

Modelamiento ambiental de calidad de aire (PM₁₀ Y PM_{2.5}) en la estación Carvajal-sevillana (-74.1485 N, 4.5958 E)- Bogotá D.C., usando el modelo *Screen View* en contraste con la Resolución 601 de 2006

Luis Felipe Rojas
Sistemas y Recursos Ambientalmente Sostenibles (SYRAS).
Programa de Ingeniería Ambiental,
Universidad Manuela Beltrán, Bogotá-Colombia

Resumen

Este artículo tiene como fin realizar el modelamiento de calidad de aire en la estación Carvajal-Sevillana (-74.1485 N, 4.5958 E), perteneciente al Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá, a partir de mediciones con intensidad diaria usando como criterio, el cumplimiento de los rangos límites de material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, O₃, NO, NO₂, NO_x, CO) y mediciones climatológicas (Temperatura[°c], Precipitación[mm]), además de la Norma de comparación Resolución 601 de 2006.

Se contempla una metodología orientada al procesamiento de las series de datos de mediciones de parámetros entre las fechas Agosto-2016 a agosto-2017 (1 Año). Procesamiento de datos obtenidos de forma anual bajo el Modelo de Dispersión de Gauss implícito en el Modelo *Screen View*-USEPA. Generación de SIG⁹ y las Rosas de Polución.

La medición surge de la necesidad de validar el cumplimiento de la norma de calidad de aire y presentar una metodología computarizada de modelación.

En conclusión, la población de los barrios Las Delicias, Venecia Occidental, Isla del Sol y Guadalupe presenta niveles mínimos de exposición de 52 µg/m³ y máximos de 100 µg/m³ y no existe cumplimiento de los rangos admisibles de calidad de aire.

Palabras Clave: EIA, *Screen View*, Modelación Calidad Aire, PM 2.5, PM 10, Resolución 601 de 2006, Bogotá D.C.

Introducción

La dinámica de la atmosfera está ligada a diferentes procesos físicos y químicos que se presentan a diario y en asocio con los procesos de transferencia (Conducción, Advección, Radiación) térmica (Thomas et al., 2004) we assess extinction risks for sample regions that cover some 20% of the Earth's terrestrial surface. Exploring three approaches in which the estimated probability of extinction shows a power-law relationship with geographical range size, we predict, on the basis of mid-range climate-warming scenarios for 2050, that 15–37% of species in our sample of regions and taxa will be 'committed to extinction'. When the average of the three methods and two dispersal scenarios is taken, minimal climate-warming

9 Sistema de Información Geográfica (Fernández, Avila, & Taylor, 2009)

scenarios produce lower projections of species committed to extinction (~18%; producto de ello, se presentan variables fenomenológicas del clima y una relación dinámica con los demás ciclos bio-geoquímicos (Barker, 2007), que aportan agentes importantes para mantener un equilibrio energético y de masas en todo el sistema (Rodríguez-Eraso, Pabón-Caicedo, Bernal-Suárez, & Martínez-Collantes, 2010). Dentro del clima y la temperatura, la humedad relativa, especialmente, se considera una de las variables más influyentes en la dinámica de transporte de contaminantes atmosféricos (Felicio & Onça, 2010).

La gestión integral del recurso atmosférico, enmarca todos los procesos de manejo, gestión y control y finalmente la protección del recurso como insumo primario para la vida (Moreno Jiménez, 2013); en Colombia la gestión de este recurso se encuentra regulada por cada uno de los entes de control local, siguiendo la jerarquía

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Secretarías de Ambiente [SDA] o en su defecto, Corporaciones Regionales Ambientales [CRA].

En lo que respecta a los modelos aceptados por la entidad ambiental competente, en el Distrito Capital (BOGOTÁ D.C.), se encuentra el modelo Gaussiano y el modelo *SCREEN VIEW* desarrollado por la USEPA (Mejuto, 2011), el cual funciona bajo el esquema de una caja negra en la que el usuario ingresa los datos de su caso; esta reporta un metadato de la concentración del material particulado en función de la rosa de vientos (Ruiz & Bernal, 2009), temperatura de salida de material (Chaparro, 2014) y dinámica de transporte con la topografía local (Olivero-Verbel, Young-Castro, & Caballero-Gallardo, 2014).

La norma que regula a nivel nacional establece los siguientes parámetros de control:

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles.

Parámetro a Reportar	Límite Máximo Permissible [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Tiempo de Medida
PM 10	50	Anual
PM 2.5	15	Anual
SO ₂	80	Anual
O ₃	80	Anual
NO ₂	100	Anual
CO	10	8 horas

Fuente: adaptado de (MADS, 2006)

La normatividad, expresada en la norma, los principales contaminantes de acuerdo a su importancia con respecto a la norma internacional emitida por la USEPA (PEREA VELÁSQUEZ, 2015), en Colombia para ajustar a las condiciones locales, la norma es hasta un 200% (VALBUENA & ANGARITA, 2013), más permisiva, haciendo que las concentraciones en diferentes lugares sean superiores a los que decretan las normas internacionales (Van Hoof & Herrera, 2007) el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia adoptó la Política Nacional de Producción más Limpia como una estrategia complementaria

a la normatividad ambiental, para impulsar la nueva institucionalidad ambiental en el país. Desde entonces, diferentes iniciativas han sido desarrolladas por empresas, autoridades ambientales y universidades. Los resultados de estas iniciativas muestran la efectividad de esta estrategia para mejorar. Hoy diez años después su expedición, la Producción más Limpia (PML).

Modelo de Dispersión Pluma Gaussiana

El modelo de Gauss, es conocido también como método de estimación de la pluma

contaminante en función de las velocidades y la topografía predominante del punto inicial de modelación (Eke, Herman, Kocsis, & Kozak, 2002)power law scaling relationship, scale invariance, scaling range and fractal dimensions. Having laid down the grounds of the basics in terminology and mathematical formalism, the authors systematically introduce the concept and methods of monofractal time series analysis. They argue that fractal time series analysis cannot be done in a conscious, reliable manner without having a model capable of capturing the essential features of physiological signals with regard to their fractal analysis. They advocate the use of a simple, yet adequate, dichotomous model of fractional Gaussian noise (fGn, tal como se muestra a continuación:

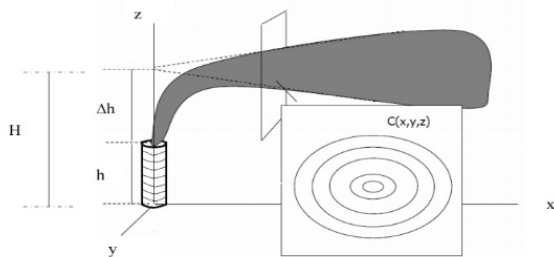


Figura 1. Esquema de Modelación Pluma Gaussiana
Fuente: (Universidad de Catarina, 2010)

Todo se origina en un punto focal de la emisión de contaminantes que posee una altura bien definida h ; en la mayoría de las ocasiones suele ser la altura de la chimenea y el máximo de h es el punto de salida de gases contaminantes; consecuentemente, tiene una altura adicional denominada Δh , (altura de la pluma contaminante). De forma total se expresa: la altura total de la chimenea + la altura de la pluma, será la altura total en la que, y debido a las propiedades térmicas, los gases ascenderán y luego a partir de un corte transversal al eje y , se obtiene un perfil de concentración del contaminante X_i ; producto de este, se conoce el área en la cual se desplazará el contaminante dependiendo de la rosa de vientos y la dirección predominante en el área de estudio.

Posteriormente, se presentan las hipótesis del modelo para hacer posible el desarrollo de la ecuación 1.

- El modelo trabaja bajo un esquema de flujo estacionario (Sanhueza, Leiva, & López-Kleine, 2011)
- La difusión de masa es despreciable en el eje x ($\sigma_x=0$)(Sáenz, 2015)
- La velocidad en los 3 ejes es constante y tiene pocas variaciones; por tal razón se puede despreciar y mantener constante para la salida de la chimenea (Rangel, 2016).

La concentración de salida depende del caudal de emisión del gas (Q) en g/s del componente; los factores del denominador, son propios de la geometría de salida de la chimenea, siendo una circunferencia, el factor de la velocidad de flujo, que se ve representado por (μ), de tal forma que expresa la concentración de salida teniendo en cuenta los factores de salida de geometría de salida y los factores de dispersión vertical y lateral (σ_x) y (σ_y). Posteriormente, el factor de dispersión se muestra a continuación:

$$\text{Factor de dispersión} = -\frac{1}{2} * \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right)$$

Fuente: (Universidad de Catarina, 2010)

El factor de dispersión de la concentración inicial, depende únicamente de los factores de dispersión longitudinal y vertical (σ_x) y (σ_y), de la altura alcanzada por la pluma (z), de la altura de la chimenea (H), y la altura total del eje y con respecto al suelo (y).

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Ecuación 2. Ecuación para modelar la concentración de contaminantes atmosféricos, Fuente (OMS, 2005)

En la ecuación 2. Se aplica de forma directa sobre el modelo; no obstante, para el cálculo de los otros parámetros de σ_x y σ_y , se requiere tener información del material que se emitirá a la atmosfera. Para tener más detalles de cómo calcular estos coeficientes, se recomienda leer la guía *Modelo de Dispersión Gaussiano* publicado por (Universidad de Catarina, 2010).

Este modelo es rápido para obtener perfiles de concentración de contaminantes en una sola fuente; para el caso en el que existan múltiples fuentes de emisiones, el proceso puede ser muy engorroso y no se recomienda hacerlo manualmente puesto que ya existen software comerciales como el *Screen View*: un *Freeware* ofrecido por la US-EPA(Universidad de Catarina, 2010).

Materiales y métodos

En la fase I. Inicialmente se procede a realizar la búsqueda bibliográfica de casos aplicados con el modelo de dispersión, basados en el Modelo de Dispersión Gaussiano (Sanhueza et al., 2011), para realizar el procesamiento de la información que se obtendrá del sistema de calidad de aire de la Secretaria de Ambiente de Bogotá; aquí se elaboran las descripciones, consideraciones y explicaciones del manejo de las ecuaciones incluidas en el modelo Gaussiano y el Software *Screen View*. Teniendo en cuenta las consideraciones:

1. El documento se debe encontrar indexado en una revista de categoría A o B, en la que se trabajen temáticas de calidad de aire con resultados de tipo experimental.
2. El foco de evaluación de calidad de aire para los artículos incluidos, tiene que validar el cumplimiento de la Resolución 601 de 2006.

En la fase II. Se realiza la consulta de la información de calidad de aire de la estación

Sevillana-Carvajal entre los periodos [Agosto-2016 a Agosto 2017], consultando los parámetros [Temperatura Horaria (°c), Precipitación Horaria(mm), Monóxido de Carbono Horario *Co* (ppm), Ozono Horario *O3* (ppb), Dióxido de Azufre Horario *So₂* (ppb), Dióxido de Nitrógeno Horario *NO₂* (ppb), Óxidos de Nitrógeno, Horario de tipo terciario *NOx* (ppb), Material Particulado Horario *PM 2.5* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Material Particulado Horario *PM 10* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Debido a la temporalidad de la información se procede a clasificar en software Excel la información, generando promedios mensuales y posteriormente, sumando la emisión total de Material Particulado *PM 2.5* y Material *PM 10* en un área de influencia no menor a 50 Km a la redonda; esto porque se debe tener en cuenta la influencia de la dirección de viento para conocer la dirección de sedimentación del material particulado en el área de influencia. Finalmente, se generan en paralelo los perfiles de polución de cada uno de los componentes en la plataforma del Sistema de Calidad de Aire de Bogota (Rojas Y., 2009).

En la fase III. Para esta fase se procede a insertar la información obtenida, en el modelo *Screen View* y el archivo de Excel del Modelo Gaussiano suministrado por el grupo de Investigación de Modelación Ambiental de la Universidad Nacional. Se toman en cuenta las condiciones topográficas del punto de muestreo y las condiciones climatológicas para clasificar la condición de estabilidad climatológica C, teniendo en cuenta la velocidad de viento ≥ 6 m/s y las condiciones meteorológicas locales.

Una vez se reportan los resultados se procede a realizar una comparación de resultados usando los indicadores de Índice de aumento de temperatura CO. Como parámetro de comparación, se validará el modelo Gaussiano vs. el modelo *Screen View* desarrollado por la US-EPA.

Resultados y análisis. Reporte de series de precipitación y temperatura.

Una vez realizado el procesamiento de la información obtenida del Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá, se genera el reporte de la temperatura promedio mensual y la precipitación promedio mensual.

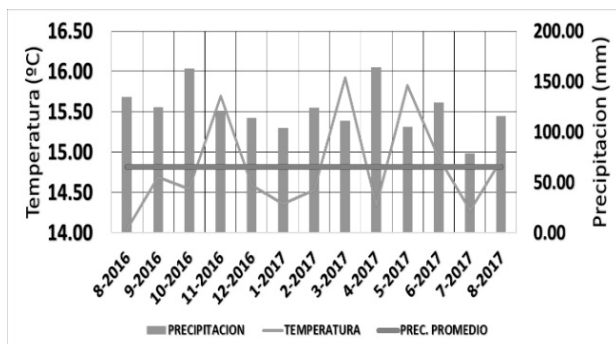


Figura 2. Reporte Temperatura y Precipitación.
Fuente: autor

En la ilustración 2, se detallan los perfiles de temperatura y precipitación de la estación detallada entre los periodos (agosto 2016 – agosto 2017). En la serie se denotan dos periodos durante la fecha de los datos; entre (agosto -2016 a diciembre-2016), la climatología está regulada por un periodo niño; posteriormente entre el periodo (enero-2017 a abril-2017), un periodo niña y en los periodos (mayo-2017 a agosto-2017) se caracterizan por ser periodo niño. En el lapso de estudio existen tres picos de precipitación mensual para el mes de octubre-2016(160 mm), abril-2017(160 mm), noviembre-2016(135.40 mm) y junio-2017(74.50 mm), respectivamente. Por otro lado, existen tres picos de temperatura máxima noviembre-2016 (15.50 °C), marzo-2017(15.90°C) y mayo-2017 (15.80°C). En resumen, la precipitación promedio del periodo estudiado, fue de 65.53 mm.

La dinámica atmosférica, el comportamiento de la temperatura y la precipitación mensual se ven relacionadas con los picos de precipitación máxima de (153 mm) y temperatura mínima (14.4°C).

Rosa de vientos generada

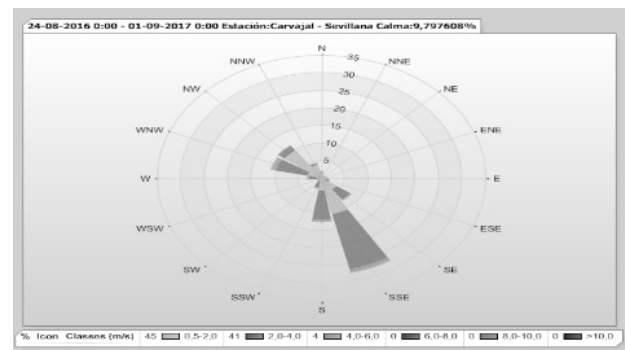


Figura 3. Rosa de Vientos Estación Carvajal-Sevillana
Fuente: Sistema de calidad de Aire de Bogotá

En la rosa de vientos se evidencia una velocidad de viento predominante en la dirección Sur-Sur-Este (4-6 m/s), en una longitud característica desde el punto de la estación a 27 m de la ubicación de la estación. Estos datos son tomados para la ejecución del modelo de Pluma Gaussiana y el Modelo *Screen View*.

Reporte relación gases contaminantes vs. Temperatura

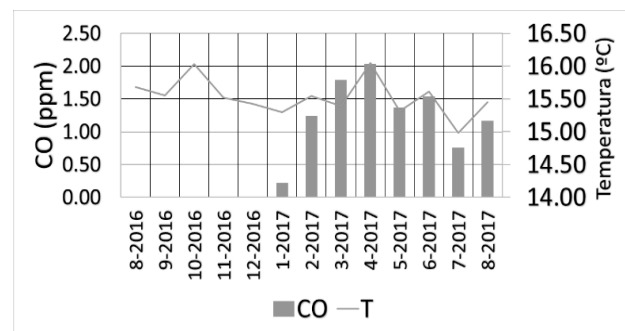


Figura 4. Comportamiento Temperatura vs. Concentración CO.
Fuente: autor

En la ilustración 3, se muestra el comportamiento de la curva de temperatura promedio mensual, con respecto a la concentración de Monóxido de Carbono (**CO**), en el escenario completo Agosto-2016 a Agosto-2017; en este periodo, se presenta un aumento de la temperatura promedio mensual, típico del escenario niña con un aumento máximo de temperatura desde Enero-2017 a Junio-2017 de 16°C. Se evidencia una relación directa con el aumento de la

concentración de Monóxido de Carbono (CO), con un aumento de 0.57 °C/ ppm CO, calculado por el autor, a partir de la ecuación 3; por otro lado, existe una región en la que la estación no reporta mediciones de Monóxido por tareas de mantenimiento; esta región no es tomada para el cálculo del indicador diseñado por el autor.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{prom_{i-1}} - T_{prom_i}}{CO(ppm)_{i-1} - CO(ppm)_i} \right)$$

Ecuación 3. Índice de Aumento de temperatura Monóxido de Carbono

En la ecuación 3, se calcula, a partir de la serie de temperatura promedio mensual, donde $T_{prom_{i-1}}$ (Temperatura promedio año anterior) y T_{prom_i} (Temperatura promedio año siguiente).

Por otro lado, $CO(ppm)_{i-1}$ (Concentración de monóxido año anterior) y $CO(ppm)_i$ (Concentración de monóxido de carbono año siguiente).

Curvas de dispersión de material particulado

Las curvas de estimación promedio de la estación de material particulado PM10 y PM 2.5, son indicadores críticos para dar el cumplimiento a la Resolución 601 de 2006, pues corresponden a un indicador de protección a la salud pública. En la Ilustración 5. Se muestran el consolidado general para la estación Carvajal-Sevillana en el periodo de tiempo estudiado agosto-2016 a agosto-2017.

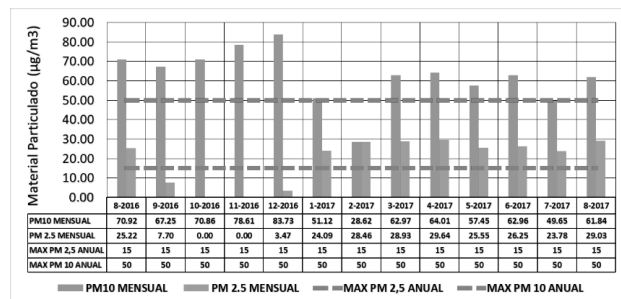


Figura 5. Resumen General Material Particulado Estación Carvajal-Sevillana.

Fuente: autor

En la estación Carvajal-Sevillana, predomina un incumplimiento a la norma evidenciado en un aumento de material particulado menor a 10 micras (PM10), en todos los meses de medición; con excepción de los meses de Diciembre-2016(50 µg/m³) y Febrero-2017(28 µg/m³), el resto de los meses se está superando el límite de la norma de calidad de aire nacional, puesto que si se tiene en cuenta, que la norma establece, que el límite anual debe ser inferior a 50 µg/m³, en solo Noviembre-2016 (70 µg/m³), se excede la norma en un 40%.

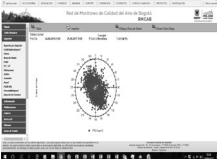


Esto compromete seriamente la calidad de aire del sector debido a las fuentes móviles, que en su mayoría magnifican el problema, cuando aumentan la concentración de PM10 en el aire (Rojas Y., 2009); además, los picos de concentración reportados por el acumulado global, se encuentran directamente asociados a la actividad de transporte en el sector y al bajo índice de circulación, lo que ocasiona que los automotores (Cardenas-Franco, 2012), deban acelerar en primera marcha, aumentando significativamente la concentración de material particulado PM10 emitido a la atmosfera (Rojas Y., 2009).

Por otro lado, el reporte de material particulado PM 2.5 excede la Resolución 601 de 2006 en la mayoría de los meses, exceptuando los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2016. Partiendo de la hipótesis, de que las fuentes móviles emiten más que las fuentes fijas, se debe controlar este factor para mejorar las condiciones de calidad de aire a nivel local (Rojas Y., 2009).

Rosa de polución PM 2.5 y PM 10

En el Sistema de Calidad de Aire de Bogotá, se obtienen los perfiles de polución para el PM 2.5, PM 10, así:

Tabla 2. Análisis de rosas de polución Material Particulado PM10 y PM2.5.

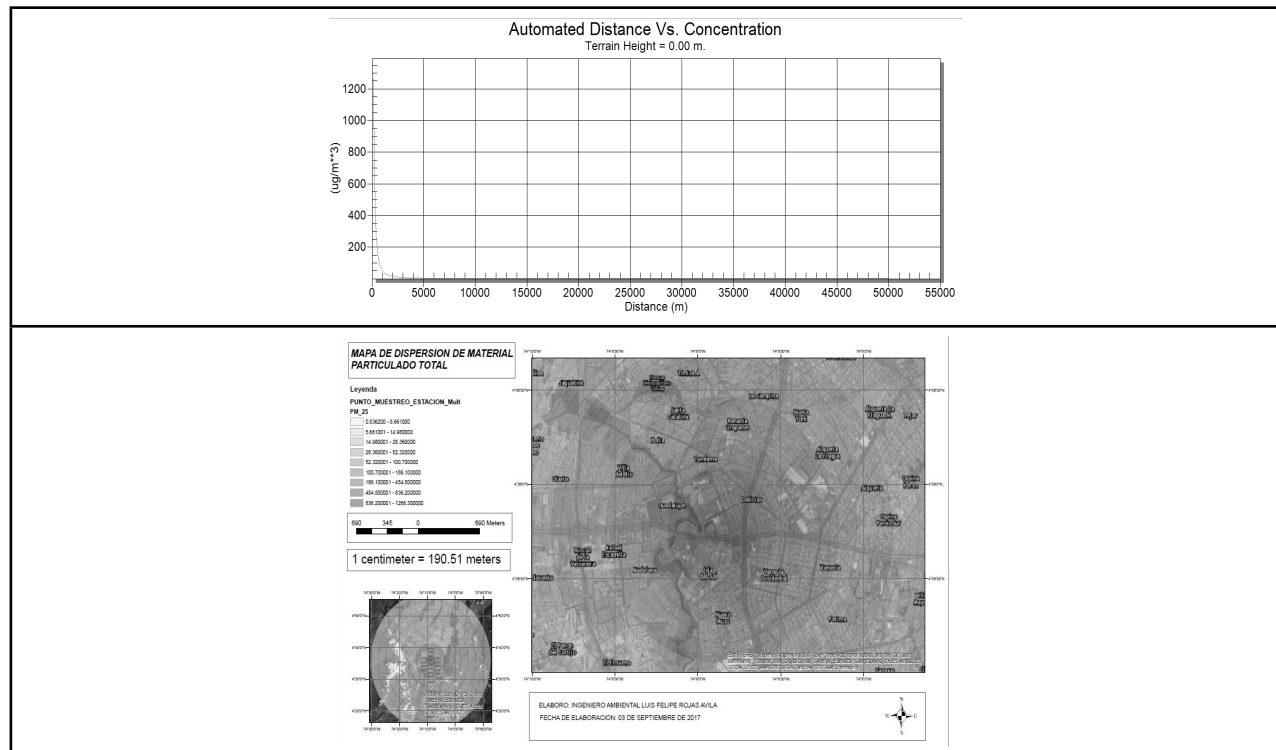
Rosa de Polucion	Descripción / Análisis
	La dispersión del material particulado PM 2.5 es mayor en las direcciones Nor-Nor-Oeste y Sur-Sur-Este, gracias a la predominancia de viento en la dirección Sur-Sur-Este. En relación a la ubicación de las métricas el area afectada por más del 80% del PM 2.5 Emitido es de 50 m a la redonda.
	La dispersión del material particulado PM 10 es mayor en las direcciones Nor-Nor-Oeste y Sur-Sur-Este, gracias a la predominancia de viento en la dirección Sur-Sur-Este. En relación a la ubicación de las métricas el area afectada por más del 50% del PM 2.5 Emitido es de 50 m a la redonda.
	El area de influencia de la estación de medición, en relación a los 50 metros de referencia de expansión de la rosa de polución emitirá directamente sobre la población de las Delicias y Tavera respectivamente.

Fuente: imágenes tomadas del Sistema de Calidad de Aire de Bogotá

Modelación de dispersión de material particulado PM

Respecto a la normatividad ambiental, para evaluar el cumplimiento de la misma respecto a calidad de aire, todo proyecto debe realizar el proceso de modelamiento de material particulado menor a 10 Micras (PM10) y 2.5 Micras (PM 2.5). Los resultados más representativos del proceso se presentan a continuación.

Tabla 3. Curvas de concentración.



Fuente: Método *Screen View* y Mapa de Niveles de PM 10 y PM 2.5

Las curvas obtenidas para el caso de curva de PM 2.5, se mapean y se muestran los niveles de concentración de material particulado siendo el nivel rojo el más alto.

Los barrios afectados por la dispersión del material particulado serán respectivamente Delicias, Venecia Occidental, Isla del Sol y Guadalupe. Estos barrios estarán expuestos a niveles de material particulado total máximos: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mínimos. Entre las afecciones de salud más típicas, estarán: aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, muertes prematuras, síntomas respiratorios severos, irritación de ojos y nariz, exacerbación del asma y agravamiento en caso de enfermedades cardiovasculares (Silva, Mattos, Freitas, Longo, & Hacon, 2010); así mismo, la acumulación de estos materiales particulados en los pulmones, puede originar enfermedades como la silicosis

y la asbestosis. Este material entre otras cosas puede causar efectos secundarios en la dermis (piel) y Oculares variados.

Conclusiones

El modelo *Screen View* muestra los perfiles de dispersión de material particulado total (PM 2.5 y PM10), con un error de estimación del 5% en las concentraciones, al igual que la población expuesta por la pluma contaminante de material particulado en los barrios Las Delicias, Venecia Occidental, Isla del Sol y Guadalupe, y con niveles mínimos de exposición de 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y máximos de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La calidad del aire de la estación de Carvajal-Sevillana no cumple con los estándares en el lapso Agosto-2016 a agosto 2017, además de incumplir la Resolución 601 de 2006.

Referentes bibliográficos

- Barker, T. (2007). *Climate Change 2007: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Change (Vol. 446). <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Bickerstaff, K., & Walker, G. (2001). *Public understandings of air pollution: The "localisation" of environmental risk*. *Global Environmental Change*, 11(2), 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00063-7)
- Cárdenas-Franco, A. H. (2012). *Consideraciones del material particulado en Bogotá. Alternativas tecnológicas de medición de la calidad del aire*. *Revista Tecnura*, 13(25). Retrieved from <http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/306>
- Carmona, J., Poveda, G., Vélez, M. V., Bedoya, M., & Vélez, J. I. (2010). *Caracterización de la climatología y los efectos del ENSO sobre la isla de San Andrés, Colombia*. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 11. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/4518/1/DA_243.pdf
- Chaparro, R. (2014). *Simulación de Material Particulado Carrera 13 con ENVI met*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=-5BWHR2aEjQ>
- Clark, L. P., Millet, D. B., & Marshall, J. D. (2014). *National patterns in environmental injustice and inequality: Outdoor NO2 air pollution in the United States*. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094431>
- Eke, A., Herman, P., Kocsis, L., & Kozak, L. R. (2002). *Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals*. *Physiological Measurement*, 23(1), R1–R38. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/23/1/201>

- Felicio, R. A., & Onça, D. D. S. (2010). “Aquecimento Global”, “Mudanças Climáticas” E “Caos Ambiental” Justificando O Falso “Desenvolvimento Sustentável”: a Teoria Da Tríade. Fórum Ambiental Da Alta Paulista, VI, 569–590. Retrieved from <http://www.sinsantiago.com.br/material/mc-c-2.pdf>
- Fernández, M. E., Ávila, A. P., & Taylor, H. L. (2009). *SIG-P y experiencias de cartografía social en la ciudad de Bogotá* (Colombia). XII Encuentro de Geógrafos de América Latina.
- Grupo Sprilur. (n.d.). *Guía para el desarrollo sostenible de los proyectos de urbanización*. 495.
- MADS. (2006). *Resolución 0601 de 2006*. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal1.jsp?i=19983>
- Mejuto, M. (2011). *Afectación de la minería del carbón en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Rodrigatos* (el Bierzo, León). Retrieved from <http://eprints.ucm.es/13931/1/T33092.pdf>
- Moreno Jiménez, A. (2013). *Población y polución atmosférica intraurbana por dióxido de nitrógeno en Madrid: Análisis desde la justicia ambiental basado en sistemas de información geográfica*. Cuadernos Geográficos, 52(1), 84–107.
- Olivero-Verbel, J., Young-Castro, F., & Caballero-Gallardo, K. (2014). *Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Marta en de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 30 (1), 7–13.
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Actualización mundial 2005. Organización Mundial de La Salud, 25. Retrieved from http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/es/
- Perea Velásquez, F. (2015). *Legislación básica ambiental*. 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Querol, X. (2006). *El material particulado atmosférico*. Congreso Nacional Del Medio Ambiente, 1–26. Retrieved from http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/AEs/AE9/AE9_doc_XavierQuerol.pdf
- Rangel, E. O. (2016). *Uso de Redes Neuronales Pulsantes para mejorar el Filtrado de Imágenes contaminadas con Ruido Gaussiano*. COMIA, (Icm).
- Rodríguez-Eraso, N., Pabón-Caicedo, J. D., Bernal-Suárez, N. R., & Martínez-Collantes, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. In Mtnforum. Org. Retrieved from http://www.mtnforum.org/sites/default/files/publication/files/cambio_climatico_uso_suelo_andes_colombianos.pdf
- Rojas Y., N. (2009). *Aire y problemas ambientales de Bogotá*. Foro Nacional Ambiental, Documento de Políticas Públicas, 18(Problemas ambientales de Bogotá), 12.
- Ruiz, M., & Bernal, G. (2009). *Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del Reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe*. Avances En Recursos Hidráulicos, (20), 7–20.

- Sáenz, L. (2015). *Modelación de dispersión de olores y odorantes mediante el modelo de penacho gaussiano. Estudio de caso en la planta de tratamiento de El Roble de Puntarenas, Costa Rica*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Sanhueza, A., Leiva, V., & López-Kleine, L. (2011). *Sobre el modelo Gaussiano inverso mezclado t-student y una aplicación a producción de proteínas*. *Revista Colombiana de Estadística*, 34(1), 177–195.
- Silva, A. M. C. da, Mattos, I. E., Freitas, S. R., Longo, K. M., & Hacon, S. S. (2010). *Material particulado (PM2.5) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira*. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 13(2), 337–351. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2010000200015>
- Snoeyink, V.L. y D. Jenkins. Water Chemistry, J. W. & S. (2008). *Caracterización de Aguas Residuales Por Dbo Y Dqo. Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales*, 1–7. Retrieved from <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydgo2.pdf>
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... Williams, S. E. (2004). *Extinction risk from climate change*. *Nature*, 427(6970), 145–148. Retrieved from <http://www.nature.com/nature/journal/v427/n6970/full/nature02121.html#close>
- Universidad de Catarina. (2010). *Modelo Gaussiano*. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/_dl_a/tales/documentos/leip/arzate_e_ci/capitulo5.pdf
- US EPA. (2010). *Guía del Usuario del Modelo SCREEN3*. Retrieved from <https://www3.epa.gov/tncatc1/dir2/scrn3ds.pdf>
- Valbuena, I. M. V., & Angarita, I. R. V. (2013). *Modelación de la red de alcantarillado sanitario y pluvial de la urbanización plaza madrid mediante el software EPA SWMM*. Retrieved from http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1004/2/MONOGRAFIA_ESPECIALIZACION.pdf
- Van Hoof, B., & Herrera, C. (2007). *La evolución y futuro de la producción mas limpia en Colombia*. *Revista de Ingeniería*, 10(26), 101–119. Retrieved from <http://cuadernos.uma.es/pdfs/pdf529.pdf>

Referencia

Luis Felipe Rojas. *Modelamiento ambiental de calidad de aire (PM10 Y PM2.5) en la estación Carvajal-sevillana (-74.1485 N, 4.5958 E)- Bogotá D.C., usando el modelo Screen View en contraste con la Resolución 601 de 2006*
Revista Ideales (2020), Vol. 10, 2020, pp. 43 - 52
 Fecha de recepción: Abril 2020 Fecha de aprobación: Julio 2020