

Evaluación de Escenarios de Reducción de Emisiones Atmosféricas Contaminantes en una Comunidad Universitaria

Evaluation of scenarios for the reduction of air pollutants emissions at a university community

M.A. Muñoz¹, A. Builes², A. Ramírez¹, D. Valencia¹

Recibido: 5 de septiembre de 2015

Aceptado: 10 de octubre de 2015

Resumen

Por medio del uso de escenarios se estudian alternativas para la reducción de emisiones producidas por los viajes que se realizan diariamente, con motivo de estudio y trabajo a un campus universitario. Los escenarios se fundamentan en la regulación del uso del vehículo particular a través del aumento del factor de ocupación en los mismos, analizando el posible impacto en la reducción de emisiones contaminantes atmosféricas en la ciudad que tiene la disminución de viajes que hacen diariamente empleados y estudiantes a una institución o empresa. Basados en estudios previos realizados en la Institución Universitaria en Antioquia Colombia se hizo una caracterización de los factores de ocupación en los viajes realizados en vehículos particulares, con el fin de estimar, por medio de uso de escenarios, las reducciones de emisiones de contaminantes que se logran al pasar de un factor de ocupación promedio del 25% a factores de ocupación del 50%, 75% y 100%. Los resultados encontrados en este estudio son un parámetro de referencia para la gestión ambiental institucional, ya que con los resultados obtenidos es posible implementar medidas motivadas desde la administración y lograr reducciones significativas en las emisiones de contaminantes producidas por la actividad semanal de las instituciones.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, emisiones contaminantes, gestión ambiental, movilidad, escenarios.

1 Estudiante Ingeniería Ambiental, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

2 MsC en Ingeniería. Ingeniero Civil. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. luis.builes@colmayor.edu.co

Abstract

The present paper presents an evaluation of scenarios that represents alternatives for the reduction of pollutant emissions produced by daily trips made for study and work motives to a University campus. The scenarios were based on the regulation of the use of private cars by increasing their load factor; the scenarios were useful for analyzing the potential reduction of air pollutants on the city, as the scenarios simulate how trips made by employees and students of one institution or company decrease the total amount of emitted pollutants. Patterns of mobility for the development of academic activities were estimated through modeling in the Institución Universitaria in Antioquia, Colombia, a characterization of load factors were made for the institution for all the trips made by private car, in order to estimate, through the use of scenarios the achieved emission reductions of pollutants emission when going from an average load factor of 25% to load factors of 50%, 75% and 100%. The results found in this study are a benchmark for corporate environmental management, since it is possible to implement arrangements arising from the administration and achieve significant reductions in polluting emissions produced by the weekly activity of the institutions.

Keywords: Air pollution, pollutants emission, environmental management, mobility, scenarios.

1. Introducción

La modelización y simulación de situaciones reales es una alternativa ampliamente empleada en ingeniería para el diseño, análisis e implementación de soluciones que permitan el desarrollo de proyectos técnicamente viables [1]. Los modelos son el conjunto de herramientas computacionales que permiten el entendimiento de los sistemas a estudiar por medio de la reproducción de sus características [1]. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influyen las diferentes variables que intervienen un proceso, así como determinar la función que modela su comportamiento [2].

A través del planteamiento de relaciones, los procesos de modelación y evaluación de escenarios permiten comparar resultados que representan la evolución de un proceso y que ayudan a la toma de decisiones. Usar estas estrategias de análisis a escalas pequeñas posibilita la disminución del uso de software especializado y además disminuyen el tiempo de procesamiento de datos. Para este caso en particular interesa la modelación de las emisiones derivadas de los patrones de movilidad a escalas Institucionales (poblaciones de hasta 10.000 personas).

Aunque los buses tienden a generar más congestión que un vehículo particular, el último transporta más personas. Si el bus lleva 50 pasajeros y el vehículo particular 1.5 persona, entonces los pasajeros del vehículo generan 11 veces la congestión de los pasajeros del bus. Por lo tanto, a igualdad de otras condiciones, la congestión se reduce si aumenta la participación de los buses en la partición modal de los viajes ^[3]. Según algunos estudios realizados en la ciudad de Bogotá, una persona que va de su casa al trabajo recorre en promedio 19 km en su propio vehículo sin ningún acompañante. Cuando se comparte el viaje con otras personas las emisiones disminuyen a la mitad o hasta cuatro veces, además se reducen costos y se aporta a la minimización de la congestión vehicular de la ciudad ^[4].

En el Valle de Aburrá los viajes en vehículo particular representan el 12,7% del total de viajes realizados diariamente y la ciudad cuenta aproximadamente con un vehículo por cada 12 habitantes ^[5]. El uso del vehículo particular se convierte en una demostración de *status* y en una alternativa para evitar un servicio de transporte público ineficiente, al igual que en muchas ciudades latinoamericanas ^[3]. Por estos motivos, la regulación del uso del transporte particular se convierte en una alternativa para el control de la contaminación generada por la movilidad en la región.

Existen alternativas para la intervención en ambientes empresariales e institucionales como los Planes Empresariales de Movilidad Sostenible (PEMS). Estos programas fomentan la implementación de políticas corporativas y acciones prácticas que agrupan un conjunto de estrategias de movilidad sostenible, dirigidas a racionalizar los desplazamientos al lugar de trabajo y mitigar los impactos negativos que éstos generan en los viajes con motivo de trabajo en la movilidad de la ciudad de Bogotá ^[6]. Aunque este tipo de programas buscan fomentar el uso racional del vehículo, para el caso de los PEMS, la metodología utilizada no es de libre acceso ya que son proyectos realizados exclusivamente para el sector privado; sin embargo el objetivo general de los PEMS puede llegar a ser comparable con el del presente estudio.

Dependiendo del tipo de información empleada, los modelos para la estimación de emisiones atmosféricas pueden clasificarse como del tipo *top-down* y/o *bottom-up* ^[7]. Una vez se cuenta con el resultado de la modelación hecha para la información recolectada en campo se tiene la línea base, que representa la situación actual del proceso. Es posible entonces definir dife-

rentes escenarios de intervención (para la reducción de las emisiones), realizando cambios en la forma que el modelo representa la movilidad. El caso del presente estudio se basa en los resultados encontrados en el trabajo de Valencia y otros [8] desarrollado entre los años 2013 y 2014. En este estudio se profundizará en el análisis de escenarios para la reducción de emisiones en una Institución Universitaria, el Colegio Mayor de Antioquia para conocer y así poder controlar las emisiones de contaminantes atmosféricos mediante la racionalización del uso del vehículo privado.

2. Materiales y métodos

En la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia a finales del año 2013 se desarrolló e implementó un modelo para la estimación de emisiones del tipo *top-down* [6]. Mediante información recolectada con encuestas que diligenció la comunidad institucional, posteriormente se hizo una caracterización del parque automotor empleado en la institución, se seleccionaron los factores de emisión de la base de datos del modelo IVE (*International Vehicle Emission Model*, <http://www.issrc.org/live/>) y se calcularon las distancias de los viajes desde y hacia la institución. Seguidamente se realizó una estimación de las emisiones usando el modelo desarrollado por Valencia y otros [8], el cual se basó en el modelo simplificado para la estimación de emisiones (SEEM) propuesto por Tuia y otros [7]. El modelo se presenta en la ecuación 1.

Con la información recolectada correspondiente a vehículos particulares y motocicletas fue posible hacer una clasificación detallada de las tecnologías de fabricación de cada vehículo, ya que fueron los propietarios y conductores de los mismos quienes diligenciaron la encuesta. Con base en dicha clasificación se hizo la asignación de los factores de emisión particulares para cada tecnología, tomando como fuente la base de datos del IVE [9].

$$E_c = \sum_{i=1}^N V_i \times D_i \times FC_{ic} \quad (1)$$

Donde i es el número de encuesta, N el número total de encuestas, E la emisión del contaminante c en gramos durante una semana de actividad académica (g/semana), V_i el número de viajes realizados por el vehículo de la encuesta número i en una semana (viajes/semana), D_i la distancia recorrida en kilómetros por el vehículo de la encuesta número i en cada viaje (km/viaje)

y FC_{ic} factor de emisión tomado del *IVE* asociado al vehículo de la encuesta número i para el contaminante c (g/km).

Los factores de emisión empleados se tomaron para vehículos particulares y motocicletas de la base de datos del *IVE*, desarrollados especialmente para la ciudad de Bogotá [10; 11]. Si bien los factores de emisión en el modelo *IVE* se ajustan dependiendo de los factores de conducción de los Estados Unidos (FTP) y para las características ambientales de la ciudad de Bogotá, se considera que los factores seleccionados son los más cercanos a los del Valle de Aburrá ya que se cuenta con factores estimados a partir de mediciones *in situ*.

En la tabla 1 se presentan los resultados de emisión anual de contaminantes, obtenidos por [8] para los diferentes tipos de transportes empleados para los desplazamientos de la comunidad institucional. Si bien los transportes más contaminantes son la motocicleta y el transporte público colectivo, es necesario tener en cuenta dos consideraciones muy importantes para descartarlos como los transportes a intervenir para la disminución de emisiones.

Para los contaminantes MP, SO₂ y NO_x el transporte público colectivo es el mayor responsable de este tipo de emisiones debido al alto nivel de impurezas y a la quema ineficiente del tipo de combustible utilizado (diesel). Los vehículos particulares y motocicletas presentan las mayores emisiones de CO y COV ya que estos compuestos derivan de la combustión de gasolina. Se encontró que las emisiones de VOC son generadas principalmente por las motocicletas, debido que el proceso de combustión es menos eficiente en las tecnologías de éstas y adicionalmente no cuentan con elementos de captura, recirculación y control de VOC (canister y/o catalizadores).

TABLA 1. EMISIONES ANUALES ESTIMADAS DE CONTAMINANTES EN LA INSTITUCIÓN (KG/AÑO). FUENTE [8]

Tipo de transporte	CO	MP	SO ₂	COV	NO _x
Motocicleta	3,200	40	4	1,041	135
Transporte Público Colectivo	2,759	492	294	534	5,404
Vehículo particular	4,097	9	14	482	499

La motocicleta es un transporte individual, en el que la posibilidad de compartir el vehículo es limitada sólo a un segundo pasajero. El transporte público colectivo es de carácter compartido pero no es posible modificar sus rutas o frecuencias debido a que se trata de un servicio público que proveen operadores públicos o privados. Por lo anterior se decide implementar mecanismos de reducción de emisiones enfocados al vehículo particular, en el cual es posible compartir los viajes con más de dos pasajeros.

Para disminuir las emisiones de contaminantes, por transporte desde y hacia una institución universitaria, se formularon escenarios de reducción de emisiones con el fin de regular el uso del vehículo particular a través del aumento del factor de ocupación en los viajes realizados. El factor de ocupación se definió como la cantidad de asientos ocupados en el vehículo durante el viaje. Partiendo de este concepto, se aprovecha la encuesta de recolección de información para realizar una caracterización de los factores de ocupación en viajes realizados con vehículos particulares, preguntando con cuantas personas se empieza y se termina cada viaje a la Institución.

Con la información correspondiente al tipo de vehículo que se emplea para los viajes a la institución es posible asumir que la capacidad promedio de los vehículos particulares es de cuatro pasajeros, entendiendo el 25% de Factor de ocupación como el vehículo que solo tiene un pasajero es decir, el conductor. A continuación se presenta la tabla 2 con los factores de ocupación por promedio de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

TABLA 2. CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR DE OCUPACIÓN DE LOS VEHICULOS EN LOS VIAJES GENERADOS POR LA COMUNIDAD ACADÉMICA

Factor de ocupación	25%	50%	75%	100%
Promedio en la Institución	76%	9%	5%	10%

Teniendo en cuenta que el factor de ocupación predominante en la Institución es del 25% se proponen tres escenarios para la intervención del transporte particular. El primer escenario considera que todos los viajes se hacen mínimo con dos personas por vehículo, en este se mantienen los viajes con un factor de ocupación del 50%, 75% y 100% y se agrupan todos los viajes que se hacen con únicamente un ocupante. El segundo escenario considera que

todos los viajes se hacen mínimo con tres personas por vehículo, se mantiene los viajes con un factor de ocupación del 75% y 100% y se agrupan todos los viajes que se hacen con una y dos personas en el vehículo. Y el tercer escenario asume que todos los viajes se hacen con la capacidad total del vehículo (cuatro personas) se mantienen todos los viajes del 100% de factor de ocupación y los viajes con un 25%, 50% y 75% se agrupan en viajes del 100% de ocupación como se muestra en la figura 1.



FIGURA 1. ESCENARIOS DE OCUPACIÓN DE TRANSPORTE PRIVADO (TP). CADA ESCENARIO SE CARACTERIZA POR EL NÚMERO DE PASAJEROS EN CADA UNO DE LOS VIAJES.

Cambiar el factor de ocupación de los vehículos y agregar los viajes en cada uno de los escenarios significa un cambio en la variable V_i de la ecuación 1, la cual corresponde a el número de viajes realizados por el vehículo de la encuesta número i en una semana (viajes/semana) va a variar significativamente, por ejemplo: si en un vehículo se agregan tres personas que inicialmente hacían el viaje solos hacia una institución, son dos vehículos menos movilizándose para llegar y salir de la misma.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados principales que se desprenden de la modelación de los escenarios propuestos. El primer resultado que se obtiene de los escenarios es la reducción teórica de los viajes que se hacen en vehículos particulares hacia la institución. En la tabla 3 se presenta el número de viajes calculado con encuestas para la población de la institución en ^[8] y se presenta también el número de viajes por escenario y la reducción porcentual que representan. Cabe resaltar que se logran reducciones de más

del 20% de los viajes a la institución únicamente con lograr que haya dos personas en todos los viajes que se hacen en vehículos particulares.

TABLA 3. REDUCCIÓN DE VIAJES PARA CADA UNO DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS

Escenario	Viajes	Porcentaje de Reducción de viajes
Población	456	-
Escenario 1	293	36%
Escenario 2	197	57%
Escenario 3	126	72%

La tabla 4 presenta la reducción en emisión de contaminantes (CO, PM₁₀, COV y NO_x) que significa la implementación de cada uno de los escenarios en la institución, se estimaron la cantidad de gramos que se reducen por año para cada contaminante con base en el uso del modelo propuesto en la ecuación 1. Para el caso del CO se puede apreciar como la emisión disminuye en cerca de 1.500.000 gramos con lograr que todos los viajes se realicen mínimo con dos personas en los vehículos.

TABLA 4. EMISIONES ANUALES GENERADAS POR LA INSTITUCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR ESCENARIO (KG/AÑO)

	CO	PM ₁₀	SO ₂	VOC	NO _x
Actual	10,055	541	312	2,057	6,038
Reducción E1	1,525	3	5	181	178
Reducción E2	2,366	5	8	280	282
Reducción E3	2,972	6	10	350	362

En la tabla 5 se presenta lo que representan las emisiones en la Institución al ser comparadas con las emisiones del Valle de Aburrá según las estimaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana^[12]. Se encontró que por ejemplo para el escenario 3 que representa la mayor disminución de viajes, la Institución pasa a representar el 4% de las emisiones, disminuyendo en un 2% la

proporción inicial, para el caso del CO, puede hacerse un análisis similar para los demás contaminantes estudiados.

TABLA 5. EMISIONES EN TONELADAS POR AÑO EN EL VALLE DE ABURRÁ Y PORCENTAJE DE LAS EMISIONES EN EL VALLE DE ABURRÁ QUE REPRESENTAN LAS EMISIONES EN LA INSTITUCIÓN ACTUALMENTE Y PARA CADA UNO DE LOS ESCENARIOS.

	CO	PM ₁₀	COV	NOX
Valle de Aburrá	166,899	2,377	25,652	29,324
% Institución	0.006%	0.023%	0.008%	0.021%
% Escenario 1	0.005%	0.023%	0.007%	0.020%
% Escenario 2	0.005%	0.023%	0.007%	0.020%
% Escenario 3	0.004%	0.022%	0.007%	0.019%

4. Conclusiones

Los escenarios de reducción se emplean como herramienta para estudiar diferentes alternativas para la disminución de las emisiones de contaminantes atmosféricos. Modificando los patrones de movilidad en la institución, mediante escenarios, se evaluó la cantidad de contaminantes (CO, PM₁₀, COV y NOX) producidos en un año por una Institución de educación superior. Los resultados obtenidos muestran que es posible lograr una reducción de las emisiones no sólo a nivel de la Institución sino a nivel regional. Es importante resaltar que el uso de factores de emisión adaptados de la ciudad de Bogotá hacen que incurramos en errores a la hora de la estimación de las emisiones, por lo que este tipo de resultados son del tipo indicativo y deben ser refinadas una vez se cuente con factores de emisión propios para el Valle de Aburrá.

Los resultados de esta investigación son de tipo estratégico, ya que sin implementar ningún tipo de medida, o sin emplear experimentos con la población institucional se pueden evaluar la capacidad de la gestión ambiental desde diferentes escalas o visiones administrativas. Para el caso de la gestión ambiental institucional una reducción de más de 1.000.000 gramos de contaminantes al año representa una muy buena cifra en las cuentas ambientales, mientras que para el caso de la administración local se puede llegar a umbra-

les muy bajos de disminución, del orden del 2%, que pueden no ser muy alentadores, pero que pueden dar pautas para la implementación de este tipo en instituciones con poblaciones mayores.

Cualquier reducción de la contaminación atmosférica va en la vía de disminuir problemas ambientales como el incremento del efecto isla de calor en la ciudad, y socio ambientales como las afectaciones a salud pública por enfermedades cardiorrespiratorias crónicas e incremento del cáncer de pulmón, además del incremento del ruido y el estrés producidos por las congestiones vehiculares en diferentes horas del día. Es importante considerar cómo este tipo de estudios pueden tener un impacto importante sobre la reducción no sólo de las emisiones atmosféricas, sino que también pueden ser empleados para el análisis prospectivo de medidas que ayuden a la planificación de la movilidad en la ciudad, pasando de una visión orientada a la construcción de infraestructura, a una visión de racionalización y uso adecuado del vehículo.

A partir de la implementación de un modelo de estimación de emisiones, se pueden generar diferentes escenarios o alternativas de movilidad sostenible, como el diseño de rutas colectivas propias de cada empresa o institución y acompañamiento del pico y placa con campañas que incentiven el no uso del vehículo durante el día correspondiente.

Cuando se coordina y se incentiva el uso compartido del automóvil para la movilidad particular, se está garantizando la reducción del uso del vehículo particular, esto además de beneficiar a quienes lo practican, se convierte en una estrategia de movilidad ciudadana que permite mejorar las condiciones de tráfico, que en muchas ocasiones pueden ser muy complicadas en horas pico. Con una menor cantidad de carros movilizándose en las horas pico se mejora el flujo vehicular, lo que evita notablemente el estrés que produce en los conductores, el medio ambiente y las congestiones, minimizando índices de accidentalidad y contaminación atmosférica.

El actual modelo de movilidad urbana en las principales ciudades del país, ha ocasionado que cada día se incrementen los problemas ambientales, sociales y de salud pública, es por esto que se hace necesario que este tipo de iniciativas se tengan en cuenta cuando se estudien indicadores de sostenibilidad urbana, ya que lo que se pretende con estos, es el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos y la satisfacción de sus necesidades para este caso en movilidad.

1. Referencias

- [1] J. J. Padilla, S. Y. Diallo, and A. Tolk, “Do We Need M & S Science?,” *SCS M&S Mag.*, vol. 4, pp. 161–166, 2011.
- [2] IPCC, “Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, no. April 2007, Press Cambridge University, Ed. Cambridge, UK, p. 976, 2007.
- [3] I. Thomson and A. Bull, “La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales,” *Rev. la Cepal*, vol. 76, no. 10, pp. 109–121, 2002.
- [4] El Espectador, “Transporte, reinventando la forma en que nos movemos”, *Acciones prácticas hacia un estilo de vida sostenible*, fascículo 8, pp. 63, 2010.
- [5] A. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín, 2009.
- [6] J.P. Bocarejo-Suescùn, M.F. Ortiz-Carrascal, F. Alonso, and S. Cucchi, “Guía para el desarrollo de Planes Empresariales de Movilidad Sostenible en ciudades de América Latina”, *Plan empresarial de movilidad sostenible*, pp.2, 2013.
- [7] D. Tuia, M. Ossés de Eicker, R. Zah, M. Osses, E. Zarate, and A. Clappier, “Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities,” *Atmos. Environ.*, vol. 41, no. 17, pp. 3658–3671, Jun, 2007.
- [8] D. Valencia-Arroyave, M. A. Muñoz-Duque, A. R. Muñoz, L. A. Builes-Jaramillo, and C. A. Hoyos-Restrepo, “Modelo para la estimación de emisiones vehiculares como herramienta para la gestión ambiental institucional,” *Prod. + limpia*, vol. 10, no. 1, pp. 22–39, 2015.
- [9] International Sustainable Systems Research Center, “Manual del Usuario del Modelo IVE Mayo , 2008,” 2008.
- [10] L. Giraldo, “Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes,” Universidad de los Andes, 2005.
- [11] J. Londoño, M. Correa, and C. Palacio, “Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el Área Urbana de Envigado, Colombia.,” *Rev. EIA*, no. 16, pp. 149–162, 2011.
- [12] UPB, “Simulaciones especiales Tarea 1: Optimización del inventario de emisiones atmosféricas,” Medellín, Colombia, 2010.