

# Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín



Vanessa Ríos Bedoya

Escuela de Economía y finanzas, Universidad EAFIT, Colombia

Oriol Marquet

Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Barcelona, España

Carme Miralles-Guasch

Departamento de Geografía, Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona, España

Recibido: 7 de marzo de 2016. Aceptado: 12 de mayo de 2016.

## Resumen

El sector del transporte es uno de los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, estas emisiones han venido aumentando en las últimas décadas llegando a valores nunca antes alcanzados a pesar de las mejoras tecnológicas implementadas en los medios de transporte. Esta situación requiere de especial cuidado sobre todo en ciudades en desarrollo donde su crecimiento económico y demográfico lleva consigo mayores niveles de motorización y de distancias recorridas. El presente trabajo estudia las emisiones de CO<sub>2</sub> desde el punto de vista de la demanda de transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y Medellín, para ello se emplearon los datos de la encuesta de movilidad cotidiana EOD2012. Los resultados permitieron conocer cómo las variables relativas al viaje, variables socioeconómicas y territoriales contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, se empleó un árbol de decisión tipo CHAID para observar de qué manera los factores socioeconómicos afectan la decisión de usar un medio de transporte más contaminante que otro, dando cuenta de la estrecha relación entre renta y emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso del transporte.

### Palabras clave

Dióxido de carbono  
Demanda  
Transporte  
Movilidad sostenible  
Medellín

### Palavras chave

Dióxido de carbono  
Demanda  
Transportes  
Movilidad sustentável  
Medellín

## Abstract

*Estimation of CO<sub>2</sub> emissions from demand perspective of transport in Medellín.* The transport sector is one of the main actors for emissions of greenhouse gases, these emissions have been increasing in recent decades, reaching values never before achieved

### Keywords

Carbondioxide  
Demand  
Transport  
Sustainable mobility  
Medellín

despite technological improvements implemented in transportation. This situation requires special attention, especially in developing cities where economic and population growth brings higher levels of car ownership and distances traveled. This paper examines CO<sub>2</sub> emissions from the demand point of view of transport in the Metropolitan Area of the Aburrá Valley (AMVA) and Medellín. The data for this survey were used EOD2012 daily mobility. The results allowed to know how the variables related to travel, socioeconomic and territorial variables contribute to CO<sub>2</sub> emissions. In addition, a CHAID decision tree was used to observe how socioeconomic factors affect the decision to use a mean of transport more contaminating than others, realizing the close relationship between income and CO<sub>2</sub> emissions by transport use.

## Introducción

### *Calentamiento global y sector transporte*

En los últimos años, el fenómeno del calentamiento global ha dejado de ser un tema netamente científico y ha pasado a ser objeto de preocupación de gobiernos, organizaciones y población en general y es que desde el año 1950 se han observado importantes cambios en los niveles de contaminación y temperatura global nunca vistos en los pasados milenios (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2011). El incremento de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero desde la era preindustrial, impulsadas en gran medida por un crecimiento económico y demográfico (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014) ha provocado un aumento continuo de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso desde 1850, con un crecimiento más acentuado desde el año 2000. Sus efectos se han detectado en todo el sistema climático y se considera probable que hayan sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX (World Meteorological Organization, 2012; Clean Air Institute, 2013).

Dentro del conjunto de gases de efecto invernadero (GEI por sus siglas en inglés), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el más importante: durante el periodo de 1970 a 2010 este gas representó el 78 % de las emisiones totales. Estudios recientes confirman que la concentración de este gas en la atmósfera excede los 390 ppm y ha crecido a una tasa de 1.90 ppm por año desde 1995 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2011). Del total de emisiones de CO<sub>2</sub> el 56,6 % es generado por el uso de los combustibles fósiles, de los cuales, el sector de generación de energía ocupa el primer lugar con un 26 %, seguido del sector transporte con un 13 % (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). Este panorama no es nada esperanzador teniendo en cuenta que se espera que la demanda de energía continuará creciendo debido al rápido incremento poblacional, particularmente en los países en vía de desarrollo (Hidalgo, 2014a; UN-Habitat 2013). Así mismo, se prevé que las emisiones del transporte seguirán creciendo dado el aumento de la motorización, la prevalencia de vehículos ineficientes en países en vías de desarrollo y el aumento de las distancias de recorrido (Asian Development Bank, 2009; Clean Air Institute, 2013).

A pesar de la estrecha relación entre cambio climático y el sector transporte (Banister, 2011; Chapman, 2007), las políticas implementadas hasta el momento no han contribuido a la disminución de las emisiones de GEI. Muchas de estas políticas se han centrado en innovación tecnológica para mejorar la eficiencia energética, en promover cambios en la fuente de energía e incrementar la calidad de los combustibles (Miralles-Guasch, 2012). De hecho, esta serie de medidas también ha dado lugar a un transporte más eficiente y en consecuencia más barato generando un efecto rebote<sup>1</sup> que ha contribuido a la creciente demanda en el sector (Greening et al., 2000; Binswanger, 2001).

1. Wigley (1997) define el efecto rebote al aumento en los suministros de energía con su correspondiente reducción de precios. Esto a su vez produce un aumento en la demanda del servicio energético, la cual si no está acompañada en un incremento en el precio del combustible puede opacar los beneficios de la tecnología, incluso generar problemas ambientales mayores.

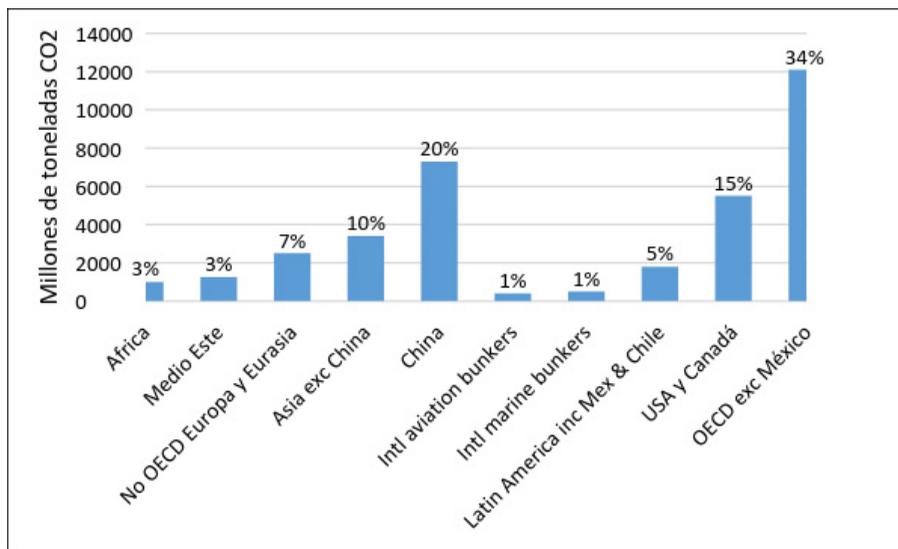


Figura 1. Emisiones de GEI originadas de la quema de combustibles. Fuente: modificado de IEA, 2011.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), los países y regiones desarrolladas deben reducir las emisiones del transporte en 60-80 % para el año 2050 en comparación con el año 1990 como objetivo clave para alcanzar el escenario futuro de máximo 2° C de calentamiento (European Environment Agency, 2012). Para que esta agencia alcance la reducción de emisiones, requiere de medidas y políticas dirigidas a la demanda del transporte, por ello ha establecido como estrategia clave la propuesta “evitar, cambiar y mejorar”: evitar los viajes motorizados largos e innecesarios, cambiar la tendencia de crecimiento de viajes individuales y motorizados y mejorar la tecnológica y gestión operativa de las actividades del transporte (European Environment Agency, 2012; GIZ -SUTP, 2011). En regiones en desarrollo como América Latina donde las ciudades se están expandiendo y urbanizando aceleradamente, es clave implementar este tipo de propuestas que favorezcan una movilidad sostenible (Calderón et al., 2015). Para organismos como la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) el transporte y la movilidad no pueden considerarse de manera aislada a otros sectores ya que son soporte fundamental de la actividad económica y social, tienen impactos sobre equidad y género, determinan huellas ambientales y de salud pública e inciden en el consumo (Hidalgo, 2014b).

### Emisiones de CO<sub>2</sub> y transporte: situación en América Latina

Como se muestra en la Figura 1, la contribución de América Latina a los GEI por la quema de combustibles fósiles es baja respecto a otros países. Sin embargo, en términos de emisiones per cápita, para los países del OECD (Organización de para la Cooperación Económica y de Desarrollo) el 28 % de las emisiones CO<sub>2</sub>/cápita vienen del transporte, mientras que para Latinoamérica este valor es del 35 %; por lo tanto, América Latina posee mayores emisiones per cápita que los países desarrollados. El panorama es desalentador si se tiene en cuenta que debido al aumento de los ingresos, actividad económica y crecimiento de la población (es decir, mayor PIB) se espera que continúen aumentando las emisiones (Miralles-Guasch, 2012). En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), entre el año 2005 y el 2010 se incrementó un 62 % el número de automóviles particulares y un 153 % el número de motos (Urbam, 2011). Según el Clean Air Institute (2013), se espera que para el año 2020 se emitan 770 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y 1413 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> para el año 2050.

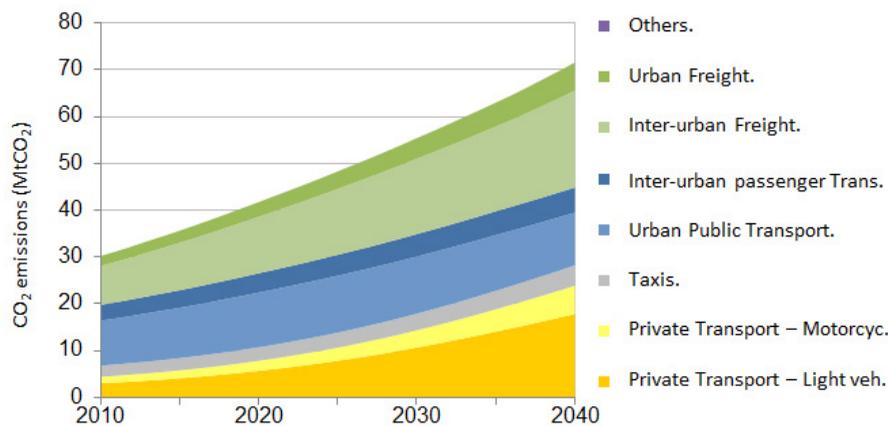


Figura 2. Pronóstico de emisiones de CO<sub>2</sub> (2010-2040) del transporte por carretera en Colombia. Fuente: EMBARQ-Behrentz, 2013.

En el caso específico de Colombia, el sector transporte contribuye aproximadamente con el 4 % del PIB y produce el 12 % de las emisiones de GEL, de las cuales el 90 % corresponde al transporte de carretera (CTS-EMBARQ, 2013). La Figura 2 muestra de las aportaciones a las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de los diferentes medios de transporte por carretera en Colombia y cómo será su desenvolvimiento hasta el año 2040.

De acuerdo con el BID, el 80 % de la población de América Latina vive en áreas urbanas y según las proyecciones de las Naciones Unidas, para el año 2050 esta región alcanzará el 89 % de urbanización. Si bien una mayor urbanización suele estar ligada a un mayor desarrollo, en el caso del transporte este proceso suele conllevar externalidades negativas: creciente congestión, mayores tiempos de viaje, un incremento en los costos agregados del transporte, el aumento del consumo energético, aumento de la accidentalidad, deterioro urbano y exclusión social (Hidalgo y Huizenga, 2013).

Sin embargo, la movilidad cotidiana es una actividad obligatoria e imprescindible para la mayoría de los individuos en las sociedades modernas (Bertolini et al., 2008). La movilidad cotidiana incluye los desplazamientos para ir a trabajar, estudiar, cuidar de la salud, ir de compras, participar en actividades sociales y de ocio y muchas otras actividades relacionadas con la calidad de vida. Entender los patrones y dinámicas territoriales y demográficas de la movilidad urbana, investigar la distribución modal de los medios de transporte y las razones por las cuales las personas se mueven, son puntos clave para el desarrollo de políticas efectivas que busquen alcanzar la reducción efectiva de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del transporte (Palazzi et al., 2012).

Teniendo en cuenta que no todos los medios de transporte contaminan por igual, es imprescindible conocer las razones que llevan a un individuo a elegir un medio de transporte específico. Según la literatura, existen tres factores principales que contribuyen a explicar la elección modal: *i*) factores socioeconómicos como el nivel de renta, formación, ocupación y vehículo en propiedad (Stead et al., 2000) (Antipova et al., 2011) (Marquet & Miralles-Guasch, 2014); *ii*) el entorno urbano como la densidad, mezcla de usos del suelo, existencia de áreas peatonales y parkings, tamaño de la ciudad (Cervero y Wu, 1998) (Santos et al. 2013) y *iii*) factores psicológicos como percepción de calidad de vida, estatus social, hábitos, entre otros (Hiscock et al., 2002) (Miralles-Guasch et al., 2014). De este grupo de factores reconocidos por la literatura, el presente trabajo enfatiza los aspectos socioeconómicos de los habitantes y en cómo estos están relacionados con las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas a partir del uso del transporte.

### Cuantificación de emisiones

Para hacer frente a las externalidades negativas del crecimiento de la demanda del transporte y de uso de medios motorizados se requiere integrar esfuerzos y mejorar la calidad

de información sobre el sector. Son necesarios la recolección y el análisis de información para la medición del carbono en el sector para estimar las emisiones actuales y las que podrían resultar de la aplicación de políticas de mitigación (Barbero et al., 2012).

En algunas de las principales ciudades de Colombia se han llevado a cabo inventarios de emisiones atmosféricas tanto de fuentes móviles como fijas. En 2001, el Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana desarrolló el modelo *Emisión de tráfico rodado para Medellín y municipios aledaños*, que consiste en una serie de subrutinas que calculan las emisiones relativas de las categorías vehiculares definidas y sus aportes a la emisión total en el dominio; los datos de entrada para este modelo son la selección de la red vial de tránsito, la distribución de la flota, flujo vehicular, ecuaciones de balances de flujo en los nodos, longitud de las vías, velocidad promedio y factores de emisión tomados del modelo *Internacional de Emisiones Vehiculares* (IVE-por sus siglas en inglés) (Toro et al., 2010). A partir de este año se han hecho actualizaciones, siendo el del año 2011 el último de ellos.

Este tipo de estudios basados en la oferta de transporte, si bien permite conocer de manera más exacta las emisiones generadas por el sector, olvida que los medios de transporte se explican obviamente por su existencia, pero también y quizás de manera previa, por la necesidad que tienen los ciudadanos de moverse por un territorio; esto es la demanda de transporte (Miralles-Guasch, 2002).

Considerando el problema descrito anteriormente se hace necesario entonces un estudio sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de la movilidad cotidiana de los ciudadanos desde la perspectiva, no de la oferta de transporte sino de la demanda de movilidad. El objetivo del presente trabajo es hacer una estimación del CO<sub>2</sub> generado por los viajes diarios en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá empleando para ello datos de la demanda de transporte; lo que permite ver la relación entre estas emisiones con los motivos de desplazamientos y la distribución modal, además de los patrones y dinámicas que revelan la elección que lleva a un ciudadano a utilizar un determinado medio de transporte con mayores emisiones en vez de otro menos contaminante.

## Metodología

### *Ámbito de estudio: Área Metropolitana del Valle de Aburrá*

El objeto de estudio en el presente trabajo es el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) que reúne 9 municipios del departamento de Antioquia, localizado al noreste de Colombia. A esta región pertenecen en orden de población los municipios de Medellín, Bello, Itagüí, Caldas, Copacabana, La Estrella, Sabaneta, Girardota y Barbosa. El municipio de Envigado, a pesar de no pertenecer al ente del Área Metropolitana, sí se incluye en este estudio. Los 10 municipios suman una población total 3.591.963<sup>2</sup> y un área de 1.236 km<sup>2</sup> (Área Metropolitana Del Valle De Aburrá, 2012). A su vez, el municipio de Medellín (2.464.322 habitantes) tiene dividida su área urbana en 16 comunas y su área rural en 5 corregimientos. En el presente estudio se analizaron las diferencias en las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del transporte en el AMVA y al interior de la zona urbana de Medellín, dado que allí se genera la mayor cantidad de viajes, además de las importantes diferencias socioeconómicas presentes en este territorio.

En la Figura 3 se observa el territorio objeto de estudio. Las comunas referenciadas en el mapa son: 1-Popular, 2-Santa Cruz, 3-Manrique, 4-Aranjuez, 5-Castilla, 6-Doce de octubre, 7-Robledo, 8-Villa Hermosa, 9-Buenos Aires, 10-La Candelaria, 11-Laureles Estadio, 12-La América, 13- San Javier, 14-Poblado, 15-Guayabal y 16-Belén.

2. Proyección hecha por el DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística- sobre la base del censo 2005.

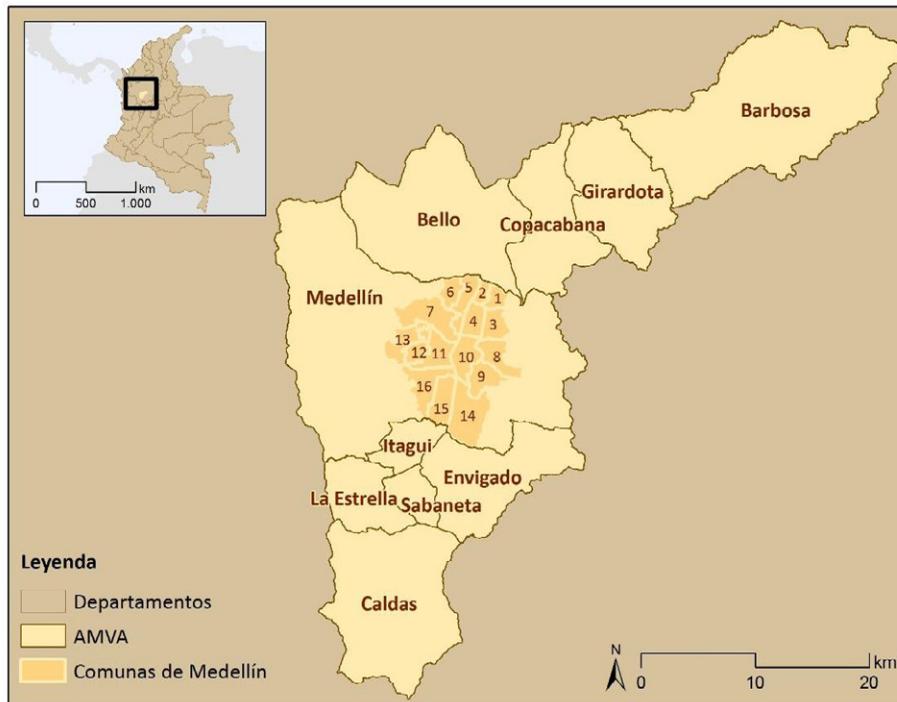


Figura 3. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Medellín y sus comunas. Fuente: elaboración propia.

### Encuesta Origen Destino 2012 (EOD2012)

La encuesta origen destino 2012 para el AMVA estuvo a cargo del ente público administrativo del área que lleva su mismo nombre, la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y el departamento de planeación de Medellín. Esta encuesta tenía como objetivos el análisis de la movilidad cotidiana de los habitantes del Valle de Aburrá así como el transporte de carga que por allí circula, empleando para estos dos objetivos, diferentes metodologías.

Las primeras encuestas de este tipo se realizaron en 1990 y a partir de este momento se han hecho 3 más. En la elaboración de estas han participado diferentes entes públicos y privados y han servido para las modelaciones del Metro, Metroplús y diseño de planes de movilidad, entre otros.

La encuesta más reciente (2012) tuvo como tamaño muestral 20.138 hogares del Valle de Aburrá (incluyendo zona rural y urbana) correspondiente al 2 % de la población, con un nivel de confianza de 95 % y un error relativo de +/- 0.37. Para ello se encuestaron a todos los miembros de las familias de la muestra, incluyendo así población de todas las edades y de diferentes actividades económicas. En los hogares escogidos se realizó presencialmente la entrevista de lunes a domingo preguntando por el día laboral anterior, o si la encuesta se hacía a altas horas de la noche, por los viajes de ese día.

La presente investigación utiliza como fuente de información los datos de la movilidad cotidiana arrojados por la EOD2012, la cual permite conocer los patrones de viaje de la región y caracterizar a las personas que la realizan (cantidad de viajes por zonas, modos, motivos y horarios, etapas, tiempos promedios y características socioeconómicas de la población que viaja). Fueron considerados los tipos de movilidad no motorizado como la caminata y la bicicleta, el transporte privado como el coche y la motocicleta, y transporte público y colectivo que incluye buses, microbuses, taxis, transporte escolar y de empresa, Metro y Metroplús.

La EOD2012 detalla para cada desplazamiento reportado, el municipio, comuna, barrio y código SIT (sistema integrado de transporte) desde el cual cada desplazamiento se originaba se originaban y hacia donde se dirigía. A efectos de simplificar esta información, solo se tomaron como lugares de origen y destino los municipios y para el caso de Medellín las 16 comunas. Las características socioeconómicas detalladas en la encuesta incluyen género, edad, nivel de estudios, ocupación, acceso a vehículo propio y estrato socioeconómico.

La estratificación socioeconómica corresponde a una clasificación en estratos de los inmuebles residenciales, la cual se realiza principalmente para cobrar de manera diferencial por estratos los servicios públicos domiciliarios permitiendo asignar subsidios y cobrar contribuciones en esta área. La escala es del 1 al 6, donde 1 es el bajo-bajo. De esta manera quienes tienen más capacidad económica pagan más por los servicios públicos y contribuyen para que los estratos bajos puedan pagar sus facturas (DANE, 2012); pero más allá de la clasificación de las residencias, la estratificación se ha convertido en un esquema de clasificación individual y colectiva que realizan los colombianos de sí mismos (Uribe-Mallarino, 2008).

Los datos obtenidos por esta encuesta indican que en el AMVA se hacen 5,6 millones de viajes al día, de los cuales 4 millones se realizan al interior de Medellín. En promedio, una persona realiza 1,7 viajes/día, y teniendo en cuenta solo la población móvil, este valor aumenta a 2,4 viajes/día. Del 31 % de la población que no viaja, el 60 % son mujeres. En cuanto a la repartición modal, el modo bus representa el 26,6 % del total de los viajes realizados en el Valle de Aburrá, seguidos por la caminata con un 26,1 %; los modos auto y moto constituyen el 15 % y 11 % de los viajes respectivamente, seguidos por el modo Metro con un 10 %, el uso de la bicicleta no supera el 1 %, taxi un 6 % y otros motorizados 3 %. El regreso a casa, ir al trabajo y al estudio son los motivos por los cuales los habitantes del AMVA se desplazan con mayor frecuencia con un 46 %, 21 % y 14 %.

El presente trabajo se realizó utilizando los datos de la EOD 2012 y analizados mediante el software IBM SPSS v19

### *Cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>*

El sector del transporte es una fuente importante de emisiones de efecto invernadero, como lo son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (APTA Climate Change Standards Working Group, 2009) y otros gases que afectan considerablemente la salud pública como compuestos orgánicos volátiles (VOC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado (Secretaría Distrital de Ambiente; Transmilenio S.A.; Universidad de La Salle, 2010). Estas emisiones provienen del tubo de escape del motor del vehículo, por las evaporaciones del combustible, o por el desgaste de los frenos y neumáticos.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2006), los cálculos se realizan mediante la siguiente ecuación (1):

$$g \text{ CO}_2 \text{ emitidos} = AD_i \times EF_i \quad (1)$$

Donde:

g CO<sub>2</sub> = gramos de CO<sub>2</sub>

AD = datos de actividad

EF =factor de emisión de CO<sub>2</sub>

i = tipo de combustible o modo de transporte usado

Los datos de actividad (AD) se refieren a los litros de combustible consumido, coste económico del combustible, que a su vez se traduce en litros, o los kilómetros recorridos durante un viaje (Oficina Catalana del Cambio Climático, 2014). En este estudio se usó como AD la distancia recorrida en km dados los datos disponibles en la base de datos de la EOD2012.

El siguiente algoritmo representa el procedimiento llevado a cabo para calcular la distancia recorrida por desplazamiento (AD-expresado en km/despl) y el factor de emisión (EF-expresado en gCO<sub>2</sub>/pasajero-km), que mediante la ecuación 1 permite conocer las emisiones de CO<sub>2</sub> que realizan los habitantes del AMVA en sus desplazamientos cotidianos.

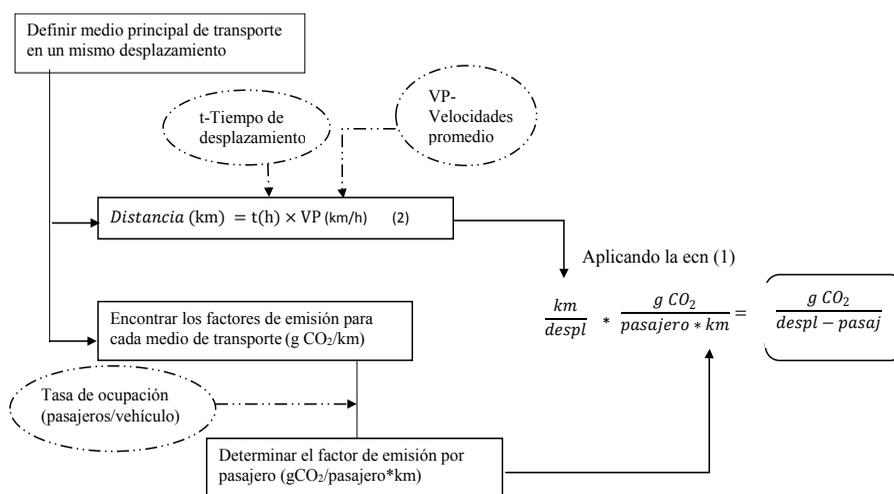


Figura 4. Metodología de cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>.  
Fuente: construcción propia.

En forma de óvalo punteado se especifican los datos requeridos para cada paso. Estos datos fueron tomados de información disponible en estudios de movilidad hechos en años anteriores en las ciudades de Medellín y Bogotá e información oficial del Metro (Medellín-Alcaldía, 2007; Giraldo, 2005; Corporación Andina para el Fomento, 2010; Metro Medellín, 2014). Los factores de emisión para cada medio de transporte dependen de características como el tipo de vehículo y su edad, las condiciones de mantenimiento, fuente de energía, tipo y calidad de combustible y los dispositivos tecnológicos de control de emisiones; estos factores fueron tomados del Plan Decenal de Descontaminación del Aire de Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente; Transmilenio S.A.; Universidad de La Salle 2010), quienes se basaron en las mediciones directas del tubo de escape y bajo condiciones reales de operación de los vehículos o en algunos casos, basándose en los factores propuestos por el modelo IVE, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Para el caso del metro, se usó como valor de referencia el factor de emisión del metro de Barcelona (España) y se aplicó un factor de sobre ocupación de 1,75 de acuerdo con las condiciones de operación de ambos sistemas de transporte. Así mismo para el Metroplús, se tomaron como referencia los autobuses de Barcelona que funcionan con gas natural vehicular y se hizo una corrección de acuerdo con la capacidad de carga. En el Cuadro 1 se observan los datos obtenidos para cada medio de transporte.

**Cuadro 1. Medios de transporte con sus respectivas velocidades de transporte, tasa de ocupación y factores de emisión. Fuente: Elaboración propia. \* Se asume igual a la velocidad del automóvil dado que no se cuenta con datos oficiales. \*\* Se asumen iguales a los valores de microbús y bus respectivamente.**

Medio de transporte	Velocidad promedio	Factor de emisión	Tasa de ocupación	Factor de emisión corregido
	(km/h)	g CO <sub>2</sub> / km	pasajero/vehículo	g CO <sub>2</sub> /pasajero* km
Automóvil	30	263	1,39	189,21
Moto	30*	30,6	1,24	24,67
Bus	14	630,26	18	35,01
Microbús	17	391,59	18	21,75
Metroplús	18	--	--	11,31
Taxi	21	249,5	1,68	148,51
Metro	40	--	--	28,27
Transporte escolar	17**	561,16	18	31,18
Otros motorizados	14**	630,26	18	35,01
Caminata	--	0	1	0
Bicicleta	--	0	1	0

### Metodología de análisis

Los datos obtenidos fueron analizados en dos etapas. La primera de ellas fue un análisis descriptivo de cómo los modos de transporte, los motivos de desplazamientos, el tiempo, lugar de origen y las variables socioeconómicas de la población del AMVA contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub>. En una siguiente etapa, se realizó un análisis multivariable tomando solo las variables socioeconómicas. Para ello se analizó en primer lugar una matriz de correlación bivariable, permitiendo ver así algunas tendencias a cerca de qué factores socioeconómicos afectaban en mayor y menor medida la generación de emisiones por el uso del transporte. Posteriormente estas tendencias fueron exploradas con mayor detalle mediante un árbol de decisión de tipo CHAID (*Chi-squared Automatic Interaction Detection*).

El método CHAID está siendo usado ampliamente en los estudios de transporte con el propósito de entender las respuestas de colectivos en relación con una variable dependiente (criterio), de acuerdo con la combinación de una serie de variables predictoras (Marquet y Miralles-Guasch, 2014). Este método usa un conjunto de algoritmos estadísticos que determinan qué variables predicen más ciertos comportamientos y para ello divide la muestra original en subgrupos más pequeños a través de pruebas Chi cuadrado (Horner et al., 2010). A diferencia de otros métodos, la metodología CHAID realiza las predicciones a un nivel local, analizando solo la relación dentro de la subpoblación en ese nodo (punto donde se hace la división). El resultado es una representación jerárquica en forma de árbol que puede ser utilizada tanto para el análisis como para la predicción (Sullivan y van Zyl, 2008; Pitombo, Kawamoto y Sousa, 2011). En este caso, este método permitió conocer cuáles son los grupos de población que emiten mayores cantidades de CO<sub>2</sub> en su movilidad cotidiana dentro del AMVA.

## Resultados y discusiones

### Análisis descriptivo

Esta sección presenta los principales resultados del análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la movilidad cotidiana en el AMVA cuantificadas a partir de información compilada en la EOD2012. De acuerdo con esta, en el AMVA en el año 2012 se realizaron 5,6 millones de viajes al día y estos viajes son los responsables de la emisión de 3.545.633 kg de CO<sub>2</sub> diarios. Sin embargo, estas emisiones se distribuyen de manera no uniforme según las características del desplazamiento, el contexto geográfico donde tienen lugar y las condiciones socioeconómicas de los usuarios.

### Variables relativas al viaje

Analizando la distribución modal, como puede observarse en el cuadro 2, los viajes en automóvil son los responsables del 55,2 % de las emisiones a pesar de que solo el 15 % de los viajes se hacen en este medio. En comparación, el autobús contribuye con el 14,2 % del CO<sub>2</sub> a pesar de ser el segundo medio de transporte más utilizado (28 %). En términos grupales, los medios de transporte privados, responsables del 26 % de la movilidad emiten el 60 % del CO<sub>2</sub>; mientras que los públicos, responsables del 48 % de la movilidad, emiten el 40 % del CO<sub>2</sub>.

Analizando las medias de emisiones de CO<sub>2</sub> por individuo en un desplazamiento (Cuadro 2), puede verse como un viaje en coche contamina ocho veces más que uno en bus, y tres veces más que un desplazamiento en metro.

Cuadro 2. Distribución de emisiones de CO<sub>2</sub>, viajes y media de emisiones por modo de transporte. Fuente: Elaboración propia.

Modo de transporte	Desplazamientos		Emisiones CO <sub>2</sub>	g CO <sub>2</sub> / desplaz-pasajero
	n	%		
Automóvil	11.767	12,1	55,2	2.991,35
Moto	7.925	8,1	4,7	375,18
Bus	25.475	26,2	14,2	354,99
Microbus	3.146	3,2	1,1	232,66
Metroplús	242	0,2	0,1	223,00
Taxi	4.190	4,3	10,2	1.559,06
Metro	8.506	8,7	12,6	944,88
Transporte escolar	2.379	2,4	1,0	269,21
Intermunicipal, empresa	1.580	1,6	1,0	385,81
Caminata	31.361	26,1	0,0	0,00
Bicicleta	762	0,8	0,0	0,00

Si se analiza la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de los motivos que originan los viajes (Cuadro 3), se observa cómo el motivo *Trabajo* genera la mayor cantidad de emisiones. Teniendo en cuenta que el número de desplazamientos es mucho mayor por el motivo trabajo, es interesante ver cuánto contamina en sí un desplazamiento por persona (g CO<sub>2</sub>/desplaz-pasajero). De este modo se observa cómo un desplazamiento promedio de una persona por el motivo *Comer o tomar algo* emite más (861 gCO<sub>2</sub>) que incluso el motivo *Trabajo* (750 gCO<sub>2</sub>) y que un desplazamiento

promedio por el motivo *Estudio* es el menos contaminante (300,9 gCO<sub>2</sub>). Esta diferencia de emisiones entre motivos permite inducir varias interpretaciones: *i*) los lugares para comer o tomar algo están alejados de las viviendas, *ii*) es una actividad que los habitantes no contemplan hacer en lugares cercanos y por lo tanto recorren mayores distancias y *iii*) es una actividad que en términos generales se realiza en horas de la noche y por un tema de seguridad ciudadana la población evita hacer estos desplazamientos en medios públicos o no motorizados. Para el año 2013 solo el 44,3 % de los ciudadanos consideran Medellín como una ciudad segura (Restrepo y Hernández, 2014).

Cuadro 3. Distribución de emisiones de CO<sub>2</sub> y media de emisiones por motivo de viaje.  
Fuente: Elaboración propia.

Motivo de viaje	Desplazamientos		Emisiones CO <sub>2</sub>	g CO <sub>2</sub> / desplaz-pasajero
	n	%	%	
Trabajo	22.940	44,3	59,0	750,74
Estudio	13.499	26,1	11,8	300,9
Compras	574	1,1	1,4	573,77
Salud	1.949	3,8	3,2	827,66
Recreación	1.736	3,4	4,2	642,86
Acompañar o recoger a alguien	1.583	3,1	3,0	641,06
Comer o tomar algo	1.424	2,8	2,9	861,37
Visita a un amigo	2.905	5,6	5,4	690,33
Otros	5.128	9,9	9,2	618,09

En la Figura 5 se muestra la distribución temporal de los viajes realizados durante un día laboral en el AMVA así como también las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen debido a estos viajes. Ambos presentan una tendencia similar, dando como resultado que en los periodos de 6:00 - 8:00 y de 17:00 - 19:00 horas son los momentos del día donde se emite el 39 % de las emisiones en un día laboral. Entre las 11:00 y las 14:00 horas se observa un aumento importante de los desplazamientos, pero no de la contaminación. Esta situación se explica por la diferencia en la distribución modal, así al mediodía se realizan viajes en medios no motorizados 20 puntos más respecto al uso de estos medios en las horas pico.

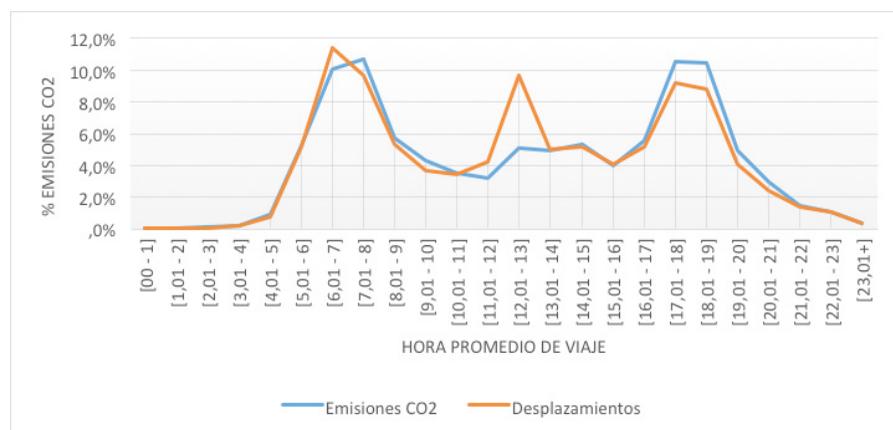


Figura 5. Distribución de CO<sub>2</sub> de acuerdo con la hora promedio de desplazamiento.  
Fuente: Elaboración propia.

### Variables socioeconómicas

Con el fin de observar el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por perfiles socioeconómicos, las variables género, edad, nivel de ocupación, estrato, acceso a vehículo propio y nivel de educación fueron agrupadas de tal forma que permitieran su comprensión.

Del Cuadro 4 pueden deducirse los perfiles sociales de las personas cuyos desplazamientos contaminan más. En términos de género, los hombres producen 1.34 veces más CO<sub>2</sub> que las mujeres. La tendencia de la variable edad indica que las personas con edades comprendidas entre los 30 y 64 años contaminan más que el resto de edades, mientras que el grupo de personas que trabajan generan  $\frac{3}{4}$  de las emisiones totales agrupadas por nivel de ocupación. Observando las emisiones por estrato, la clase media genera el 42 % de las emisiones, sin embargo, analizando los desplazamientos promedio de una persona se nota que existe una relación directa entre renta y emisiones, ya que la clase alta contamina más (1.588,93 g CO<sub>2</sub>) que las clase media (671,69 g CO<sub>2</sub>) y esta última contamina más que la clase baja (464,33 g CO<sub>2</sub>). En cuanto a la posesión de vehículo propio, las personas con automóvil emiten el 54,50 % de las emisiones y un desplazamiento promedio por persona de aquellos que tienen automóvil emite cuatro veces más que los que tienen moto o medios no motorizados. Finalmente, dentro de la categoría nivel de educación, aquellas personas con nivel avanzado (grado universitario o más) generan en promedio desplazamientos 2.2 veces más contaminantes que los de educación media básica (1.195,59 y 530,95 g CO<sub>2</sub> respectivamente) y 4,2 veces más que las personas que no han recibido educación escolar educación.

*Cuadro 4. Distribución de emisiones de CO<sub>2</sub> y media de emisiones de acuerdo con condiciones socioeconómicas. Fuente: Elaboración propia.\* Los estratos socioeconómicos fueron agrupados en 3 grupos: clase baja: estratos 1 y 2, clase media: 3 y 4, y clase alta: 5 y 6.*

Variable socioeconómica	Perfil de la muestra		Emisiones CO <sub>2</sub> g CO <sub>2</sub> / desplaz-pasajero	
	n	%	%	
<b>Género</b>				
Hombre	49.798	51,2	57,4	748,03
Mujer	47.546	48,8	42,6	582,51
<b>Edad</b>				
Menores de 16 años	16.661	17,1	4,5	176,29
16-29 años	28.393	29,2	27,1	618,88
30-64 años	47.370	48,7	63	863,97
Mayores de 64 años	4.918	5,1	5,4	713,71
<b>Ocupación</b>				
Trabajadores	50.897	52,3	71,9	902,42
Jubilados	4.474	4,6	5,7	807,52
No trabajadores	39.862	40,9	22,5	360,24
<b>Estrato socioeconómico*</b>				
Clase baja	46.552	47,8	33,3	464,33
Clase media	40.746	41,9	42,1	671,69
Clase alta	10.046	10,3	24,6	1.588,93
<b>Acceso a vehículo propio</b>				
Automóvil	21.538	22,1	54,50	1.632,82

Moto	15.632	16,1	10,00	411,47
No motorizados	59.880	61,5	35,50	382,87
Nivel de estudios				
Sin educación escolar	12.061	12,4	5,2	282,11
Básica alta	60.814	62,5	49,7	530,95
Avanzada	24.469	25,1	45,0	1.195,59

### Variables territoriales

Las emisiones también se distribuyen de manera diferente a lo largo del territorio objeto de estudio. En la Figura 6a, se observa la distribución de las emisiones según el municipio donde se generan, siendo Medellín el lugar donde se emite el 69,3 % del CO<sub>2</sub> equivalentes a 45.000 kg CO<sub>2</sub>/día (emisiones altas). En segundo lugar, está Envigado con 5.249,53 kgCO<sub>2</sub>/día (emisiones medio altas), mientras que los municipios con menores emisiones son Caldas, La Estrella, Bello, Girardota y Barbosa.

Al interior de Medellín (Figura 6b), las comunas La Candelaria y Poblado emiten la misma cantidad de CO<sub>2</sub> (9.680 kgCO<sub>2</sub>/día) a pesar de que en La Candelaria se genera el doble de desplazamientos que en el Poblado (13.067 y 7.127 respectivamente). Esta situación se debe a la diferente distribución modal entre estos dos territorios: en La Candelaria el 19,3 % de los desplazamientos que se originan allí se realizan en medios privados y 67,3 % en públicos, mientras que en el Poblado estas cifras son del 47,9 y 44,3 % respectivamente.

De acuerdo con información oficial de la alcaldía de Medellín y conocimiento propio de la ciudad, existen factores como la densidad, mixtura de usos del suelo y estratos socioeconómicos característicos de cada comuna que permiten deducir por qué unas contaminan más que otras en lo relativo al uso del transporte.

Todas las comunas con emisiones bajas tienen como estrato predominante el 2 y 3, y sus densidades están entre 261,21 y 441,35 habitantes/ha. Por otro lado, el Poblado es la única comuna con estrato predominante 6, y su densidad de 101,83 habitantes/ha es la más baja de todas (Alcaldía de Medellín, 2010). Respecto al uso del suelo hay diferencias importantes entre comunas: aquellas que contaminan menos tienen una mayor mixtura de usos del suelo respecto a otras como el Poblado (caracterizado por ser centro de negocios y eventos), La Candelaria (centro del comercio de la ciudad) y Guayabal (centro industrial).

### Análisis multivariable

Con el fin de analizar cómo la combinación de las diferentes variables socioeconómicas juega un papel en las emisiones de CO<sub>2</sub> se ha empleado un árbol de decisión CHAID (Figura 7). Al árbol lo encabeza la variable dependiente que se quiere explicar (nodo 0), es decir las emisiones de CO<sub>2</sub>. A partir de esta se ubican las variables independientes (ocupación, estratos, edad, tenencia de vehículo propio y nivel de estudios) de manera jerárquica. Cabe notar que la variable género fue incluida también como variable independiente, pero de acuerdo con los criterios estadísticos (*P-value*, *Chi-square*) el género no es tan determinante como las demás variables a la hora de explicar las emisiones y por tal motivo no aparece en el árbol CHAID.

La jerarquización antes mencionada está determinada por el grado de relación que tiene una variable independiente sobre la dependiente (Horner et al., 2010), así una variable

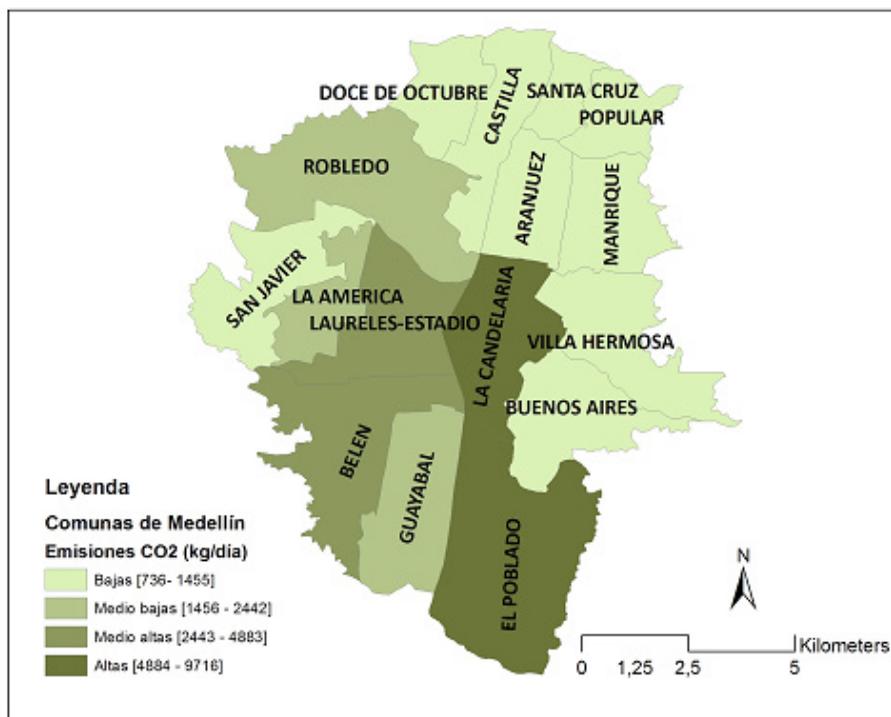
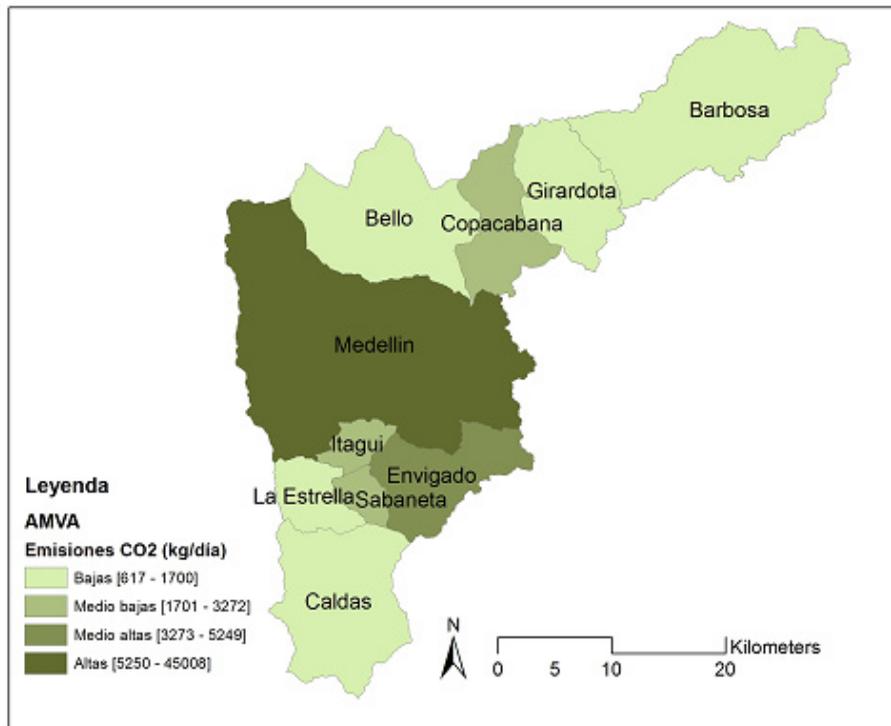
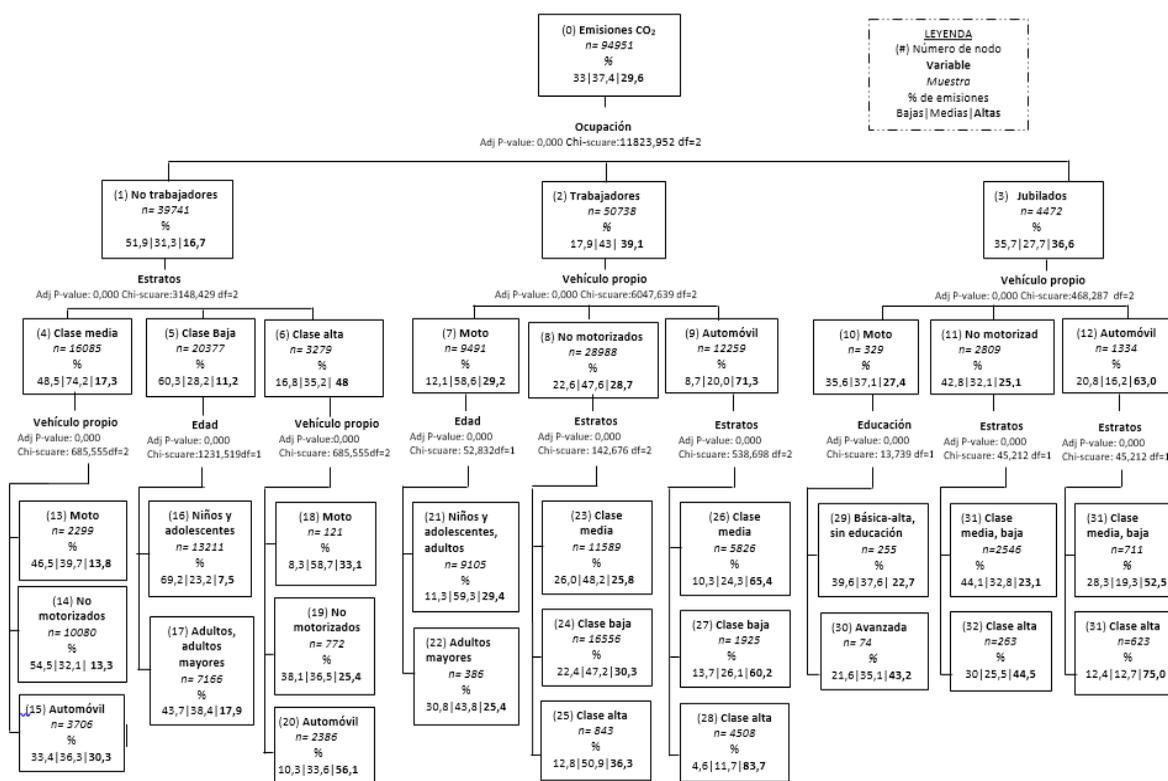


Figura 6. Distribución territorial de las emisiones de CO<sub>2</sub>. (a) AMVA (b) Comunas de Medellín. Fuente: Elaboración propia.

que se encuentre por encima de otra significa que afecta en mayor medida las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los nodos son los puntos donde se produce una división de una variable. Por ejemplo, el nodo 0 se divide en no trabajadores, trabajadores y jubilados (nodos 1,2 y 3 respectivamente) de acuerdo con la variable ocupación.

Como puede verse en la Figura 7, el factor socioeconómico que tiene más peso a la hora de explicar las emisiones es el nivel de ocupación de los habitantes del AMVA. De los desplazamientos que realiza la población trabajadora (nodo 2), el 39,1 % son emisiones altas, mientras que para los no trabajadores (nodo 1) esta cifra es de 16,7 % y jubilados (nodo 3) 36,6 %.



Analizando la rama de no trabajadores puede verse que el estrato social al cual pertenecen estas personas es el factor que le sigue en relevancia, y dentro de estos grupos (clase baja, media y alta) la diferencia de emisiones de la clase alta (nodo 6) con respecto a las otras dos es importante, ya que el 48 % de sus desplazamientos emite emisiones calificadas como altas. Para la clase media y clase alta (nodo 4 y 6), el poseer o no vehículo propio es el siguiente factor determinante, mientras que para la clase baja (nodo 5) lo es la edad, es decir sus niveles de contaminación dependen de la capacidad de desplazarse de acuerdo con las necesidades de movilidad propias de cada grupo de edad.

Figura 7. Árbol CHAID de grado de emisiones de CO<sub>2</sub>. Fuente: resultados SPSS.

Por otro lado, observando la rama de trabajadores, el siguiente nivel es la tenencia de vehículo propio: entre aquellos trabajadores que poseen automóvil (nodo 9) el 71,3 % de sus desplazamientos se clasifican como emisiones altas, mientras que entre aquellos que no tienen o solo tienen moto (nodo 7 y 8) este porcentaje baja hasta el 29 %. El siguiente nivel para aquellos trabajadores con automóvil (nodo 9) es el estrato socioeconómico (nodos 26, 27 y 28): es interesante ver cómo aquellos de clase alta contaminan más (83,7 %) que los de clase media (65,4 %) y baja (60,2 %). De acuerdo con la literatura, varios estudios como los realizados por Dargay y Hanly (2007) y Paulley et al., (2006) han coincidido con que a mayor renta mayor acceso al coche y por tanto mayor uso de este, lo cual confirma entonces los hallazgos antes mencionados. Aun así, el hecho de que con una misma situación profesional y un mismo acceso al vehículo privado las rentas altas contaminen más que las otras, permite interpretar que factores psicológicos como hábitos, estatus, percepciones del tiempo, del mal estado del transporte público y el confort, y una menor sensibilidad a los costes del viaje, juegan también un papel importante a la hora de entender la generación de emisiones por el uso del transporte.

Un fenómeno similar sucede con los trabajadores sin acceso a medios motorizados (nodos 23, 24 y 25); aunque en este caso la diferencia de emisiones entre clases sociales no es tan notoria, nuevamente la clase alta contamina más (36,3 %) ya que son menos sensibles al uso de medios de transporte como el taxi.

Continuando con el grupo de los jubilados, se observa que al igual que los trabajadores, el siguiente nivel es la tenencia o no de vehículo propio. Dentro de la población jubilada que posee moto (nodo 10), el factor determinante de las emisiones es el nivel de educación, así, aquella con una educación avanzada (nodo 30) tiene el 43,2 % de emisiones altas, mientras que los que no tienen educación o tiene solo la básica alta (nodo 29), el 22,7 % de sus emisiones son altas. Observando los grupos de jubilados que no tienen acceso a transporte motorizado y para los que tienen automóvil (nodos 11 y 12), su factor determinante es el estrato, y de nuevo se observa cómo la clase alta contamina más que las clases media y baja. Con este hallazgo se ratifica entonces la notable proporcionalidad entre clases sociales y niveles de contaminación por uso del transporte que existe en el AMVA.

## Conclusiones

La movilidad cotidiana en el AMVA genera diariamente 5,6 millones de viajes que son responsables de la emisión de 3.545.633 kg de CO<sub>2</sub>. En la presente investigación se cuantificaron y analizaron estas emisiones desde el punto de vista la demanda de transporte, empleando para ello los datos de la EOD2012. Los resultados se detallan en dos etapas: un análisis descriptivo de tipo bivariado (variables relativas al viaje, socioeconómicas y territoriales) y un análisis multivariado de los factores socioeconómicos, para el cual se usó un árbol de decisión CHAID.

Las diferentes condiciones demográficas y socioeconómicas de la población del AMVA como la edad, el género, nivel de renta, entre otros, afectan considerablemente la decisión de usar un medio de transporte sobre otro, y por lo tanto el grado de contaminación, lo cual coincide con lo mencionado por autores como Miralles-Guasch (1998), García (1999) y Paulley et al., (2006).

En cuanto al análisis territorial de las emisiones, los resultados encontrados permiten identificar que las comunas más contaminantes coinciden en tener las más bajas densidades y la menor variedad de usos del suelo. Esto permite confirmar que en el municipio de Medellín se cumple con lo mencionado por Cervero y Kockelman (1997) y Newmann y Kenworthy (1999) en que la forma física de una ciudad es uno de los principales causantes de las emisiones atmosféricas.

El análisis multivariado por medio del árbol de decisión CHAID permitió ver cuáles variables socioeconómicas de la población del AMVA son las más determinantes a la hora de contaminar por el uso del transporte. El principal hallazgo de este análisis fue constatar cuán estrechamente proporcional es la relación entre clase social y emisiones de CO<sub>2</sub>, para todos los subgrupos de población. Estos resultados coinciden con lo dicho por Coondoo y Dinda (2002): la existencia de una relación de causalidad entre renta y emisiones. El uso de CHAID igualmente permitió deducir el colectivo social que contamina más: la población trabajadora, de clase alta y que posee automóvil; por otro lado los niños y adolescentes no trabajadores de clase baja es el colectivo que menos contamina.

Los resultados de esta investigación permiten deducir que los modos de transporte por sí solos no son los que contaminan, sino el uso que se da de ellos. Dicho de otro modo, un medio motorizado como el automóvil solo emite CO<sub>2</sub> cuando es empleado por un ciudadano para llevar a cabo un desplazamiento. Es así como se hace necesario entender las razones por las que se realiza un viaje y los factores (en este caso socioeconómicos) que afectan la decisión de usar un medio de transporte, y esto solo es posible empleando datos que den cuenta de la demanda de movilidad, como los otorgados por la EOD2012.

Finalmente estos hallazgos permiten una comprensión más clara del problema en el desarrollo de políticas públicas para reducir las emisiones y poder contribuir en la generación de estrategias que fomenten el uso de modos de transporte público y no motorizado sobre el transporte privado. Esto se hace sumamente importante en el contexto de ciudades en desarrollo, donde teniendo en cuenta el crecimiento económico, el urbanismo poco planificado, la desigualdad social y las condiciones de seguridad ciudadana, es vital tomar acciones de gran impacto, de otro modo en un futuro próximo áreas como el AMVA estarán fuera de control.

## Bibliografía

- » ALCALDÍA DE MEDELLÍN (2010) *Viviendas residenciales estratificadas por comuna y barrio, según estrato, Medellín*.
- » ANTIPOVA, A. et al. (2011) Urban land uses, sociodemographic attributes and commuting: a multilevel modeling approach. *Applied Geography* vol. 31 n° 3, pp.1010-1018.
- » APTA climate change standards working group (2009) *Recommended practice for quantifying greenhouse gas emissions from transit*.
- » ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2012) *Encuesta origen destino de hogares y carga para El Valle De Aburrá*. Informe final, Medellín.
- » ASIAN DEVELOPMENT BANK (2009) Changing course. A new paradigm for sustainable urban transport. *Royal College of Nursing (Great Britain)* vol. 26.
- » BANISTER, D. (2011) Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography* vol.19 n°6, pp.1538-1546.
- » BARBERO, J. et al. (2012) Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. *Revista Transporte y Territorio* n° 6, Universidad de Buenos Aires, pp.8-26. <<http://www.rtt.filo.uba.ar/RTT00602008.pdf>>
- » BERTOLINI, L. et al. (2008) Urban transportation planning in transition. *Transport Policy* vol. 15 n° 2. pp.69-72.
- » BINSWANGER, M. (2001) Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological economics* vol. 36. pp.119-132.
- » CALDERÓN, S. et al., (2015) Achieving CO2 reductions in Colombia: Effects of carbon taxes and abatement targets. *Energy Economics*. pp.1-12. <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988315001620>>
- » CERVERO, R. et al. (1997) Travel demand and the 3Ds: density, diversity and design. *Transportation Research Part D* vol.2 n°3. pp.199-219.
- » CERVERO, R. et al. (1998) Sub-centring and commuting: Evidence from the San Francisco Bay Area, 1980-90. *Urban studies* vol 35 n°7. pp.1059-1076.
- » CHAPMAN, L. (2007) Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography* vol. 15 n°5. pp. 354-367.
- » CLEAN AIR INSTITUTE (2013) *Climate change and greenhouse gas emissions in Latin America*. <<http://www.cleanairinstitute.org>>
- » COONDOO, D. et al. (2002) Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis. *Ecological Economics* vol. 40 n° 3. pp. 351-367. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800901002804>>
- » CORPORACIÓN ANDINA PARA EL FOMENTO (2010) *Observatorio de movilidad urbana para América Latina*. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- » CTS-EMBARQ (2013) *Colombia PMR Preparation Phase Activity 2: Market readiness assessment of Colombia's urban transport sector*.
- » GIZ-SUTP (2011) *Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve*. Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit-GTZ, <<http://www.transport2020.org/publicationitem/1027/factsheet-avoid-shift-improve-a-s-i>>

- » DANE (2012) *Estratificación socioeconómica para servicios públicos domiciliarios*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <<https://www.dane.gov.co/index.php/esp/enlaces-destacados/estratificacion-socioeconomica>>
- » DARGAY, J., HANLY, M. (2007) Volatility of car ownership, commuting mode and time in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* vol. 41 n°10. pp. 934-948. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856407000407>>
- » EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2012) The contribution of transport to air quality. *Term 2012: transport indicators tracking progress toward environmental targets in Europe*. Copenhagen.
- » GARCÍA, E. (1999) La sostenibilidad de las ciudades y la organización social de la movilidad. *Ecología Política*, vol.17. pp. 55-68.
- » GIRALDO, L. (2005) *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes*. Universidad de los Andes, Tesis Maestría.
- » GREENING, L. et al. (2000) Energy efficiency and consumption-the rebound effect-a survey. *Energy policy* vol. 28 n° 6-7. pp. 389-401.
- » HIDALGO, D. (2014a) *Sistemas de transporte. Liderando el desarrollo sostenible de las Ciudades*. BID e INDES. Bogotá.
- » HIDALGO, D. (2014b) *Transporte Sostenible para América Latina: situación actual y perspectivas*. Foro de transporte sostenible para América Latina, UNRCD-BID, Bogotá, Colombia.
- » HIDALGO, D., HUIZENGA, C. (2013) Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in transportation Economics* vol. 40 n°1. pp.66-77.
- » HISCOCK, R. et al. (2002) Means of transport and ontological security: do cars provide psycho-social benefits to the users? *Transportation Research Part D* vol. 7 n°2. pp.119-135.
- » HORNER, S. (2010) The relation of student behavior, peer status, race, and gender decisions about school discipline using CHAID decision tress and regression modeling. *Journal of school psychology* vol. 48. pp.135-161.
- » INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *New York: Cambridge University Press*, p.5. <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>
- » INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007) Climate change 2007: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the environmental panel on climate change. *New York: Cambridge University Press*. <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4\\_wg3\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf)>
- » INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assesment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- » MARQUET, O. et al. (2014) Walking short distances.The socioeconomic drivers for the use of proximity in everyday mobility in Barcelona. *Transportation Research Part A* vol. 70. pp.210-222. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2014.10.007>>

- » MEDELLÍN ALCALDÍA (2007) Foro sobre Movilidad-Medellín la más educada. *Medellín como vamos*.
- » <<http://www.medellincomovamos.org/file/1369/download/1369>>
- » METRO MEDELLÍN (2014) Metro de Medellín. *Revista Metro*. <https://www.metrodemedellin.gov.co>
- » MIRALLES-GUASCH, C. (2012) Estratègies territorials en el sector del transports per ferfront al canvi climàtic 1. *Treballs de la societat catalana de Geografia* vol.73. pp. 77-98.
- » MIRALLES-GUASCH, C. (2002) La Movilidad Cotidiana. En *Ciudad y transporte: El binomio imperfecto*. Barcelona: Ariel. pp. 27-41.
- » MIRALLES-GUASCH, C. (1998) Movilidad de las mujeres en la ciudad, un análisis desde la ecología urbana. *Ecología Política* vol. 15. pp. 123-131.
- » MIRALLES-GUASCH, C. et al. (2014) On user perception of private transport in Barcelona Metropolitan area: An experience in an academic suburban space. *Journal of Transport Geography* vol. 36. pp.24-31.
- » NATIONAL OCEANIC and ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (2011) *The NOAA annual greenhouse index (aggi)*. <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>>
- » NEWMANN, P., KENWORTHY, J. (1999) *Sustainability and cities: overcoming automobile dependence*, Washinton DC: Island Press.
- » OFICINA CATALANA DE CAMBIO CLIMÁTICO (2014). Guía práctica para el cálculo de de emisiones de gases de efecto invernadero, Barcelona. <[http://canvclimatic.gencat.cat/es/reduex\\_emissions/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/](http://canvclimatic.gencat.cat/es/reduex_emissions/guia_de_calcul_demissions_de_co2/)>
- » UN-HABITAT (2013) *Planning and design for sustainable mobility. Global Report for Human Settlements*. <<http://unhabitat.org/planning-and-design-for-sustainable-urban-mobility-global-report-on-human-settlements-2013/>>
- » PALAZZI, F. et al. (2012) *Climate change, everyday mobility and quality of life: a demand perspective of CO2 emissions in the transport sector of the Metropolitan Region of Barcelona*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Barcelona.
- » PAULLEY, N. et al. (2006) The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy* vol. 13 n°4. pp.295-306. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X05001587>>
- » PITOMBO, C. et al. (2011) An exploratory analysis of relationships between socioeconomic, land use, activity participation variables and travel patterns. *Transport Policy* vol. 18 n° 2. pp. 347-357.
- » RESTREPO, P., HERNANDEZ, P. (2014). *Informe de calidad de vida. Medellín Como Vamos*, Medellín. <<http://www.medellincomovamos.org/informe-de-indicadores-objetivos-sobre-la-calidad-de-vida-en-medell-n-2014>>
- » SANTOS, G. et al. (2013) Factors influencing modal split of commuting journeys in medium size European cities. *Journal of Transport Geography* vol. 30. pp. 127-137.
- » SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE; TRANSMILENIO S.A.; UNIVERSIDAD DE LA SALLE (2010). *Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá*, Bogotá, Colombia. <[http://ambientebogota.gov.co/en/c/document\\_library/get\\_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886](http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886)>
- » STEAD, D. et al. (2000) Land use transport and people: identifying the connections. *Achieving sustainable urban form*. pp. 174-186. <[http://cataleg.uab.cat/record=b1469858~S1\\*cat](http://cataleg.uab.cat/record=b1469858~S1*cat)>

- » SULLIVAN, D., VAN ZYL, M. (2008) The well-being of children in foster care: Exploring physical and mental health needs. *Children and Youth Services Review* vol. 30 nº 7. pp. 774-786. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0190740907002502>>
- » TORO, M. et al. (2010) *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el valle de Aburrá*. Informe final, Medellín. [http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/IsdocPlandedescontaminacion/Inventario de emisiones.pdf](http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/IsdocPlandedescontaminacion/Inventario%20de%20emisiones.pdf).
- » URBAM (2011) *BIO 2030 Plan Director Medellín*, Valle de Aburrá M. Editores, ed., Medellín.
- » URIBE-MALLARINO, C. (2008) Estratificación social en Bogotá: de la política pública a la dinámica de la segregación social. *Universitas Humanística*, nº65 (enero-junio), pp.139-171. <<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/univhumanistica/article/view/2245/1512>>
- » WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2012) Causes of climate change. <[http://www.wmo.int/pages/themes/climate/causes\\_of\\_climate\\_change.php](http://www.wmo.int/pages/themes/climate/causes_of_climate_change.php)>

### **Vanessa Ríos Bedoya / [vanessa.riosbr@gmail.com](mailto:vanessa.riosbr@gmail.com)**

Ingeniera Química (Universidad de Antioquia) y Magister en Estudios Interdisciplinarios en Sostenibilidad Ambiental, Económica y Social (Universidad Autónoma de Barcelona). Ha realizado varios estudios de movilidad y medio ambiente alrededor de la Encuesta Origen Destino 2012 de Medellín.

### **Oriol Marquet / [oriol.marquet@uab.cat](mailto:oriol.marquet@uab.cat)**

Licenciado en Geografía y en Historia (Universidad Autónoma de Barcelona) y Doctor en Geografía (Universidad Autónoma de Barcelona). Publicó artículos en revistas de alto impacto en materia de transporte y estudios urbanos tales como *Transportation Research Part A* y *Cities*. También trabaja en el campo de la *environmentalhealth* analizando los impactos del entorno urbano en la salud de las personas.

### **Carme Miralles-Guasch / [carme.miralles@uab.cat](mailto:carme.miralles@uab.cat)**

Licenciada y Doctora en Geografía (Universidad Autónoma de Barcelona). Directora del GEMOTT (Grupo de Estudios en Movilidad Transporte y Territorio) y profesora de geografía urbana y movilidad en el departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona y el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental. Ha publicado en revistas de alto impacto en disciplinas como el transporte y los estudios urbanos.