

**METODOLOGÍA PRELIMINAR PARA EL MODELAMIENTO DE LAS
EMISIONES VEHICULARES EN UN ÁREA URBANA, A PARTIR DE UN
MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO.**



CAMILA ANDREA DÍAZJAIMES

ANDRÉS FABIÁN ARENAS CORDERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMENCÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**METODOLOGÍA PRELIMINAR PARA EL MODELAMIENTO DE LAS
EMISIONES VEHICULARES EN UN ÁREA URBANA, A PARTIR DE UN
MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO.**

CAMILA ANDREA DÍAZJAIMES

ANDRÉS FABIÁN ARENAS CORDERO

*Trabajo de grado en la modalidad investigación para optar por título de
Ingeniero(a) Civil*

Director

YERLY FABIÁN MARTÍNEZ ESTUPIÑAN

Ingeniero civil, MSc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMENCÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2013

AGRADECIMIENTOS

En primera medida le agradecemos a nuestras madres, que son modelos de esfuerzo, dedicación y ejemplo. Quienes lograron cultivar en nosotros la necesidad de adquirir conocimiento y tener una visión crítica hacía la aplicación de este.

Agradecemos a nuestro director por darnos la oportunidad de trabajar en este proyecto, por acompañarnos y orientarnos de inicio a fin por medio de su conocimiento y consejos los cuales fueron de gran ayuda para superar obstáculos y llevar a cabo un estudio responsable.

A nuestros amigos, familiares y demás personas que nos han acompañado y apoyado durante este proceso de formación y la culminación de una etapa más de nuestras vidas.

A la CDMB, Dirección de Transito de Bucaramanga y al grupo de investigación de GEOMATICA por facilitarnos la información requerida para el desarrollo y culminación de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.	15
1.OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2.GENERALIDADES	18
3.METODOLOGÍAS EXISTENTES DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.	19
3.1 Environmental Protection Agency (EPA).	19
3.2 EmissionsModel Factor (EMFAC).	20
3.3 European Environment Agency (EEA).	20
3.4 Modelos de Velocidad/Aceleración Instantánea.	22
3.5 Modelos de Velocidad Instantánea/Carga del Motor.	23
3.6 Modelo de Emisiones Vehiculares (MODEM).	23
3.7 Metodologías Empleadas en Colombia	25
4.1 Estudio Base.	27
4.2 El algoritmo de asignación y la función de costos.	29
4.3 Construcción De La Red De Transporte y Asignación Del Tráfico.	29
4.3.1 Tiempo de Flujo Libre.	30
4.3.2 Parámetros Alfa y Beta.	30
4.3.3 Capacidad Vehicular.	31
4.3.4 Precarga.	32
4.3.5 Restricciones de Giro.	32
4.3.6 Creación de los Centroides Y Conexión con las TAZ.	32

4.4 Asignación de Tráfico.	33
4.5 Calibración del Modelo.	34
4.USO DEL SOFTWAREMOBILE 6.	34
5.1 Características de Funcionamiento.	35
5.2 Comandos requeridos para el cálculo de emisiones por medio de Mobile	35
5.3 Parámetros De Entrada Necesarios	38
5.3.1 Flota Vehicular:	38
5.3.1.1. Distribución de Registros Vehiculares:	38
5.3.1.2 Fracción de Diésel	38
5.3.1.3 Tasa anual de acumulación de Millas	39
5.3.1.4 Fracción de vehículos a gas natural vehicular (GNVs):	39
5.3.1.5 Fracción de millas de viajes vehiculares (VMT):	39
5.3.1.6 Velocidad Promedio	40
5. PARÁMETROS DE MOVILIDAD UTILIZADOS PARA EL CASO DE ESTUDIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA	40
Fuente. Elaboración propia	41
6.1 Condiciones Ambientales y Externas	42
6.CONCLUSIONES	46
7.REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Alfa y Beta empleados.	31
Tabla 2. Velocidades Promedio por Tipo de Vehículo.	41
Tabla 3. Valores de Humedad Relativa del Día.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama resumen del cálculo de emisiones por medio de modem.	25
Figura 2. Distribución espacial de los contaminantes evaluados: a) co, b) cov,c) nox, d) pm10, e) so2 en envigado.	26
Figura 3. Zonificación del área metropolitana de Bucaramanga	28
Figura 4. Malla vial del área metropolitana de Bucaramanga.	30
Figura 5. Modelo de asignación de tráfico en el área metropolitana de bucaramanga.	33
Figura 6. Representación en un archivo de texto de la programación básica en mobile 6.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES EN UNA ZONA
ESPECÍFICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA⁵²**

RESUMEN

TÍTULO: METODOLOGÍA PRELIMINAR PARA EL MODELAMIENTO DE LAS EMISIONES VEHICULARES EN UN ÁREA URBANA, A PARTIR DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO. *

AUTORES: CAMILA ANDREA DÍAZ JAIMES, ANDRÉS FABIÁN ARENAS CORDERO**

PALABRAS CLAVES: Calidad del Aire, Parámetros de Movilidad, Parámetros Ambientales, Fuente móviles, Factores de Emisión.

Mediante el uso de los software TRANSCAD y MOBILE 6 se presenta una metodología preliminar para el cálculo de las emisiones de Monóxido de carbono (CO); Óxidos de Nitrógeno (NOx); Bióxido de carbono (CO₂), Dióxido de azufre (SO₂) e Hidrocarburos (HC) producidas por los vehículos en el área metropolitana de Bucaramanga mediante el uso de los datos obtenidos en un modelo de asignación de tráfico.

En este proceso de investigación fue necesario conocer las metodologías con que diversos países han estudiado las condiciones particulares de contaminación atmosférica en su región, en donde tienen una consideración común y es el reconocimiento de la gran influencia negativa del parque automotor y diversos parámetros de movilidad en el deterioro de la calidad del aire, posteriormente se estudia a más profundidad el software MOBILE 6 reconociendo los diversos parámetros que este utiliza para generar la cantidad de emisiones, y las particularidades que hay que tener en cuenta dependiendo de la región de estudio.

Adicionalmente a través de la profundización y el avance en las investigaciones se sumaron las condiciones externas y/o ambientales al análisis de la calidad del aire, permitiendo llegar a casos de estudio donde se combinan parámetros ligados a la movilidad vehicular y parámetros propios del medio ambiente, situación que se quiere presentar en esta investigación.

*trabajo de grado

**Facultad de Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil

Director: Ing. Ms. Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

ABSTRACT

TITLE:PRELIMINARY METHODOLOGY FOR THE MODELING OF THE TRAFFIC EMISSION IN AN URBAN AREA, FROM A MODEL OF TRAFFIC ASSIGNMENT

AUTHORS:CAMILA ANDREA DÍAZ JAIMES, ANDRÉS FABIAN ARENAS CORDERO**

KEYWORDS:Air quality, Mobility parameters, Environmental parameters, Mobile sources, Emission factor.

By using the software TRANSCAD and MOBILE 6 presents a preliminary methodology for calculating the emissions carbon monoxide (CO), Nitrogen Oxides (NOx), carbon dioxide (CO₂), sulfur dioxide (SO₂) and hydrocarbons (HC), produced by vehicles 6 in the metropolitan area of Bucaramanga using information obtained in a model of traffic allocation.

In this research process was necessary to know the methodology with which different countries have studied the particular conditions of air pollution in their region, there have as common scope the identification of the great negative impact of automobiles and diverse mobility parameters in the deterioration of air quality, subsequently we study deeper MOBILE 6 software recognizing the various parameters used to generate the amount of emissions, and the characteristics that must be taken into account depending on the region of study.

Additionally the deepening and advancing research were added external conditions and / or environmental to the analysis of air quality, allowing reach to case studies that combines parameters associated with vehicular mobility and parameters of the environment, situation that wants to present in this research.

*Degree project

**School of Civil Engineering School physicomechanical

Directed by: Ing. Ms. Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

INTRODUCCIÓN.

La problemática ambiental se ha convertido en los últimos años en un tema muy común en la sociedad, en donde la mayoría de la personas han empezado a adoptar reglas mínimas para ser más amables con el planeta. Claramente es de aplaudir esa adquisición de conciencia ambiental, sin embargo la sumatoria de mínimos esfuerzos (como reciclar, el uso racional del agua, no usar productos que deterioren el aire, etc.), no alcanzan para generar un verdadero cambio ambiental favorable para el planeta ya que las medidas estatales para los verdaderos responsables del aporte significativo al deterioro no son suficientes.

Un aspecto que ha suscitado interés en cuanto al deterioro ambiental es la contaminación del aire, el cual es el receptor a diario de emisiones contaminantes tanto de fuentes fijas como móviles. Mantener la calidad del aire es de vital importancia para los seres vivos por eso surge la necesidad de conocer cuál es el impacto que generan en este, a diario la circulación de vehículos por las vías de una ciudad, es por esto que apoyándose en diferentes métodos basados en el uso de software especializados que permitan realizar una estimación de dicho impacto, entre ellos se tiene los programas TRANSCAD y MOBILE 6 los cuales en conjunto permiten realizar una estimación de la de la calidad del aire a partir del cálculo de factores de emisión debido a fuentes móviles cuando se perturba el aire por la presencia de Monóxido de Carbono (Co), Dióxido de azufre (So₂), Nitrógenos (Nox), Ozono (O₃) y Material Particulado (PM₁₀) emitidos por fuentes móviles.[1]

Para el caso del área metropolitana de Bucaramanga estos compuestos son analizados por la CDMB (Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga) y están limitados a unos rangos máximos según las normas locales de calidad de aire, ya que estos en gran cantidad o a exposiciones crónicas a concentraciones bajas tienen efectos nocivos para la salud humana como: “efectos adversos en órganos de alto consumo de oxígeno como el cerebro (Déficit en memoria, atención, concentración y alteraciones del movimiento tipo parkinsonismo) y el

corazón (hipertensión arterial, aparición de arritmias y signos electrocardiográficos de isquemia)” [2]. “Los asmáticos son especialmente sensibles a los efectos del NO₂, se ha encontrado que el 70% de los asmáticos responden a concentraciones más bajas que las personas sanas (90-560 µg/m³ (0,05-0,3 ppm) frente a mayor de 1880 µg/m³ (1 ppm) en personas sanas)” [3]. “El dióxido de azufre (SO₂) se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños.” [4]

Es por ello que en este artículo se presentan un análisis hecho mediante un proceso de investigación y consulta bibliográfica del uso de un modelo de asignación de tráfico para la estimación del nivel de emisiones contaminantes mediante el uso de un software como lo es Mobile.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis preliminar del impacto ambiental producto de las emisiones de contaminantes atmosféricos por parte de los vehículos en el área metropolitana de Bucaramanga, con base en los resultados de un modelo de asignación de tráfico.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información ambiental y de movilidad necesaria para la realización del modelo de asignación de tráfico.
- Realizar el montaje del modelo de asignación de tráfico mediante el uso del software TransCad.
- Establecer la metodología necesaria para el cálculo de niveles de emisiones contaminantes mediante el uso del software Mobile 6.

2. GENERALIDADES

En el caso de estudio particular para esta investigación que es el área metropolitana de Bucaramanga, las emisiones a estudiar son aquellas provenientes de fuentes móviles, las cuales merecen nuestra atención ya que cifras del Ministerio de Transporte (2011), muestran que el número de vehículos particulares matriculados en el área metropolitana de Bucaramanga llegó a los 86.970 autos y 135.206 motocicletas; de estos, 73,4% de los autos y 7,0% de las motos están registrados en Bucaramanga[5]. Este aumento del parque automotor asociado al crecimiento de la población y que también conlleva al aumento edificaciones de gran altura son una combinación que deteriora la calidad del aire. En los meses de sequía del año 2012 se presentaron niveles altos de material particulado y ozono en la Ciudadela Real de Minas (sector ubicado en el occidente de Bucaramanga), donde dichos contaminantes producidos en el centro y norte son traídos por el viento y encuentra como obstáculo los edificios.[6]

La responsabilidad del cuidado del aire y el medio ambiente en general, es un asunto en el cual todos deberíamos ser partícipes tanto en el conocimiento del problema como en la proposición de soluciones, en esta región el organismo encargado del control y que posee la tecnología para llevar el monitoreo de la calidad del aire y la información correspondiente es la CDMB, la cual posee cinco (5) estaciones automáticas, tres (3) manuales y cuatro (4) estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en el área metropolitana de Bucaramanga, actualmente están ubicadas en: Zona Centro, Ciudadela Real de Minas, Zona Norte, Cañaveral y Cabecera y permiten medirlos niveles de emisiones de los 5 compuestos ya mencionados. [7]

Analizando la primera situación que es el aumento del parque automotor donde factores como, el tipo de combustible; tipos de vehículos con distinta tecnología; determinadas condiciones de uso (tránsito), y la segunda que es la manera particular de medición de determinadas condiciones ambientales en sectores de la

ciudad (temperatura, humedad ambiental, etc). Se busca crear una metodología donde se combinen ambos factores que permitan con el uso de herramientas tipo software la estimación de emisiones contaminantes.

3. METODOLOGÍAS EXISTENTES DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.

En la actualidad existe gran preocupación por los altos niveles de contaminación encontrados en el ambiente, especialmente en el aire, se han venido realizando esfuerzos, aunque no los suficientes, para que la calidad de este mejore. Algunos gobiernos han hecho compromisos por reducir y controlar sus emisiones contaminantes como por ejemplo la *Convención sobre la Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia*, adoptada en Genova en 1979, dentro de la cual se han establecido diversos protocolos como el de Helsinki sobre el SO₂ (1985), el de Sofía sobre los NO_x (1988) el de Genova sobre los COVs (1991) y el Protocolo de Oslo sobre el azufre (1994) [8]; el surgimiento de estos tratados ha generado que en diferentes países se hayan venido desarrollando software y metodologías que ayudan a estimar los niveles de los principales contaminantes como medida inicial para la mitigación del impacto negativo que producen. Algunas de estas metodologías se presentan a continuación.

3.1 Environmental Protection Agency (EPA).

Los primeros en desarrollar una metodología para la modelación de las emisiones fue la Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos. En 1978 diseñaron MOBILE, un software que provee una estimación promedio de los factores contaminantes como hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), y óxidos de nitrógeno (NO_x), teniendo en cuenta diferentes tipos de vehículos. La última versión desarrollada es MOBILE 6.2 que permite estimar, aparte de los anteriores factores, el número de escape partículas contaminantes peligrosas del aire.

El uso principal de MOBILE6.2 es determinar inventarios de emisiones vehiculares. “Estos inventarios son estimaciones de emisiones totales de la flota vehicular sobre una región en particular.”[9].

Esta metodología no solo es usada por la EPA en Estados Unidos, sino que ya países como Canadá y México las han usado para crear estrategias de control del impacto del parque automotor a la calidad del aire.

3.2 EmissionsModel Factor (EMFAC).

MOBILE no es la única metodología desarrollada en Estados Unidos. En el estado de California se creó EMFAC (EmissionsModel Factor). EMFAC es uno de los cuatro modelos del "Inventario de Emisiones de Vehículos de Motor" que se utiliza para lograr inventarios de emisiones. Se actualiza periódicamente desde 1988. La última versión es de septiembre de 2011.

El modelo EMFAC proporciona las tasas de emisiones básicas en (g/milla) para vehículos ligeros de gasolina, que se clasifican en función de su año de producción, de la tecnología de los vehículos (carburador controlado, carburador con inyección directa) y el nivel de emisiones (normal, moderada, alto, muy alto, súper) para tres contaminantes (CO, HC, NOx) y de CO₂. Al igual que MOBILE, utiliza factores de corrección para la aceleración (velocidad base aquí es 39,9 km/h). Los factores de ajuste también se utilizan para incluir la temperatura, el deterioro de los vehículos, aire acondicionado, humedad, altitud, y la volatilidad del combustible [10].

3.3 EuropeanEnvironment Agency (EEA).

En Europa se decide realizar en 1980 el inventario EMAP avalado por la EuropeanEnvironment Agency (EEA), el cual utiliza para sus inventarios una clasificación en categorías del parque automotor y un sistema de clasificación en

tres grupos de actividades emisoras, con diferente grado de análisis de acuerdo a la clasificación hecha por Ntziachristos¹ y Samaras²:

- “Grupo 1: contaminantes para los que se dispone de una metodología detallada, basada en factores de emisión que se definen en función de las condiciones de tráfico (velocidad de circulación) y del tipo de motor. Dentro de esta categoría se incluyen, NO_x, CO, COV, CH₄ y PST.
- Grupo 2: contaminantes cuyas emisiones se definen indirectamente en función del consumo de combustible. Se incluyen al CO₂ y SO₂.
- Grupo 3: contaminantes para los que existe una metodología simple, en razón de la ausencia de información detallada. Se incluye al N₂O.” [11].

EMAP obtiene sus resultados combinando dos factores técnicos, factores de emisión basados en los kilómetros que recorre el vehículo, datos de actividad y considera 3 tipos diferentes de emisiones de acuerdo a la fuente:

- Emisiones en frío
- Emisiones en caliente
- Emisiones evaporativas

“El inventario EMAP tiene una escala temporal anual y ofrece simulaciones para el 2010, 2015 y 2020.

La resolución del inventario es de 50x50 km² para toda Europa, por países. Además del tráfico, EMAP incluye la influencia de otros sectores como la industria y la agricultura.” [12]

¹Profesor de División de Energía del Laboratorio de Termodinámica Aplicada de la Universidad Aristóteles de Tesalónica.

² Profesor Titular y Director del Laboratorio de Termodinámica Aplicada, Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Aristóteles de Salónica, Grecia

Conjuntamente con los inventarios de EMAP trabaja COPERT un software desarrollado por la European Environment Agency que permite estimar las emisiones del sector del transporte por carretera y las emisiones de los motores de combustión interna.

Las emisiones calculadas incluyen: contaminantes reglamentados (CO, NO_x, COV, PM) y no reglamentadas (N₂O, NH₃, SO₂, NMVOC especiación,...) y también es posible calcular el consumo de combustible. COPERT III es una versión actualizada que incluye una revisión de los elementos metodológicos y una interfaz rediseñada con miras a una elaboración de inventarios nacionales más ágil. La nueva versión permite conocer aparte de las emisiones ya mencionadas, una extensa lista de contaminantes, el efecto de antigüedad del vehículo sobre las emisiones, la opción de activar o desactivarla la influencia del plomo, asignación de gasolina para vehículos de pre-catalizador y otros. [13].

Existen otros modelos para estimar emisiones contaminantes, estos se califican según el método que utilizan entre los que podemos encontrar:

3.4 Modelos de Velocidad/Aceleración Instantánea.

Este tipo de modelo utiliza una matriz, la mayoría de las veces de dos por dos, una columna con intervalos de velocidad y la otra con intervalos de aceleración, que contiene factores de emisión instantáneas (g/s). Estos corresponden a la media de una distribución de valores de los factores de emisión por segundo obtenido durante el muestreo de emisiones para uno (o más) ciclo (s) de conducción.

Un ejemplo del modelo es:

- Kent y Post, desarrollado en Australia en los años 80 para estimar las emisiones de combustible en caliente. Se realizaron pruebas a 164 vehículos ligeros a gasolina y 16 vehículos ligeros a diésel en 2077 ciclos de conducción. El análisis de estas matrices mostró una buena correlación entre los valores de los factores de emisión y la matriz de potencia instantánea del vehículo.

3.5 Modelos de Velocidad Instantánea/Carga del Motor.

Este tipo de modelo estima emisiones instantáneas (g/s) producido por un motor basado en su velocidad (revoluciones por minuto) y la carga. Las matrices se generan a partir de mediciones de consumo de combustible y mediciones de emisiones, realizadas en un motor con un dinamómetro y simulados para las combinaciones de velocidad del motor y la carga constante.

Un ejemplo del modelo es:

- El modelo europeo PHEM (*Passenger car and Heavy-duty vehicle Emission Model*) (2005) se basa en pruebas con dinamómetro realizadas sobre vehículos VL (nombre no especificado) para 15 ciclos de conducción y PL (número de ciclo de conducción sin especificar). Ha sido desarrollado en numerosos proyectos nacionales e internacionales, como Artemis³ el proyecto COST 346 y la cooperación germano-austro-suiza en la "Guía práctica de los factores de emisión" (HBEFA). [14]

3.6 Modelo de Emisiones Vehiculares (MODEM).

En América Latina se han hecho estudios similares para monitorear la calidad del aire, como en el caso de Santiago de Chile (Chile), con el modelo MODEM, que fue creado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile cuyos resultados, no han sido validados con ningún otro modelo alternativo; por lo tanto, su precisión es aún incierta. La metodología MODEM se desarrolló en el 2001 en el marco del estudio "Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones Ex-Post, VI Etapa" "Esta metodología fue concebida basándose en el enfoque bottom-up - que es el modelo matemático utilizado para el cálculo de emisiones - y sus aplicaciones dentro de un nivel estratégico en el ámbito urbano, consistente con la metodología empleada por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)

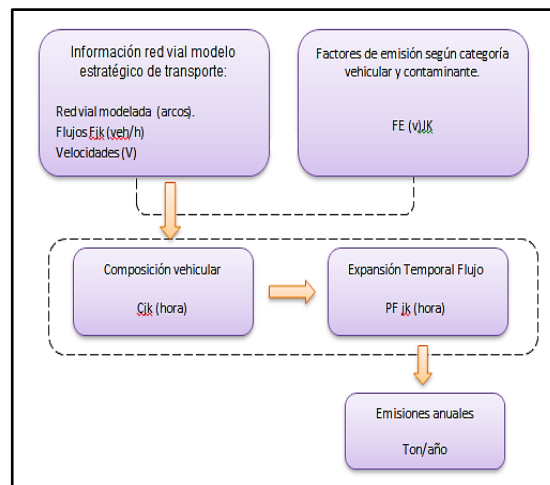
³ Artemis estima cantidades de contaminantes emitidos en el escape (frío y calor) y fuera de escape (emisiones por evaporación). Se basa en una distribución de la flota nacional, que depende del país y de la ciudad hecha para cada situación del tráfico en la lista. Un total de 276 situaciones de tráfico se enumeran con 69 tipos de carreteras y cuatro tipos de flujos (libre, responsable, congestionado y Stop & Go).

para elaborar los Inventarios de Emisión para las principales ciudades del país causadas por fuentes móviles.

La metodología considera los principales tipos de emisiones producidas por las fuentes móviles, conocidas como emisiones por tubo de escape (hotexhaustemissions), emisiones en frío (coldstartemissions) y las emisiones evaporativas (evaporativeemissions), además, estima las emisiones de polvo resuspendidas, las emisiones por desgaste de frenos y neumáticos, la suma de ésta constituye las emisiones totales de las fuentes móviles de una determinada área de estudio. Para llevar a cabo estos cálculos se utilizan distintos factores de emisiones por tipo de vehículos y por contaminante (PM, PTS, CO, NOX, HCT, SOX, CO2, N2O, NH3 y CH4) - basados en factores aplicados en el continente europeo - así como, los factores de consumo de combustibles." [15].

Lo novedoso de esta metodología es que recibe información de los modelos de tráfico provenientes de ESTRAUS (Modelo de Equilibrio Oferta-Demanda para Redes Multimodales de Transporte Urbano con Múltiples Clases de Usuarios) como red vial, tipo de vía, niveles de flujos vehiculares, velocidades promedios, tipo de vehículos, etc; y da como resultado los factores de emisión vehicular para 21 tipos de vehículos, corregidos por la velocidad y la aceleración. [16].

Figura 1. Diagrama resumen del cálculo de emisiones por medio de modem.



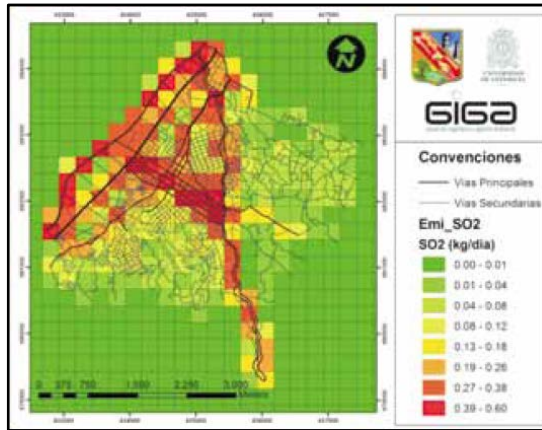
Fuente. Elaboración propia

3.7 Metodologías Empleadas en Colombia

En el caso de Colombia se han desarrollado dos estudios en donde se ha buscado estimar la calidad del aire.

Se tiene que en envigado se desarrolló un estudio en donde se calcularon las emisiones contaminantes de (CO, NOx, SO2, PM10 y COV) provenientes de fuentes móviles para el año 2010. Para ello se utilizó información de los vehículos matriculados en la ciudad, aforos, distribución y actividad vehicular. Las emisiones fueron calculadas a partir del método IVE, el cual tiene en cuenta la clasificación vehicular, el kilometraje recorrido por categoría de vehículo y el factor de emisión asociado a cada categoría. Finalmente se representaron gráficamente las emisiones horarias y diarias en un sistema SIG.[17].

Figura 2. Distribución espacial de los contaminantes evaluados: a) co, b) cov,c) nox, d) pm10, e) so2 en envigado.



Fuente. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 16. Diciembre 2011.

El otro estudio fue realizado en la ciudad de Cali donde se usó el software MOBILE 6 para calcular los factores de emisión (FE) de Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NOX) e Hidrocarburos (HC), provenientes de fuentes móviles en el periodo de 1996-2006. Estos resultados fueron comparados con los datos suministrados por los CDA. Los datos del parque automotor se obtuvieron del Ministerio de transporte y sirvieron como datos de entrada junto con las condiciones meteorológicas para el software. [18]

Los modelos de planeación del transporte surgen de la necesidad de representar los actuales sistemas de transporte en un territorio para anticipar su comportamiento ante cambios en la infraestructura y/o la demanda; el esquema clásico de estos modelos consta de cuatro etapas: el modelo de generación-atracción, el de distribución, el de repartición modal y el de asignación. Éste último modelo busca determinar el flujo vehicular presente en cada elemento de una red

de transporte, para ello el modelo distribuye sobre la red los viajes entre las distintas zonas en que se divide el territorio (matrices O-D). En particular, cuando los viajes y la red de transporte corresponden al transporte privado el modelo se denomina modelo de asignación de tráfico

Gracias a que en el área metropolitana de Bucaramanga, se contaba con la mayoría de la información se pudo desarrollar un modelo de asignación de tráfico, sin embargo, la región aún no cuenta con un modelo propio, en parte por el desconocimiento de la importancia de éste y en parte por la falta de herramientas y personal para desarrollarlo.

Para el desarrollo del modelo se estableció como algoritmo de distribución de flujos el de equilibrio estocástico del usuario (SUE) por ser el algoritmo que mejor se ajusta al comportamiento de los usuarios del sistema de transporte privado y por contarse con información suficiente de la red de transporte para su uso; la construcción del modelo se realizó en el *software* TransCad por tratarse de la herramienta más completa para la planeación del transporte disponible a la fecha y por estar desarrollado en una plataforma SIG que facilita el ingreso, procesamiento y presentación de la información requerida y obtenida por el modelo de asignación de tráfico.

A continuación se muestran las tareas que se necesitaron para llevar la asignación.

4.1 Estudio Base.

En primera instancia, para representar y caracterizar en TransCad la malla vial del área metropolitana de Bucaramanga se creó un archivo geográfico con base en un grafo de la región disponible en formato *.shp*, que incluía información geométrica y catastral de las vías (pendiente, número de calzadas y carriles, anchos de carriles, jerarquización vial, uso vial y tipo y estado del pavimento). El grafo y la información asociada fueron obtenidas del inventario vial del área metropolitana de Bucaramanga (2008-2011) realizado por la Universidad Industrial de Santander.

Por otro lado, la zonificación del área metropolitana se realizó con base en los 129 sectores económicos definidos por el DANE (2000), dando origen en TransCad a un archivo geográfico con igual número de zonas de asignación de tráfico (TAZ). A su vez, el número de viajes entre zonas para el año base se estimaron a partir de proyectar al año 2010 las matrices O-D obtenidas de la encuesta de movilidad desarrollada para el área metropolitana de Bucaramanga en el 2005; la proyección de las matrices se realizó con base en la tasa de crecimiento promedio anual del parque automotor del municipio de origen del viaje durante el periodo 2000-2009, según cifras del Ministerio de Transporte.

Figura 3. *Zonificación del área metropolitana de Bucaramanga*



Fuente. Elaboración propia

Finalmente, la información de los flujos vehiculares actuales en la red - necesarios para calibrar el modelo- se recopiló de los conteos vehiculares adelantados en el 2010 y distribuidos en 30 puntos de control sobre el área metropolitana de Bucaramanga, considerando, únicamente, los flujos registrados en la hora pico: entre 7:00 y 8:00 de la mañana.

4.2 El algoritmo de asignación y la función de costos.

Para desarrollar un modelo de asignación de tráfico es necesario adoptar un algoritmo que determine las rutas que tomaran los usuarios (vehículos particulares) para realizar los viajes, minimizando sus costos al desplazarse. Los distintos algoritmos de asignación existentes se diferencian entre sí por incluir o no el grado de saturación - flujo asignado sobre capacidad- de cada ruta en la función de costos, es decir, por considerar o no el efecto que tiene la congestión en la decisión de los usuarios de qué vías tomar para realizar su viaje.

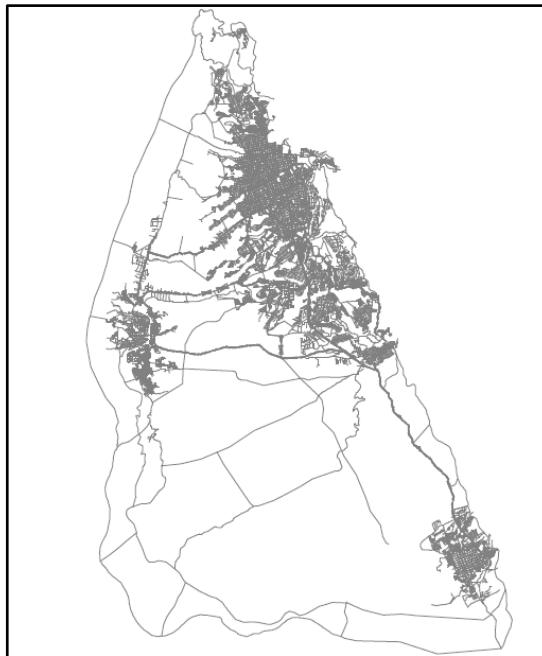
En el estudio realizado se optó por un algoritmo que consideraba la congestión por ser la condición en la que se encuentran los principales corredores viales del área metropolitana de Bucaramanga en hora pico, seleccionando, en particular, el algoritmo de equilibrio estocástico del usuario (SUE) por ser el algoritmo que mejor representa el comportamiento real de los usuarios, ya que presume que éstos no tienen conocimiento total de los costos de viaje de cada ruta, los flujos obtenidos para cada elemento son únicos y sobretodo porque se cuenta con toda la información requerida en la función de costos (C) del SUE, definida a continuación, y donde t_k, x_k, q_k, α_k y β_k son, respectivamente, el tiempo de flujo libre, el flujo, la capacidad y los parámetros alfa y beta del elemento k-ésimo de la red.

$$C_k = t_k \cdot \left(1 + \alpha_k \cdot \left(\frac{x_k}{q_k} \right)^{\beta_k} \right)$$

4.3 Construcción De La Red De Transporte y Asignación Del Tráfico.

La red de transporte es una representación matemática de la malla vial que recopila toda la información geográfica y de tráfico asociada a dicha malla, y que junto a las matrices O-D constituyen los elementos necesarios para realizar la asignación de tráfico (malla que fue obtenida con el grupo de Investigación GEOMATICA).

Figura 4. *Malla vial del área metropolitana de Bucaramanga.*



Fuente.Elaboración propia

A continuación, se describe la información de tráfico que se cargó a la red para caracterizarla de acuerdo a la función de costos empleada y el procedimiento seguido para la asignación de tráfico en TransCad.

4.3.1 Tiempo de Flujo Libre.El tiempo de flujo libre se determinó a partir de la velocidad de flujo libre medida en campo en los elementos donde se contaba con esta información, y según la velocidad máxima permitida por el Código Nacional de Tránsito Terrestre en los demás elementos: 30 km/h en vías locales, 60 km/h en arterias urbanas y 80 km/h en vías nacionales.

4.3.2 Parámetros Alfa y Beta.Los parámetros alfa y beta - constantes que ajustan la función de costos- se asignaron de acuerdo a la jerarquización de la malla vial, como se muestra:

Tabla 1. Valores de Alfa y Beta empleados.

Jerarquización Vial	Alfa	Beta
Autopista	0.78	2.5
Arteria Urbana	0.40	5.5
Colector	0.70	4.0
Local	0.78	3.8
Conector a Centroide de Zona	0.15	4.0

Fuente. Elaboración propia

4.3.3 Capacidad Vehicular. La capacidad vehicular de los elementos de la red se estableció conforme al *Highwaycapacity manual 2000* (HCM 2000) distinguiendo si los elementos pertenecían a intersecciones semaforizadas o no. En general, la capacidad vehicular del elemento i -ésimo de la red se definió como:

$$C_i = g_i \cdot S_i$$

Donde S_i es el flujo de saturación (vehículos/h) e igual a una capacidad base afectada por factores de corrección. Para el área metropolitana de Bucaramanga se planteó una capacidad base de 1600 vehículos/h y se consideraron los factores de corrección por ancho del carril (f_a), porcentaje de vehículos pesados (f_{vp}), pendiente (f_i) y situación (f_z), con lo cual el flujo de saturación en este caso es:

$$S_i = 1600 \cdot f_a \cdot f_{vp} \cdot f_i \cdot f_z$$

Por otro lado, g_i es la reducción de la capacidad por la intersección que en el caso de intersecciones semaforizadas se consideró como la relación entre el tiempo en verde y el tiempo total de la fase, mientras que en intersecciones no semaforizadas se tomó como 0.5.

4.3.4 Precarga.

Para el área metropolitana de Bucaramanga se definieron dos tipos de precarga o flujos constantes en la red: los correspondientes a los vehículos de carga y a los buses de servicio público. La precarga por vehículos pesados se determinó a partir de los conteos vehiculares en hora pico, mientras que la precarga de buses se estimó a partir del número de rutas que circulan por cada elemento en la hora pico y la frecuencia con la que lo hacen. Posteriormente, para efectos del modelo en TransCad el número de vehículos se convirtió a vehículos equivalentes empleando un factor de 1.5 para buses de transporte público y de 2.0 para vehículos pesados, que se consideran adecuados según los estudios de movilidad realizados por el grupo de Investigación GEOMATICA.

4.3.5 Restricciones de Giro. La restricción de giros es una herramienta disponible en TransCad que permite ajustar el modelo de asignación de tráfico a la dinámica real del tráfico. Para este estudio se creó una tabla de penalidades donde se consignaron las restricciones de giro más importantes en el área metropolitana, asignándoles un tiempo de penalidad de 1 h de modo tal que ninguna ruta incluyera este giro. Adicionalmente, y considerando que en la mayoría de las intersecciones de Bucaramanga y su área metropolitana está prohibido el giro en 'U', se simplificó esta situación asumiendo que este movimiento no está permitido en toda la red.

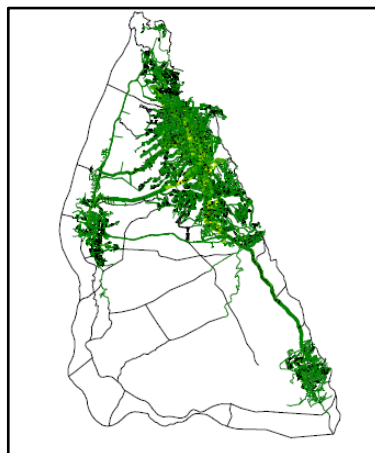
4.3.6 Creación de los Centroides Y Conexión con las TAZ. Para conectar la red con el archivo geográfico de las TAZ, y por ende con la matriz O-D, se creó un centroide para cada zona y posteriormente éstos se enlazaron a los nodos de la

red mediante nuevos elementos, estos elementos se denominan como conectores a centroide de zona y no se tienen en cuenta dentro de las rutas de viaje. Para el presente modelo se crearon a lo sumo tres conectores entre los nodos de la red y cada centroide, dándole prelación a los nodos más cercanos a cada centroide.

4.4 Asignación de Tráfico.

Para realizar la asignación de tráfico se requería contar con la red de transporte caracterizada y conectada a las TAZ, y con la matriz O-D para el año base expresada en número de vehículos privados. Por ende, previo a la asignación fue necesario convertir las unidades en las que se expresaban las matrices O-D de número de viajes a número de vehículos particulares definiendo una tasa de ocupación vehicular para Bucaramanga y su área metropolitana de 1.5 viajes por vehículo. Una vez se contó con toda la información necesaria, la asignación de tráfico se realizó en el *software* TransCad mediante la herramienta *trafficassignment*, obteniéndose como resultados el flujo vehicular (incluyendo la precarga), el grado de saturación y la velocidad y el tiempo de viaje asociados al flujo para cada elemento de la red del área metropolitana de Bucaramanga.

Figura 5. Modelo de asignación de tráfico en el área metropolitana de Bucaramanga.



Fuente.Elaboración propia

4.5 Calibración del Modelo.

Por ser representaciones matemáticas de la situación real todos los modelos de asignación de tráfico tienen asociado un grado de error, el cual se determina comúnmente contrastando los flujos obtenidos por el modelo con los flujos medidos en los conteos; en caso de obtenerse un error elevado se debe realizar una calibración del modelo hasta que los flujos obtenidos presentan un error aceptable con respecto a los medidos en los conteos.

En este estudio, se calcularon el factor de ajuste R^2 y la raíz del error mínimo cuadrado (RMSE) para estimar el grado de error presente en el modelo desarrollado y se determinó que un R^2 inferior a 0.75– un valor aceptable en los modelos de transporte- requería una calibración del modelo, adicionalmente, para calcular el error se seleccionaron de forma aleatoria 250 arcos de la red de los 776 que tenían información de conteos vehiculares.

Del cálculo del error se obtuvo un RMSE de 453 vehículos y un R^2 de 0.78, este valor se consideró aceptable de acuerdo al límite establecido para los modelos de asignación de tráfico, por lo que no se realizó una calibración del modelo. Sin embargo, es importante mencionar que en caso de haberse requerido la calibración del modelo esta se puede lograr cambiando las conexiones de las TAZ con la red de forma que los flujos entrantes y salientes se distribuyan por los elementos que indican los conteos y no por los más cortos

4. USO DEL SOFTWAREMOBILE 6.

Desde 1978 la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA) por sus siglas en inglés, ha venido desarrollando un modelo llamado MOBILE, (cuya última versión es MOBILE 6.2) capaz de estimar de manera actual y futura las emisiones de los contaminantes provenientes de fuentes vehiculares y los factores de emisión -cantidad de contaminante por distancia recorrida- dependiendo del contaminante y del tipo de vehículo.

5.1 Características de Funcionamiento.

MOBILE es un software donde el usuario debe proporcionar un archivo de entrada utilizando un archivo texto.txt. Este archivo de entrada no debe tener caracteres tipo .TAB ni un nombre que tenga más de ocho caracteres y siempre debe ser usado un formato de texto DOS. Si este archivo no cumple estas condiciones o si no existe, el software no se ejecutará o le seguirá pidiendo a el usuario un archivo de entrada.

Este archivo de texto contiene los comandos que generaran una salida por parte del programa. Cada uno de estos comandos tiene una función específica y una posición dentro de la programación -aspectos que se describen detalladamente en la guía del usuario de MOBILE 6-. Esta posición se dará en tres secciones: Header, Run y escenario. Cada comando pertenece a una o más secciones, además la mayoría de comandos son de carácter opcional y no generarán salidas al no hacer uso de estos o proporcionara valores ya incluidos en el modelo.

5.2 Comandos requeridos para el cálculo de emisiones por medio de Mobile

Para poder obtener resultados de las emisiones contaminantes, es necesario el uso de un esquema obligatorio de programación, en el cual va la división del software en secciones con su comando correspondiente. Además se deben conocer los siguientes datos que acompañaran a los comandos requeridos:

- El año en el cual se desea conocer las emisiones.
- El valor mínimo y máximo de temperatura de la región de estudio.
- El valor de la presión de vapor de Reid (RVP).

En la figura 6 se presenta la estructura mínima que se necesita para obtener una salida de datos por parte del programa:

Figura 6. Representación en un archivo de texto de la programación básica en *mobile 6*.

```
***** Header Section *****
MOBILE6 INPUT FILE :

RUN DATA          :
***** Run Section *****

***** Scenario Section *****
SCENARIO RECORD   : The Title Goes Here
CALENDAR YEAR     : 2000
MIN/MAX TEMP      : 72.0 92.0
FUEL RVP          : 8.7

***** End of This Run *****
END OF RUN        :
```

Fuente. Guía del usuario de Mobile 6.

Podemos ver en la figura anterior las tres secciones en las que se realiza la modelación: Header, Run y escenario, además de los comandos obligatorios en el programa para que se genere una salida de archivos. El comando *Mobile6 input file* debe ser el primer registro de datos en un archivo de entrada de MOBILE6. Este identifica los comandos de archivos de entrada. El campo de datos de este comando no se utiliza y podría dejarse en blanco. También en esta sección van muchos de los comandos que intervienen en la salida de resultados.

El comando Run Data marca el final de la sección Header y el comienzo de la primera ejecución de un archivo de entrada de Mobile 6. No se requiere información excepto por el nombre del comando.

En la sección Run se encuentran comandos que se pueden poner también en la sección Scenariocomo: mínima y máxima temperatura, temperatura horaria, humedad absoluta, cobertura de nubes, hora pico del sol, amanecer y anochecer, fracción de diésel de los vehículos, valor de millas acumuladas por los vehículos (VMT) por hora, velocidad o tipo de servicio de la vía, presión de vapor de Reid (RVP), estaciones, entre otros. O comandos propios para la sección Run que tienen que ver en mayor parte con características del combustible y uno en particular importante que es el registro de los vehículos.

La sección Scenario marca el inicio de un nuevo escenario, y permite que el usuario introduzca el texto que se imprimirá en un lugar apropiado en el archivo de salida. También permite al usuario especificar cálculos de escenarios individuales. La única información requerida es el nombre del comando, seguido de cualquier texto de identificación que el usuario quiera que aparezca en la salida de datos. Se requiere al menos de una sección Scenario en cada archivo de entrada de MOBILE 6. Los comandos adicionales son necesarios para generar múltiples resultados de salida (por ejemplo, varios años).

Finalmente el comando End of Run marca el final de cada sección de ejecución de un archivo de comandos de entrada y se utiliza para separar varias ejecuciones. Este comando debe aparecer al final del scenario de cada sección Run.

Como podemos ver dentro de estas secciones van comandos que permiten al usuario la introducción de archivos de entrada, comandos para disminuir o restringir los archivos de salida que se generan debido a los resultados por defecto del programa, y comandos que permiten modelar la flota vehicular, las características del combustible y las condiciones externas o ambientales. Muchas de las variables que afectan las emisiones vehiculares se pueden especificar por el usuario por medios de estos comandos.

El cálculo de estos factores de emisión se hacen para los siguientes contaminantes primarios -aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión- : Monóxido de carbono (CO); Óxidos de Nitrógeno (NO_x); Dióxido de azufre (SO₂); Hidrocarburos (HC) y Bióxido de carbono (CO₂) (de los cuales se tiene medición en el área metropolitana de Bucaramanga de los cuatro primeros). Y también contaminantes de los que no se tienen registro por parte de la CDMB en el área metropolitana de Bucaramanga como benceno, butadieno, formaldehído, acetaldehído, esto debido a que no es un requisito normativo para evaluar la calidad del aire por que su presencia en este se da en menor

proporción e implican menor riesgo que los contaminantes primarios mencionados en la parte superior. Esto lleva a no tener equipos especializados para su lectura en lugares como los CDA. Incluso el programa puede dar registros de las clases de hidrocarburos según la fracción de vehículos que trabajan con diésel o gas natural.

5.3 Parámetros De Entrada Necesarios

5.3.1 Flota Vehicular:MOBILE6 calculará los factores de emisión para cualquier año entre 1952 y 2050, teniendo en cuenta una clasificación vehicular que no es la misma que se presenta en los registros vehiculares de una determinada región. Dependiendo de la zona, se puede relacionar los vehículos de esta con los tipos que genera el programa.

A continuación se presentan aquellos comandos que a partir del conocimiento de los datos que se logran recolectar, pueden ser usados para modelar los aspectos de movilidad de la región a estudiar.

5.3.1.1. Distribución de Registros Vehiculares:Este permite suministrar la distribución de 16 tipos de vehículos de cualquier composición (gas, combinado o diésel) por edad del vehículo, la edad de los vehículos siempre implica un rango de 25 años. Si no se ingresa el número de vehículos por año y tipo MOBILE aplica una distribución de registro para cada uno de los 16 tipos basados en las flotas vehiculares de Estados Unidos.

5.3.1.2 Fracción de Diésel:Este comando permite que MOBILE6 pueda realizar cálculos por separado para emisiones por vehículos a gasolina y a diésel. Como los autobuses y las motocicletas no trabajan a diésel, para estos no es necesario calcular la fracción, luego de los 16 tipos de vehículo que MOBILE trabaja, se reduciría a 14 categorías de vehículo para especificar una fracción. En este comando también es necesario ingresar la fracción de vehículos a diésel por tipo de vehículo y año del modelo.

5.3.1.3 Tasa anual de acumulación de Millas: Representa el total de viajes anuales acumulados en kilómetros por edad de los vehículos para 28 tipos de vehículos. Se consideran 28 ya que se tienen en cuenta vehículos que trabajan a gasolina y vehículos que trabajan a diésel.

5.3.1.4 Fracción de vehículos a gas natural vehicular (GNVs): Permite especificar el porcentaje de vehículos a GNV en cada uno de los 28 tipos de vehículos, y por edad del vehículo. El comando de la fracción de GNV también afecta a las emisiones por evaporación, que MOBILE6 asume que son cero para vehículos a gas natural. Por lo tanto, si el usuario ingresa el valor de 5% para la penetración de GNV de una clase de vehículo, MOBILE6 asume que el 5% de esa clase tendrá cero emisiones evaporativas.

5.3.1.5 Fracción de millas de viajes vehiculares (VMT): Este comando permite suministrar el total de millas recorridas por viaje, para cada uno de los 16 tipos de vehículos según el tipo de carretera, especificando la ubicación geográfica que se desea modelar. Cada valor de VMT que se suministra debe consistir en un conjunto de 16 valores fraccionarios que representan la fracción de VMT total para cada uno de las 16 categorías por tipo de vehículo. A su vez este comando permite ingresar otras especificaciones como:

- VMT por servicio: permite ingresar distribuciones de VMT para cada una de las clases de 28 vehículos a través de cuatro tipos de carretera para cada una de las 24 horas del día. Los cuatro tipos de vías que MOBILE maneja son: autopistas, vías arteriales, vías locales y vías tipo rampa de accesos a otras vías de mayor jerarquía.

- VMT por Hora: permite asignar una fracción VMT total para cada una de las 24 horas de cada día para 28 clases de vehículos. Los valores del comando son

independientes del tipo de carretera, es decir, la fracción VMT cubre todo tipo de carretera.

- VMT por Velocidad: permite al usuario introducir una distribución de VMT a partir de rangos de velocidad media pre-seleccionados. MOBILE6 calcula estas distribuciones para cada una de las 24 horas del día para autopistas y arterias (produciendo 48 distribuciones, separadas cada una con 14 fracciones que representan las 14 velocidades que MOBILE trabaja por defecto).

5.3.1.6 Velocidad Promedio: Este comando permite designar un promedio de velocidad para todas las autopistas y / o arterias / colectores de todo el día. El comando de velocidad media permite reemplazar los valores que por defecto utiliza MOBILE (las catorce mencionadas anteriormente). Sin embargo, en algunas situaciones se puede desear entrar un solo valor en lugar de una distribución. Por ejemplo, se puede necesitar modelar vínculos viales por separado, o se puede no tener la información de distribución VMT. En estos casos, MOBILE6 se puede utilizar para calcular los resultados de una sola velocidad media especificada. El comando velocidad media reemplaza automáticamente el VMT por servicio y el VMT por velocidad por archivos con la velocidad media adecuada y la información del tipo de servicio.

La velocidad promedio suministrada permitida puede variar de 2,5 a 65 millas por hora (4 a 105 Km/h). Cualquier valor entero o decimal en ese rango se puede utilizar.

5. PARÁMETROS DE MOVILIDAD UTILIZADOS PARA EL CASO DE ESTUDIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Los comandos de la flota vehicular mencionados anteriormente ofrecen la posibilidad al usuario de llevar el cálculo de las emisiones a condiciones más reales a partir de muchas variables. Sin embargo podemos ver que son flexibles en cuanto a la selección de otros comandos que exigen menos variables, debido a

la dificultad de encontrar los datos recolectados y organizados. Como en el caso de conocer las edades de cada categoría de vehículo durante un periodo de 25 años, saber por cada categoría de vehículo que fracción trabaja a diésel durante 25 años y en el caso de gas en un periodo de 57 años y más aún que el programa exige la entrada de todos los datos si se quiere usar estos comandos.

Para el caso específico del área metropolitana de Bucaramanga la selección del comando más adecuado a usar con la herramienta Mobile, se basó en el reconocimiento de estas dificultades y en el conocimiento de los datos que podíamos obtener del modelo empleado en el software TRANSCAD después del proceso de asignación, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 2. Velocidades Promedio por Tipo de Vehículo.

Tipo de Vehículo	1	2	3	4
Velocidades en Km/h	28.80	19.77	19.86	39.80
	24.90	12.64	22.90	39.86
	23.30	16.94	23.26	44.95
	25.00	14.99	24.10	47.90
	31.20	21.10	25.00	45.10
Promedio	26.64	17.09	23.02	43.52
Promedio Total	27.57			

Fuente. Elaboración propia

En esta tabla se presentan las velocidades promedio por tipo de vehículo en la carrera 33 entre las calles 45 y Avenida Quebradaceca calculadas por medio de TRANCAD. Se escoge esta vía arterial por presentarse como uno de los tramos demayor congestión no solo en la hora pico sino en el transcurso del día, además este tramo es paralelo a la estación meteorológica de la Zona Centro la cual cuenta con todas las lecturas que se necesitan.

Los números 1, 2, 3 y 4 en la parte superior de la tabla, representan los vehículos que se tuvieron en cuenta en este software y la clasificación según el software MOBILE 6:

El número uno representan los vehículos particulares. Los cuales son modelados en MOBILE como LDGV que son vehículos a gasolina de trabajo liviano.

El número dos son los vehículos públicos (buses). Son modelados como HDDV2B que son vehículos Diésel de trabajo Pesado, con peso entre 8501-10000 lbs

El número tres son camiones C2 y C3 que son modelados como HDDV8A que son vehículos diésel de trabajo pesado, con peso entre 33001-60000 lbs.

El número 4 son motocicletas que son modeladas como MC.

A partir de estos datos, se seleccionó el comando de la velocidad media por tipo de vía con un valor de 27,57 Km/h para los cuatro tipos de vehículos y tipo de vía, arterial.

6.1 Condiciones Ambientales y Externas

Al ser un software desarrollado en los Estados Unidos, no solo las características de movilidad son propias de este país, sino también las condiciones externas en que se quiera modelar, por eso es necesario tener cuidado a la hora de analizar las condiciones particulares en la región de estudio.

Uno de los datos requerido es el año en el cual se quiere modelar el cálculo de los factores de emisión (1952 a 2050). Dependiendo del año que se seleccione MOBILE6 permite la elección del 1 de enero o el 1 de julio. El mes especificado influye en los cálculos de emisión en dos maneras: (1) mediante el cambio de la composición de la flota -los factores de emisión del 1 de julio reflejan seis meses adicionales de rotación de la flota, o la sustitución de los vehículos antiguos por vehículos nuevos-, y (2) cambio de modelación debido a los efectos de la gasolina

reformulada (RFG). Si el usuario selecciona 1 de enero de MOBILE6 aplicará reglas RFG para la temporada de invierno. Si el usuario selecciona julio 1, el modelo se aplicará reglas RFG para la temporada de verano. Debido a que en los datos obtenidos de la malla vial no se tiene en cuenta el cambio del parque automotor a través del tiempo o época del año y que las condiciones de invierno son diferentes en Estados Unidos y Colombia, se procedió a escoger el mes de julio que tiene en cuenta la rotación de vehículos y la temporada de verano.

Por otro lado también es necesario conocer los datos de la temperatura máxima y mínima diaria lo cual influyen en las correcciones de temperatura de escape de HC, CO y NOx (e indirectamente Tóxicos en el aire relacionados HC). Además la temperatura favorece al aceleramiento de la producción de contaminantes secundarios como Nox (contaminante simulado por el software) y el O3 que además son contaminantes que contribuyen en el efecto invernadero.

- El rango de temperatura minio permisible es 0 ° F a 100 ° F (-18 ° C a 38 ° C).
- El rango de temperatura máxima permitida es de 10 ° F to120 ° F (-12 ° C a 49 ° C).

La estación meteorológica que se tuvo en cuenta para escoger los valores de temperatura máxima y temperatura mínima fue la ubicada en el Centro del área metropolitana de Bucaramanga. Donde se registraron los siguientes valores: la temperatura máxima promedio en el año 2012 fue de 25° C (77° F) y la temperatura mínima fue de 17.74° C (63.93° F)

Se sabe que dependiendo de la altitud cambian las condiciones térmicas, de presión y por consiguiente la densidad del aire. Pero seguramente muchos desconocen el efecto que tienen estos cambios en el funcionamiento de una máquina y en particular en nuestro caso el motor, ya que el rendimiento indicado disminuye con la altitud debido principalmente a que la presión en el cilindro es menor a lo largo de todo el ciclo del motor, si bien otros efectos relacionados con

la incorporación del combustible también influyen. Todo ello provoca una pérdida de potencia indicada y un mayor gasto de combustible.

El software da la oportunidad de seleccionar entre dos valores de altitud: una baja de 500 pies (152 m.s.n.m.) y una alta de 5500 pies (1676 m.s.n.m), de las cuales se escogió la mayor por ser más cercano a la altura de la ciudad de Bucaramanga (959 m.s.n.m.). Si no se escoge la altitud, el programa toma por defecto la baja.

Otro comando opcional es la humedad absoluta, la cual afecta a las emisiones de NOx. MOBILE6 también convierte la humedad absoluta especificada en humedad relativa (sin embargo existe un comando para introducir la humedad relativa por hora), que a su vez se utiliza para calcular un índice de calor. Este comando requiere un valor en la parte del registro de datos que representa la humedad absoluta en granos de agua por libra de aire seco. El valor debe estar entre 20.0 y 528.0. Gracias a que tenemos los datos de humedad relativa para las 24 horas del día en la estación del centro para el año 2012, se usó el promedio de cada hora en este año.

Tabla 3. Valores de Humedad Relativa del Día.

Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5
72,96	72,1	72,33	72,99	73,29
Hora 6	Hora 7	Hora 8	Hora 9	Hora 10
72,92	72,2	68,38	65,43	57,26
Hora 11	Hora 12	Hora 13	Hora 14	Hora 15
51,52	50,53	52,65	54,75	57,2
Hora 16	Hora 17	Hora 18	Hora 19	Hora 20
60,06	64,08	67,4	70,8	71,85
Hora 21	Hora 22	Hora 23	Hora 24	
72,55	72,73	74,01	73,56	

Fuente: Elaboración Propia

Cuando es usado este comando de humedad relativa, el usuario suministra valores de humedad relativa y estas se convierten en humedad absoluta. Esta conversión requiere valores de temperatura y presión barométrica. La presión barométrica por defecto del programa es de 29.92 pulgadas de mercurio (Hg). En nuestro caso escogimos la presión barométrica promedio registrada en la estación del centro en el año 2012 con un valor de 680.4 milibares que se introducen al programa como 20.1 inHg.

Existen 3 comandos opcionales que permiten corregir los factores de emisión debido al uso del aire acondicionado:

Nubosidad: Este comando requiere un valor en la parte de registro de datos que indica la fracción promedio de la cobertura de nubes. Este valor debe ser entre 0,0 y 1,0. Se escoge un valor de nubosidad de 0.5 para ser coherentes al haber escogido el mes de julio como verano y también debido a que el rango de variación de temperatura en el área metropolitana de Bucaramanga no presenta gran diferencia al momento de decidir si se usa o no aire acondicionado.

Hora pico del sol: Este comando permite a los usuarios especificar las horas del mediodía cuando el sol está en el pico de intensidad, estas deben estar entre las 10 am para el inicio del pico de sol y las 16:00 a finales del pico del sol. A partir de los registros de radiación solar de la estación del centro del año 2012 se tomó el rango pico del sol de 10 am a 1 pm.

Amanecer- puesta del sol: Este comando permite a los usuarios especificar la hora de salida y puesta de sol. Por defecto el programa toma de 6 a.m. a 9 pm para el amanecer y la puesta del sol respectivamente. Pero el primer valor (amanecer) debe estar entre las 05 a.m.-09 a.m. El segundo valor (puesta del sol) debe estar entre las 17:00-21:00). También por medio de los registros de radiación solar de la estación del centro del año 2102 se escogieron dichos valores. Para la salida del sol se empiezan a registrar valores a las 5 am y para el atardecer los registros casi desaparecen a las 6 pm.[19].

La metodología planteada se muestra a manera de resumen en el anexo A.

6. CONCLUSIONES

Las metodologías creadas y empleadas para evaluar la calidad del aire en diferentes regiones del mundo, han identificado las emisiones vehiculares como una de las fuentes que mayor aporta en la contaminación. Por esta razón a través del tiempo se han hecho esfuerzos en mejorar e implementar variables tanto ambientales como vehiculares que se aproximen más a la realidad, variables que puedan ser estimadas con el uso de software y metodologías acorde a las condiciones ambientales y de movilidad de cada sector en particular donde han sido desarrolladas.

En estos software de cálculo de emisiones vehiculares, los parámetros de movilidad tenidas en cuenta se basan en datos y estadísticas generadas a partir de ensayos estándar realizados en cada región en específico. Por eso surge la necesidad de analizar las condiciones viales particulares de la región a través de la construcción de la malla vial que presente características y parámetros propios de la situación y zona que se quiere analizar y a su vez que exista una adecuada selección del método de asignación de tráfico.

Al comparar la recopilación de los parámetros ambientales y de emisiones contaminantes para alimentar el software MOBILE 6, resulta más adecuado y mucho más sencillo tener la información organizada, analizada y en un periodo de tiempo considerable de estudio los parámetros ambientales (un periodo mínimo de 10 años), los cuales fueron entregados en esta investigación por la CDMB (Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga). Por el contrario el análisis y los datos de emisiones llevados a cabo por los CDA (Centros de Diagnóstico Automotriz) que se convierten en otro proveedor de información secundaria para esta investigación, no van más allá de la recopilación individual

de los vehículos que revisan, además la información proveniente de personas particulares no es fácil de suministrar.

A pesar de que se cuentan con una malla vial muy aproximada a la realidad de las condiciones del área metropolitana de Bucaramanga (obtenida con el apoyo del Grupo de Investigación GEOMATICA) y de utilizar un método de asignación de tráfico adecuado, los datos obtenidos por esta son limitados a comparación a los diversos parámetros solicitados por el software los cuales necesitan un periodo de análisis vial de 25 años, claramente esto lleva a una mayor precisión en la predicciones de las emisiones futuras. Sin embargo muchos de estos parámetros son de carácter opcional y en ciudades como Cali se obtuvieron resultados aceptables a pesar de contar con la misma dificultad.

La selección de los comandos para el desarrollo del formato de programación se desarrolló a partir de los parámetros ambientales y de movilidad recolectados en el área metropolitana de Bucaramanga. Este puede servir de base para conocer los factores de emisión de Monóxido de carbono (CO); Óxidos de Nitrógeno (NOx); Bióxido de carbono (CO₂), Dióxido de azufre (So₂) e Hidrocarburos (HC). Además puede ser actualizado debido a que se puede realizar la recopilación y organización de otros parámetros (principalmente vehiculares), y actualizar también los cambios que han tenido los parámetros ambientales.

Si en un futuro se cuenta con la información requerida para los comandos de movilidad que no pudieron ser empleados en el software Mobile 6 o con información que sea mucho más detallada en cuanto a las características del motor y del combustible o si se desea investigar otros parámetros para el cálculo de estos factores, se debe proceder a conocer también más a fondo el manual del usuario de este software facilitado por la EPA. Ya que los comandos que van a ser sumados a la programación tiene su posición, su funcionamiento y sus

restricciones las cuales repercuten en la salida de archivos si no tiene una armonía y una coherencia adecuada a la hora de ser empleados.

Por medio de la investigación y el análisis de estudios realizados en otras regiones, se puede percibir que dentro de los comandos de movilidad predomina el conocimiento de la distancia recorrida por los vehículos como variable fundamental e influyente en el cálculo de los factores de emisión. Por estas razones resulta importante que se analice la repercusión de tomar una velocidad promedio a partir de las cuatro categorías de vehículos. Donde esta velocidad sí se aproxima a tres de las velocidades medias de tres categorías de vehículos, pero que se aleja de la media de la velocidad de las motos. Y sabiendo que la población de motos en esta región ha tenido gran crecimiento, muy seguramente el aporte de contaminación aumentara en el cálculo tanto individual como total al haberse alejado de la velocidad de la velocidad media de estas.

La utilización de un modelo de asignación de tráfico para el cálculo de las emisiones facilita el trabajo en varios aspectos: primero por medio de las matrices origen, destino y con el número de viajes que se tienen entre cada uno de las zonas, se puede calcular una velocidad promedio que se asemeja a la velocidad real que tendrían los vehículos. Por otra parte se puede tener una matriz con los datos generales del número de vehículos y teniendo las proporciones del tipo de vehículo y del tipo de combustible generar las matrices necesarias para conocer de manera eficiente y clasificada información que servirá como archivos de entrada de MOBILE. También permite hacer proyecciones futuras del parque automotor estableciendo una tasa de crecimiento según las estadísticas de adquisición de este en el área metropolitana de Bucaramanga.

7. REFERENCIAS

- [1] Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Informe Anual del Estado de los Recursos Naturales 2011. Febrero 2012.
- [2] Fajardo A., Rodríguez A. y Téllez J. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. Consultada el 29 de mayo de 2013, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S24-00642006000100010&script=sci_arttext
- [3] Consejería de Sanidad y Política Social de la Región de Murcia (n.d). Dióxido de nitrógeno. Consultada el 30 de mayo de 2013, de <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180252&idsec=1573>.
- [4] Dióxido de Azufre (SO₂). (n.d) Consultado el 30 de mayo de 2013, de <http://www.troposfera.org/conceptos/contaminantes-quimicos-de-la-atmosfera/dioxido-de-azufre-so2/>
- [5] Alcaldía de Bucaramanga - Universidad Industrial de Santander. (2011). Plan maestro de movilidad, Bucaramanga 2010 – 2030. Bucaramanga, Colombia.
- [6] Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Informe Anual del Estado de los Recursos Naturales 2011. Febrero 2012.
- [7] Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). (n.d). Red de Monitoreo de Calidad del Aire, Consultado el 31 de mayo de 2013. <http://www.cdmb.gov.co/cai/cai2/>.
- [8] López de la Manzanara Ma.T.A. (2000), Efectos ambientales del tráfico urbano: la evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid, Madrid, página 79.

[9] Clavero C. Rebolledo B. Sanhueza P. (2004). Estimación de Emisiones Vehiculares en la Región Metropolitana, Utilizando el Modelo Mobile6.2, Santiago de Chile, Chile.

[10] Ministerio de Ecología, Desarrollo Sostenible y Energía. (2012). "Évaluationenvironnementale des projets de gestiondynamique de trafic."Reporte de estudio, Francia, página 71.

[11] Canca Ortiz J.D, Galán de Vega R. Racero Moreno J. Villa Caro G. (2006). "Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico", valencia, página 6.

[12] Benoiston Lao E. (2006). "Inventario de emisiones atmosféricas debidas al tráfico rodado en España, con alta resolución espacial y temporal, para su aplicación en modelos de calidad del aire." universidad politécnica de Cataluña, página 18

[13]European Environment Agency. (2000) "COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1)."

[14] Ministerio de Ecología, Desarrollo Sostenible y Energía. (2012). "Évaluationenvironnementale des projets de gestiondynamique de trafic."Reporte de estudio, Francia.

[15] Metodología para el Cálculo de Emisiones Vehiculares (Modem), (2010). Consultado el 1 de junio de 2013, Gobierno de Chile, página web del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones: http://www.sectra.gob.cl/metodologias_y_herramientas_de_transporte/metodologia/transporte_medioambiente/estimacion_emisiones_fuentes_moviles_modem.html.

[16] Clavero C. Rebolledo B. Sanhueza P.(2004). Estimación de Emisiones Vehiculares en la Región Metropolitana, Utilizando el Modelo Mobile6.2. Santiago de Chile, Chile.

[17] Correa M.A. Londoño J. Palacio C.A. (2011). “Estimación De Las Emisiones De Contaminantes Atmosféricos Provenientes De Fuentes Móviles En El Área Urbana De Envigado, Colombia”Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 16, Diciembre 2011, p. 149-162.

[18] B. Granada L.F. (2007). “Estimación de las Emisiones de Fuentes Móviles Utilizando el Mobile 6 En Cali – Colombia”, Cali, Colombia.

[19] U.S. Environmental Protection Agency (EPA).“Technical Guidance on the Use of MOBILE6 for Emission Inventory Preparation.”Enero de 2002.

ANEXO A

METODOLOGÍA DE CALCULO DE EMISIONES EN UNA ZONA ESPECÍFICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

A continuación se presenta la metodología con la que se puede llevar a cabo el cálculo de los factores de emisión en la carrera 33 entre la calle 45 y Avenida Quebradaseca, de los siguientes contaminantes: Monóxido de carbono (CO); Óxidos de Nitrógeno (NO_x); Dióxido de azufre (SO₂); Hidrocarburos (HC) y Dióxido de carbono (CO₂) .

1. Comandos Requeridos para el Cálculo de Emisiones por Medio de Mobile 6.

Para poder obtener resultados de las emisiones contaminantes, es necesario el uso de un esquema obligatorio de programación, en el cual va la división en secciones del software con su comando correspondiente. Además se deben conocer los siguientes datos que acompañaran a los comandos requeridos:

- El año en el cual se desea conocer las emisiones.
- El valor mínimo y máximo de temperatura de la región de estudio.
- El valor de la presión de vapor de Reid (RVP).

A continuación se presenta la estructura mínima que se necesita para obtener una salida de datos por parte del programa:

Figura 6. Representación en un Archivo de Texto de la Programación Básica en MOBILE 6.

```
***** Header Section *****
MOBILE6 INPUT FILE :

RUN DATA          :
***** Run Section *****

***** Scenario Section *****
SCENARIO RECORD   : The Title Goes Here
CALENDAR YEAR     : 2000
MIN/MAX TEMP      : 72.0 92.0
FUEL RVP          : 8.7

***** End of This Run *****
END OF RUN        :
```

Fuente.Manual del usuario de Mobile 6

Dentro de este esquema se encuentra el comando fuel RVP, que es una medida de volatilidad de la gasolina. Este valor para gasolina corriente según la norma NTC 1380 no debe ser superior a 55 KPa (8 psi.)

2. Recolección de Parámetros Ambientales y de Movilidad.

Como podemos ver dentro de estas secciones van comandos que permiten al usuario la introducción de archivos de entrada, comandos para disminuir o restringir los archivos de salida que se generan debido a los resultados por defecto del programa, y comandos que permiten modelar la flota vehicular, las características del combustible y las condiciones externas o ambientales. Muchas de las variables que afectan las emisiones vehiculares se pueden especificar por el usuario por medios de estos comandos.

En cuanto a los parámetros ambientales y de movilidad, se deben conocer con que comandos trabaja el software y emprender la búsqueda de los parámetros en la región a estudiar.

2.1 Parámetros de Movilidad.

Para el caso específico del área metropolitana de Bucaramanga la selección del comando más adecuado a usar con la herramienta Mobile, se basó en el reconocimiento de las dificultades que se presentan a no contar con la cantidad de datos requerida para muchos de estos y en el conocimiento de los datos que podíamos obtener del software TRANSCAD después del proceso de asignación, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 2. *Velocidades Promedio por Tipo de Vehículo.*

Tipo de Vehículo	1	2	3	4
Velocidades en Km/h	28.80	19.77	19.86	39.80
	24.90	12.64	22.90	39.86
	23.30	16.94	23.26	44.95
	25.00	14.99	24.10	47.90
	31.20	21.10	25.00	45.10
Promedio	26.64	17.09	23.02	43.52
Promedio Total	27.57			

Fuente.

En esta tabla se presentan las velocidades promedio por tipo de vehículo en la carrera 33 entre las calles 45 y Avenida Quebradaceca calculadas por medio de TRANCAD. Se escoge esta vía arterial por presentarse como uno de los tramos de mayor congestión no solo en la hora pico sino en el transcurso del día, además este tramo es paralelo a la estación meteorológica de la Zona Centro la cual cuenta con todas las lecturas que se necesitan.

Los números 1, 2, 3 y 4 en la parte superior de la tabla, representan los vehículos que se tuvieron en cuenta en este software y la clasificación según el software MOBILE 6:

El número uno representan los vehículos particulares. Los cuales son modelados en MOBILE como LDGV que son vehículos a gasolina de trabajo liviano.

El número dos son los vehículos públicos (buses). Son modelados como HDDV2B que son vehículos Diésel de trabajo Pesado, con peso entre 8501-10000 lbs

El número tres son camiones C2 y C3 que son modelados como HDDV8A que son vehículos diésel de trabajo pesado, con peso entre 33001-60000 lbs.

El numero 4 son motocicletas que son modeladas como MC.

A partir de estos datos, se seleccionó el comando de la velocidad media por tipo de vía con un valor de 27,57 Km/h para los cuatro tipos de vehículos y tipo de vía, arterial.

2.2 Parámetros Ambientales.

El organismo encargado del control y que posee la tecnología para llevar el monitoreo de la calidad del aire y la información meteorológica es la CDMB, la cual posee cinco (5) estaciones automáticas, tres (3) manuales y cuatro (4) estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en el área metropolitana de

Bucaramanga, actualmente están ubicadas en: Zona Centro, Ciudadela Real de Minas, Zona Norte, Cañaveral y Cabecera.

Todos los datos que se presentan a continuación fueron tomados de la estación meteorológica del centro, ya que posee el mayor periodo de registros (2001-2012) , y también por la constancia horaria y diaria en la toma de registros que pueden ser empleados gracias a los comando de Mobile.

Se procedió a escoger el mes de julio que tiene en cuenta la rotación de vehículos y la temporada de verano.

La temperatura máxima promedio en el año 2012 fue de 25° C (77° F) y la temperatura mínima fue de 17.74° C (63.93° F).

La presión barométrica promedio registrada es de 680.4 milibares que se introducen al programa como 20.1 inHg.

En la fracción promedio de la cobertura de nubes se escoge un valor de nubosidad de 0.5.

A partir de los registros de radiación solar se tomó el rango pico del sol de 10 am a 1 pm.

Para la salida del sol se empiezan a registrar valores a las 5 am y para el atardecer los registros casi desaparecen a las 6 pm.

El valor de altitud de la ciudad de Bucaramanga es de 959 m.s.n.m.

Tabla 3. *Valores de Humedad Relativa para las 24 horas del Día*

Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5
72,96	72,1	72,33	72,99	73,29
Hora 6	Hora 7	Hora 8	Hora 9	Hora 10
72,92	72,2	68,38	65,43	57,26
Hora 11	Hora 12	Hora 13	Hora 14	Hora 15
51,52	50,53	52,65	54,75	57,2
Hora 16	Hora 17	Hora 18	Hora 19	Hora 20
60,06	64,08	67,4	70,8	71,85
Hora 21	Hora 22	Hora 23	Hora 24	
72,55	72,73	74,01	73,56	

Fuente: *Elaboración Propia*

ESQUEMA DE PROGRAMACIÓN EN MOBILE 6.

Después de haber analizado los comandos y de contrastarlos con los datos recolectados, se procede a realizar la programación en Mobile 6 de acuerdo a las indicaciones planteadas en el manual del usuario del software.

En este esquema se presentan algunos comandos para especificar y restringir los datos de salida los cuales de igual forma se explican en el manual del usuario del software.

A continuación se presenta el esquema realizado:

Figura 7. Esquema de Programación de Mobile 6

```

1      2      3      4      5
12345678901234567890123456789012345678901234567890
*filename: Modelo
*Tiene como objetivo generar factores de emision para Nox,CO,HC,CO2
***** HEADER SECTION *****
MOBILE6 INPUT FILE :
* Indicate database output
DATABASE OUTPUT :
*Include field labels wiht database output
WITH FIELDNAMES :
* Indicate the vehicles for estudy
DATABASE VEHICLES : 21111 11111111 2 111 21111112 111
POLLUTANTS : NOX HC CO CO2 SO2
RUN DATA :
***** RUN SECTION *****
FUEL RVP : 8.
MIN/MAX TEMP : 25. 18.
CLOUD COVER :
PEAK SUN : 10 1
SUNRISE/SUNSET ; 6 9
***** SCENARIO SECTION *****
SCENARIO RECORD : FLEET AVERAGE EMISSION-CY 2012
CALENDAR YEAR : 2012
EVALUATION MONTH : JULIO
ALTITUDE : 2
RELATIVE HUMIDITY : 72.10 72.33 72.99 73.29 72.92 72.20 68.38 65.43 57.26 51.52 50.53 52.65
54.75 57.20 60.06 64.08 67.40 70.80 71.85 72.55 72.73 74.01 73.56 20.61
BAROMETRIC PRES : 20.1
AVERAGE SPEED : XX ARTERIAL
***** END OF RUN *****
END OF RUN

```

Fuente. Elaboración propia

