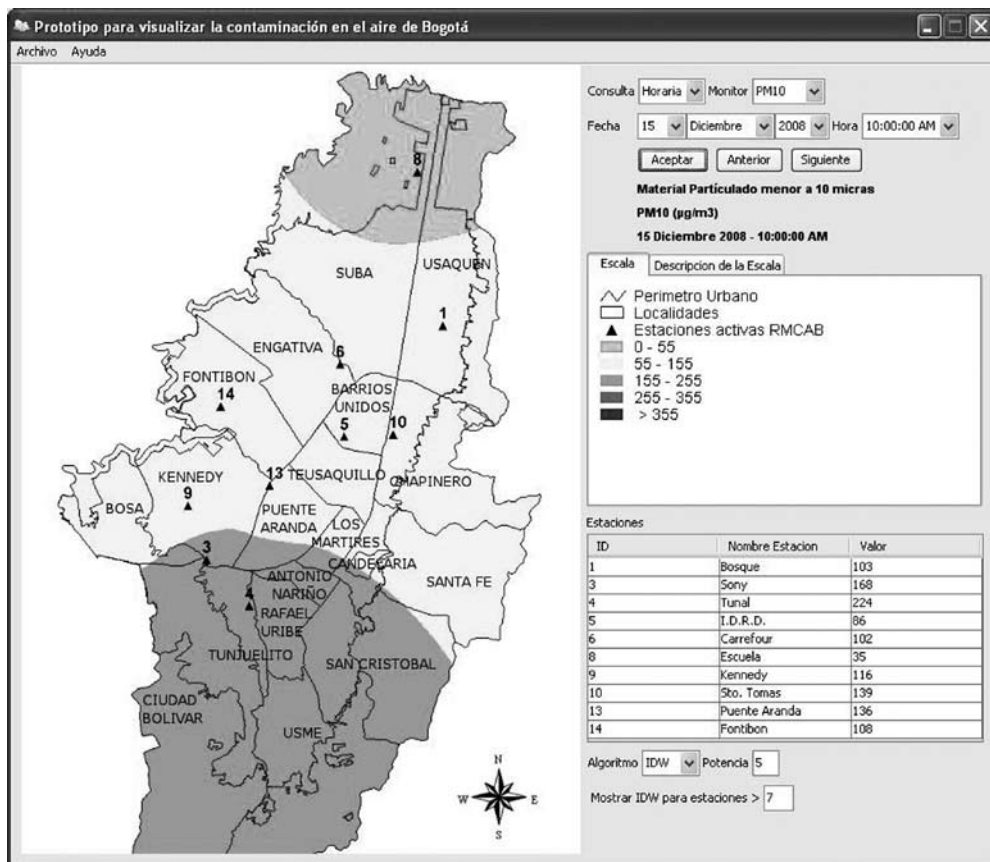


Figura 3: Interfaz Gráfica del prototipo.

Como se puede observar en la parte superior izquierda de la interfaz gráfica existen las opciones: *Consulta*, *Monitor*, *Fecha*, *Hora* y los botones *Aceptar*, *Anterior* y *Siguiente*. A continuación se describen brevemente.

Consulta: permite seleccionar si se van a realizar consultas a partir de días u horas.

Monitor: permite seleccionar el tipo de contaminante que se desea visualizar, por ejemplo: PM10, SO2, NO2, CO, O3 entre otros.

Fecha: se usa para seleccionar la fecha.

Hora: se usa para seleccionar la hora.

Aceptar: Realiza la consulta hacia la base de datos según los datos seleccionados, y muestra los resultados gráficos en la parte izquierda de la pantalla. Asimismo, en la sección derecha de la interfaz muestra las escalas, y los valores de medición de cada estación.

En la parte inferior izquierda se encuentran otras opciones para el manejo de las gráficas, donde se puede establecer el tipo de algoritmo de visualización: IDW o IDW2.

Pruebas y Resultados

Pruebas y resultados del uso del prototipo

El prototipo final se presentó formalmente a la SDA, para realizar la instalación, las pruebas y de esta forma validar la funcionalidad del software. A continuación se presentan algunas pruebas y resultados del aplicativo.

a) Visualización en *ArcView* y en el prototipo

Se realizaron pruebas para comparar el algoritmo IDW del prototipo con el de *Arcview*. Se tomaron los datos de las concentraciones máximas de PM10 en Febrero de 2008, la Figura 4 (a) fue desarrollada en *Arcview* y está disponible en el informe de calidad de aire del mes de Febrero de 2008 de la Secretaria de Ambiente, esta se puede encontrar en <http://www.secretariadeambiente.gov.co/>, en la sección de red de calidad de aire. La Figura 4 (b) es el resultado de los mismos valores, ingresados al prototipo por medio de un archivo de texto.

La prueba muestra que la distribución de los colores de la visualización del prototipo es igual o mejor a la que se está manejando en *Arcview* ya que se utilizan las mismas formas

pero en el prototipo se presentan bordes más suaves.

a) ArcView

b) Prototipo

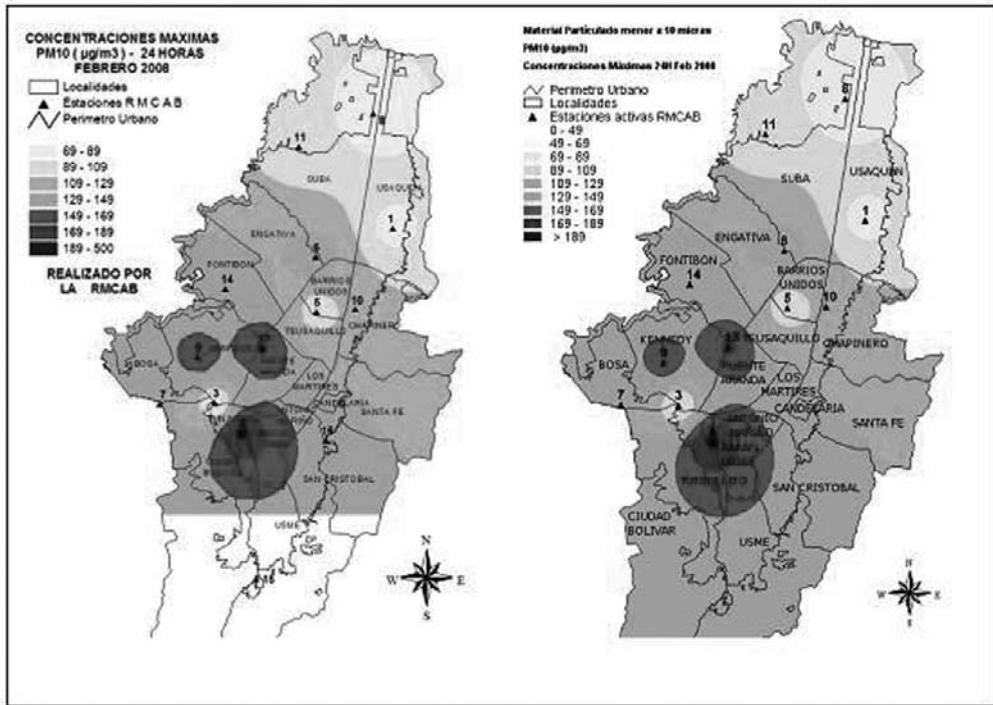


Figura 4: Visualización en ArcView y en el prototipo

b) Variación de la contaminación en el tiempo.

Debido a que se propuso implementar un prototipo que permita observar la variación de la contaminación en el tiempo, se realizaron pruebas con el algoritmo IDW para observar el comportamiento de los niveles de PM10 el 1 de Diciembre de 2008.

La variación de los niveles de PM10 se presenta en la Figura 5. En la Figura 6 se puede observar la variación de los niveles de contaminación, que se realizó mediante el uso del prototipo, desde las 04:00 AM hasta las 9:00 AM.

Como se muestra en las Figuras 5 y 6, los niveles de contaminación fluctúan todo el tiempo. Gracias al prototipo se puede observar cuáles localidades están más contaminadas, y en qué momento. Por ejemplo, es posible conocer que a las 09:00 AM las localidades más contaminadas son: Kennedy, Puente Aranda y Tunjuelito ubicadas en cercanías a la zona industrial de Bogotá, mientras que los lugares que presentan menos contaminación son las que están al norte de la ciudad, como Usaquén y Suba.

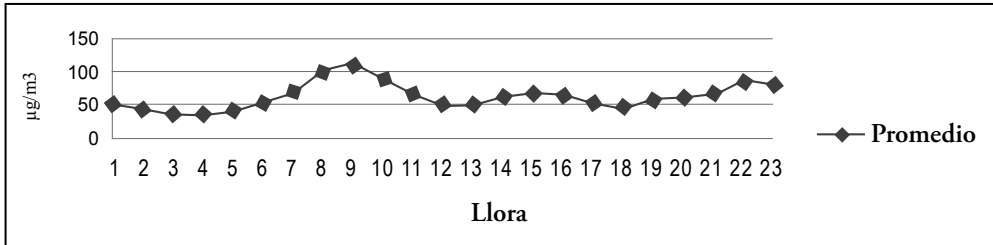


Figura 5: Variación de PM10, 1 de Diciembre de 2008.

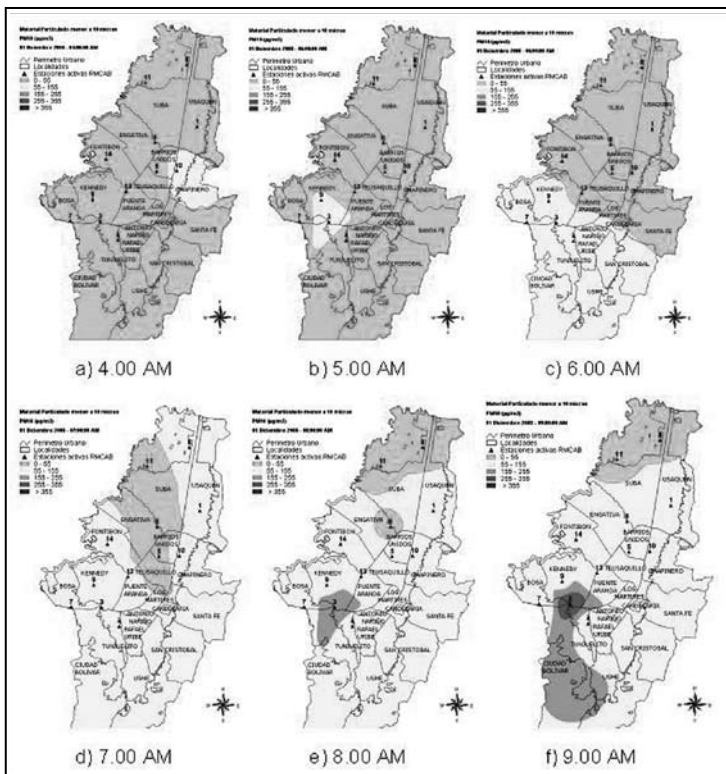


Figura 6: Variación de PM10, 1 de Diciembre de 2008, Visualización en el prototipo.

c) Variación del tipo de contaminantes

El prototipo cambia de algoritmo a partir del número de estaciones; es decir, que si hay suficientes estaciones, se usa el algoritmo IDW. En caso contrario, se usa el IDW2. Esto se debe a que cuando no hay suficiente información no se puede mostrar la contaminación en todo el mapa. La prueba se realizó consultando el día 15 de Diciembre de 2008, a las 09:00 AM. Los resultados se muestran en la Figura 7.

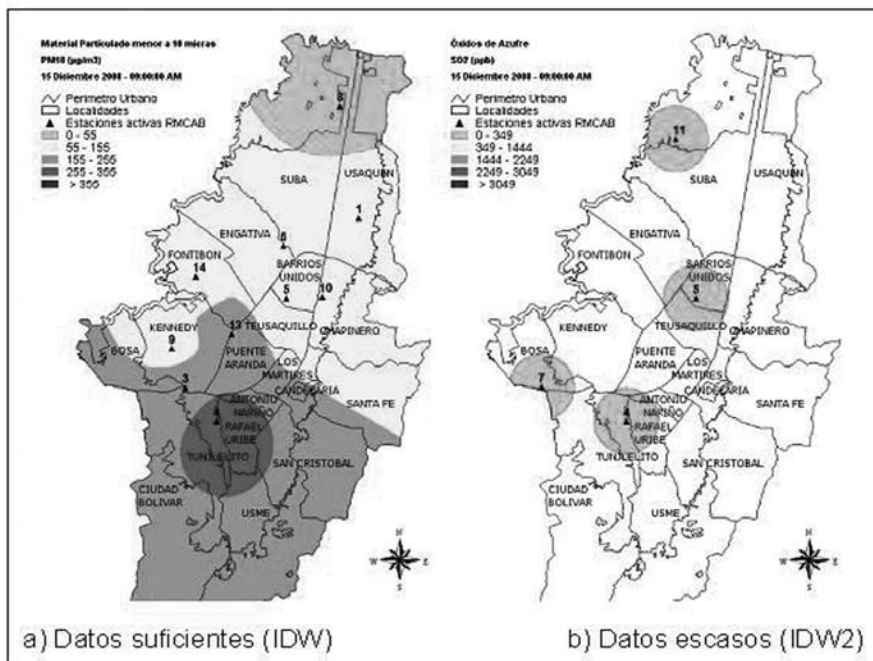


Figura 7: Variación del tipo de contaminantes.

d) Es posible NO visualizar zonas muy alejadas de las estaciones de medición.

Actualmente, al momento de realizar una visualización, se presentan los resultados gráficos en todo el mapa de la ciudad, pero como se mencionó anteriormente, en algunos casos la información disponible no es suficiente para realizar la visualización en todo el mapa de la ciudad. Por esa razón, es posible realizar un acercamiento que produzca resultados más confiables. Por ejemplo, en la Figura 8, se realizó la consulta el 1 de Diciembre de 2008 a las 09:00 AM, usando el algoritmo IDW con un radio de 9 km. Este resultado permite no visualizar localidades muy lejanas a los puntos de medición como: Ciudad Bolívar, Usme, San Cristóbal o Santa Fe.

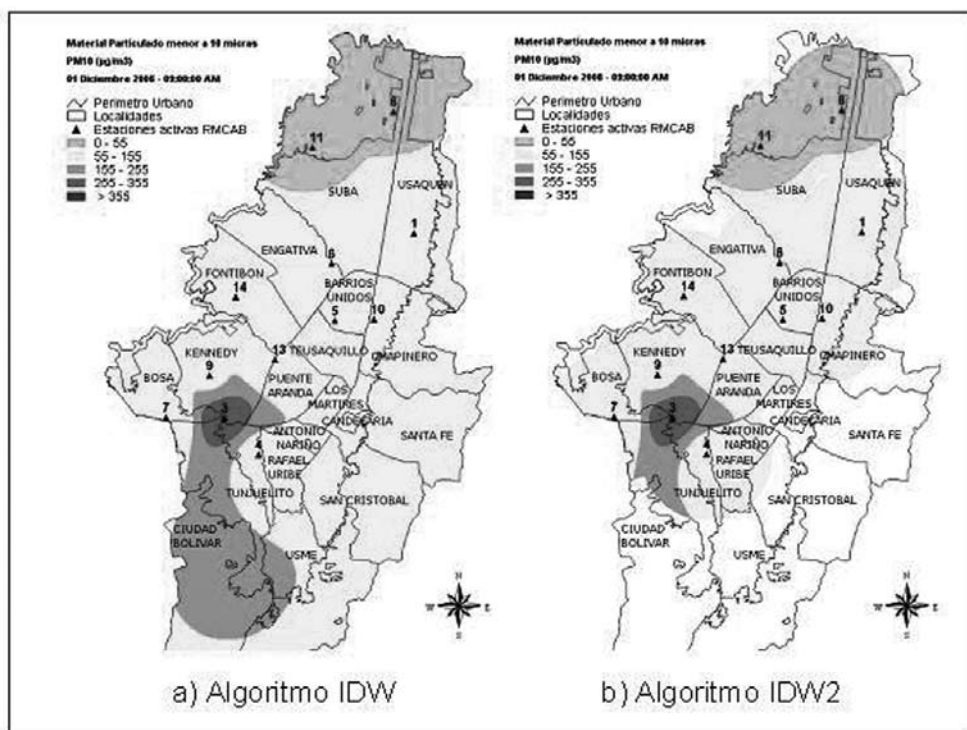


Figura 8: Variación del algoritmo de visualización IDW e IDW2.

Conclusiones

- El trabajo de grado: “Prototipo para visualizar la contaminación en el aire de Bogotá” es viable y aporta una solución a los siguientes inconvenientes, respecto al modelo de visualización utilizado actualmente por la SDA:
 - » La RMCAB no maneja representaciones gráficas de días y horas.
 - » En algunos casos, la cantidad de estaciones y la información obtenida no es suficiente para realizar la visualización en todo el mapa de la ciudad.
- Los resultados de la visualización mediante el prototipo son iguales o mejores que los que maneja la herramienta ArcView.
- El prototipo se puede conectar a la base de datos de la SDA y es posible realizar consultas de tipo horario (Día, Mes, Año, Hora) y diario (Día, Mes, Año) de manera ágil.

- El prototipo permite observar la variación en el tiempo de la contaminación en la ciudad, dando a conocer los lugares donde se encuentran los mayores y menores índices de contaminación.

Referencias

[1] Barrientos, Miguel. 3D Analyst, Arctoolbox:Guía Rápida de herramientas. *gabrielortiz*. [En línea] [Citado el:]

www.gabrielortiz.com/descargas/3D_Analyst_9_2.pdf.

[2] Nieto, J. A. Control a la contaminación en el aire. *Secretaría de Ambiente*. [En línea]. www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/Control%20a%20la%20contaminacion%20del%20aire.pdf.

[3] Organización Mundial de la Salud. Meteorología de la contaminación atmosférica. *Manual de Calidad del Aire en el Medio Urbano*. Mexico : Publicaciones Biomédicas y de Salud, 1980, pág. 116.

[4] Organización Panamericana de la Salud. Transporte y dispersión de contaminantes en el aire ambiental. *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. [En línea] www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/cap6c.pdf.

[5] *Relación entre PM2.5 y PM10 en la ciudad de Bogotá*. Rojas, N. y Galvis, B. Bogotá : Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, 2005.

[6] Secretaría Distrital De Ambiente. Secretaría Distrital de Ambiente. [En línea] <http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/php/decide.php?patron=01>.

[7] Secretaría Distrital de Ambiente. Secretaría Distrital de Ambiente/Reportes Anuales. *Secretaría Distrital de Ambiente*. [En línea]

<http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/php/decide.php?patron=03.140302>.

Álvaro E. Cáceres L. Ingeniero de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana, con énfasis en Computación Gráfica. Beca Mysis Foundation 2007 – II, Beca Mysis Foundation 2008 – II, Beca Semestral por excelencia académica 2009 – I.