



DYNA

ISSN: 0012-7353

Universidad Nacional de Colombia

Espinosa, Mónica; Pacheco, José; Franco, Juan Felipe
Potencial de mitigación de proyectos de transporte activo: indicadores
de atracción de viajes y emisiones CO2 en ciudades colombianas
DYNA, vol. 85, núm. 205, 2018, Abril-Junio, pp. 302-309
Universidad Nacional de Colombia

DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68340>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49657889038>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UNAM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Mitigation potential of active transport projects: trip attraction and CO₂ avoidance indicators in colombian cities

Mónica Espinosa ^a, José Pacheco ^b & Juan Felipe Franco ^a

^a Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. m.espinosa28@uniandes.edu.co, jffranco@uniandes.edu.co

^b Hill Consulting S.A.S, Bogotá, Colombia. jpacheco@hillconsulting.co

Received: October 17th, 2017. Received in revised form: March 13th, 2018. Accepted: April 2nd, 2018.

Abstract

The global context on climate change and Colombia's recent international commitments to reduce greenhouse gas emissions, are an opportunity to encourage projects in sustainable mobility. In this study, indicators associated to trips attraction and carbon dioxide (CO₂) avoidance were estimated for measures related to bicycle use. Such indicators were then applied in different scenarios for two Colombian cities. For the assessed measures, the construction of dedicated bike-paths is the one with a greater trip-attraction indicator (455 trips / km of infrastructure-day). The CO₂ emissions reduction potential significantly changes among the studied measures and with the size of the city, the results for this indicator ranged between 92 gCO₂/trip up to 810 gCO₂/trip. These indicators represent a simple and flexible tool to have a first approximation to the mitigation potential of active transport projects in the context of Latin America cities. For instance, when an ex-ante evaluation is needed as an initial requirement for access to climate change finance funds.

Keywords: non-motorized transport; urban sustainability; climate change; emissions; greenhouse gases.

Potencial de mitigación de proyectos de transporte activo: indicadores de atracción de viajes y emisiones CO₂ en ciudades colombianas

Resumen

El contexto global de cambio climático y los recientes compromisos internacionales del país en reducción de emisiones de gases efecto invernadero, son una oportunidad para incentivar proyectos en movilidad sostenible. En este estudio se estimaron indicadores de atracción de viajes y emisiones de dióxido de carbono (CO₂) evitadas para medidas relacionadas con la promoción del uso de la bicicleta a nivel urbano. Los indicadores obtenidos se aplicaron en distintos escenarios para dos ciudades colombianas. De las medidas evaluadas, la construcción de ciclorrutas y bicarriles es la que mayor atracción de viajes genera con 455 viajes/km de infraestructura-día. El potencial de reducción de emisiones de CO₂ cambia significativamente entre las medidas estudiadas y con el tamaño de la ciudad, los resultados para este indicador estuvieron entre los 92 gCO₂/viaje hasta 810 gCO₂/viaje. Estos indicadores representan una herramienta simple y flexible para contar con una aproximación al potencial de mitigación del cambio climático de proyectos en transporte activo en el contexto de ciudades de América Latina. En particular cuando se requiera una evaluación ex-ante como requisito inicial para acceder a fondos de financiación.


Palabras clave: transporte no motorizado; sostenibilidad urbana; cambio climático; emisiones; gases efecto invernadero.

1. Introducción

De acuerdo con el Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) en 2012 el sector transporte en Colombia emitió 30 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂),

equivalentes al 12% del total de emisiones nacionales [1]. Al igual que otros países de economías en desarrollo, en Colombia se espera que las emisiones de GEI provenientes del transporte continúen creciendo a un ritmo acelerado durante las próximas décadas. Se estima que la contribución del transporte a las

How to cite: Espinosa, M., Pacheco, J. and Franco, J.F., Potencial de mitigación de proyectos de transporte activo: indicadores de atracción de viajes y emisiones CO₂ en ciudades colombianas. DYNA, 85(205), pp. 302-309, June, 2018.

© The author; licensee Universidad Nacional de Colombia. 
Revista DYNA, 85(205), pp. 302-309, June, 2018, ISSN 0012-7353
DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68340>

emisiones globales totales de GEI aumentará hasta un 15% en los próximos 20 años, y la mitad de esas emisiones provendrán del transporte urbano [2]. Este escenario representa un reto importante en términos de definición de políticas dirigidas a desvincular el desarrollo económico del crecimiento de las emisiones de GEI.

Desde el gobierno colombiano se vienen impulsando lineamientos para consolidar programas de movilidad urbana sostenible, incluidos el fortalecimiento de sistemas integrados de transporte público y la promoción de modos activos (bicicleta y caminata). En el actual Plan Nacional de Desarrollo se definió como meta aumentar la participación de los viajes urbanos realizados en modos de transporte sostenible (v.g., sistemas integrados de transporte público y masivo, y modos activos) del 27% en 2014 al 40% en 2018 [3].

Para alcanzar este objetivo, las autoridades de planificación y transporte a nivel nacional están diseñando iniciativas y proyectos específicos orientados a fomentar el uso de la bicicleta en las ciudades. Por otra parte, en línea con el compromiso nacional de reducción de emisiones de CO₂ en un 20% al año 2030 [4], el sector transporte en su Plan de Acción Sectorial [5] incluye la promoción del transporte no motorizado, como una opción que contribuye a los objetivos propios del sector, y que adicionalmente conlleva beneficios en la reducción de emisiones de GEI.

Además de los recursos propios para la financiación de este tipo de estrategias, los territorios y las autoridades a nivel nacional cuentan con distintas oportunidades de financiamiento climático internacional. Estas oportunidades están enmarcadas a través de mecanismos financieros tales como: Global Environmental Facility, Least Developed Countries Fund, Special Climate Change Fund y el Green Climate Fund. La fase inicial en los procesos de aplicación a estas fuentes de financiamiento incluye una estimación ex-ante del potencial beneficio que los proyectos podrían generar en cuanto a la reducción de emisiones de GEI. Esta tarea no es obvia ni simple, cuando la falta de datos locales de movilidad es una condición común en el contexto de las ciudades de colombianas y de otros países de economías en desarrollo [6].

En Colombia el Departamento Nacional de Planeación (DNP) desarrolló unas primeras guías de apoyo a proyectos urbanos para facilitar su formulación técnica y financiera [7]. El trabajo que aquí se presenta, va en este mismo sentido e intenta cerrar la brecha en información disponible, definiendo indicadores en términos de viajes atraídos y emisiones de CO₂ que permitan la estimación del potencial de mitigación del cambio climático de proyectos de transporte activo a nivel urbano. Este resultado constituye una herramienta simple para que las autoridades locales, estimen en una etapa de prefactibilidad los beneficios ambientales de este tipo de proyectos. Cumpliendo de esta forma con uno de los requisitos para acceder a financiación de los mencionados fondos internacionales.

2. Metodología

Este estudio se desarrolló en tres etapas. Primero se identificaron diferentes tipos de acciones con las que es posible promover el uso de la bicicleta como modo de transporte urbano. Después, para el conjunto de medidas

escogidas, se evaluó su potencial en atracción de viajes y se estimó la reducción de emisiones de CO₂ asociada a cada opción. A partir de dicha información, se construyeron dos tipos de indicadores que son de utilidad para que ciudades en el contexto colombiano y latinoamericano utilicen en las primeras etapas de diseño de los proyectos de movilidad activa para evaluar su potencial de reducción de emisiones de CO₂. El primero de estos indicadores hace referencia a la atracción de viajes, y el segundo tiene que ver con las emisiones evitadas. La etapa final del análisis, consistió en la aplicación de los indicadores en dos casos de estudio de ciudades colombianas.

2.1. Selección de las medidas

Diferentes ciudades en Colombia cuentan con estrategias para incentivar el uso de la bicicleta. Dentro de los ejemplos exitosos cabe mencionar la infraestructura de ciclovías en Bogotá y el sistema público de bicicletas en Medellín. Otras iniciativas, asociadas con sistemas de transporte masivo en mayor medida, son los sistemas públicos de bicicletas en las estaciones de buses y el uso de bicitaxis como modo de alimentación a los sistemas. Adicionalmente, están la oferta de parqueaderos privados y la delimitación de zonas en donde se restringe el uso de automotores. Estas medidas en las diferentes configuraciones posibles, hacen parte de las principales opciones que sugiere la literatura para promover la participación de modos activos dentro del transporte urbano [8,9].

El Gobierno Colombiano está en el proceso de formulación de una Acción Nacionalmente Apropriada de Mitigación (NAMA) en transporte activo y gestión de la demanda, para lo cual realizó diferentes ejercicios de priorización de medidas para promover el uso de la bicicleta [10]. Dichos resultados, así como los lineamientos establecidos en el actual Plan Nacional de Desarrollo [3], fueron la base para seleccionar las medidas a incluir en este estudio.

2.2. Construcción de indicadores

Para cada medida se proponen dos indicadores. El primero, es un indicador de atracción de viajes y está definido como $\frac{v_m}{i_m}$. El numerador es el número de viajes atraídos hacia la bicicleta con una acción m , y el denominador es una unidad que representa el grado de implementación del proyecto de interés (v.g., km de ciclovía, número de parqueaderos). Los potenciales de atracción de viajes para cada una de las medidas se estimaron usando información sobre el desempeño de proyectos a nivel nacional.

El segundo indicador corresponde a la de reducción de emisiones de CO₂ ($e_{CO_2,m}$) por cada viaje sustituido (v_m), definido como: $\frac{e_{CO_2,m}}{v_m}$ (ver Ecuación 1). Las emisiones de CO₂ evitadas son función de la proporción (p_i) de viajes de diferentes modos (i) reemplazados, de la intensidad de carbono de dichos viajes que ahora son atraídos hacia la bicicleta ($\frac{CO_2}{\text{pax-km}}_i$), y de la distancia de los viajes sustituidos (d_i):

$$e_{CO_{2,m}} = v_m \cdot \sum_i p_i \cdot \left(\frac{CO_2}{pax-km} \right)_i \cdot d_i \quad (1)$$

La información acerca de la proporción de viajes de otros modos que son sustituidos por el uso de la bicicleta, no hace parte de las variables típicas recolectadas para la caracterización de los sistemas de transporte urbano. Dado que son variables no observables, se requiere de otros instrumentos para obtenerlos, como por ejemplo de encuestas de preferencias declaradas o de modelos del comportamiento de los usuarios de bicicletas, aunque estos últimos no permiten hacer una diferenciación por cada tipo de medida [6]. En este estudio, los valores utilizados acerca de la proporción de los viajes que se atrae de cada modo con la implementación de las medidas evaluadas son representativos de proyectos previos en Bogotá y Río de Janeiro [11].

La intensidad de carbono para los diferentes modos de transporte es representativa de la flota vehicular colombiana. Por categoría vehicular ésta se presenta clasificada en dos grupos de ciudades, según su tamaño. De acuerdo a la población se definió ciudad grande como aquella con más de un millón de habitantes e intermedia como aquella ciudad con tamaño de población entre 300 mil habitantes y un millón. Los valores de intensidad de carbono se obtuvieron de los registros de proyectos que hacen parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y por lo tanto ya han sido sometidos a procesos de validación y verificación [12-16]. Finalmente, los supuestos sobre la longitud de los viajes reemplazados por viajes en bicicleta se obtuvieron de estudios locales.

Para cada medida de promoción del uso de la bicicleta, las emisiones evitadas de CO₂ en un periodo (*t*) se estiman haciendo uso de los dos indicadores según la Ecuación 2:

$$E_{CO_{2,i,t}} = \sum_m \left(i_m \cdot \frac{v_m}{i_m} \cdot \frac{e_{CO_{2,m}}}{v_m} \right) \quad (2)$$

En donde $E_{CO_{2,i,t}}$ representa las emisiones evitadas debido a los viajes atraídos por cada tipo de medida. Éstas se calculan según el nivel de implementación (i_m) de la medida (v.g., km de ciclovía, número de biciparqueaderos), el indicador de viajes atraídos hacia el uso de la bicicleta y las emisiones de CO₂ evitadas por cada viaje sustituido según el tipo de medida.

2.3. Casos de estudio

Se seleccionaron las ciudades de Villavicencio (ciudad intermedia) y Cali (ciudad grande) para estimar la reducción de emisiones de CO₂ derivadas de proyectos de transporte en bicicleta. El impacto en disminución de emisiones se evaluó comparando dos escenarios. Un escenario de línea base, el cual representa las emisiones de CO₂ si la distribución modal continuara con la tendencia observada en los últimos años. Es decir, si continuara incrementándose la participación del transporte privado y se redujera la del transporte público. El escenario con proyectos, supone que se logra la meta de 10% de participación de la bicicleta en los viajes diarios en 2030.

Tabla 1.
Supuestos sobre distribución modal en el escenario de línea base.

Modo	Supuesto
Transporte privado: motocicletas y vehículos particulares	La participación de estos modos al 2030 crece a la misma tasa anual equivalente con la cual éstos crecieron en el periodo 2005-2014, según el consolidado nacional del observatorio Ciudades Cómo Vamos [21].
Transporte público	Su participación decrece a la misma tasa anual equivalente reportada para el transporte público durante el periodo 2005-2014, según el consolidado nacional del observatorio Ciudades Cómo Vamos [21].
Taxis y otros	Se supuso constante su participación en la distribución modal durante todo el periodo de análisis.
Modos no motorizados: bicicleta y caminata	La participación de los modos no motorizados decrece para compensar el aumento de los viajes en modos privados, y la reducción de los que se hacen en transporte público.

Fuente: los autores.

La construcción de los escenarios parte de la proyección de viajes al año 2030 según el crecimiento de la población en cada ciudad. La información sobre partición modal se tomó de la Encuesta de Movilidad de 2015 para Cali [17] y del Plan de Movilidad de Villavicencio [18]. Las proyecciones de población son las del Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia (DANE) [19], y las tasas de movilidad son de la Encuesta de Movilidad de Cali [17] y estimaciones locales para Villavicencio [20]. De este último estudio también se obtuvo la proyección de las tasas de movilidad para cada ciudad [20]. Los supuestos utilizados para estimar la distribución modal al año 2030 se presentan en la Tabla 1.

Tabla 2.
Proyectos evaluados por ciudad y definición de metas al 2030.

Medida	Unidad	Capacidad adicional 2030	
		Ciudad Intermedia	Ciudad Grande
1. Sistemas públicos de bicicletas	Número de bicicletas	500	8,000
2. Construcción de cicloinfraestructura (ciclorrutas y biciclarriles)	Km de ciclorrutas	200	450
3. Construcción de biciparqueaderos privados	Cupos de biciparqueaderos	500	7,000
4. Construcción de biciparqueaderos en estaciones de transporte público	Cupos de cicloestacionamientos	200	12,000
5. Formalización y promoción de bicitaxis	Bicitaxis	0	5,000
6. Delimitación de áreas calmadas	Km ² con tráfico pacificado	0.3	1.5

Fuente: los autores.

Tabla 3.
Indicadores de atracción de viajes hacia la bicicleta por tipo de medida.

Medida	Valor	Unidades
1. Sistemas públicos de bicicletas Construcción de	10	viajes/bicicleta - día
2. cicloinfraestructura (ciclorrutas y bicicarriles)	455	viajes/km de infraestructura - día
3. Construcción de biciparqueaderos privados	2	viajes/por espacio - día
4. Construcción de biciparqueaderos en estaciones de transporte público	2	viajes/por espacio - día
5. Formalización y promoción de bicitaxis	40	viajes/por bicitaxi - día
6. Delimitación de áreas calmadas	10%	porcentaje: incremento en viajes

Fuente: los autores a partir de: Medida 1 según [22]; Medida 2 según [24]; Medidas 3 y 4, supuestos realizados en este estudio; Medida 5 según [25]; Medida 6 según [26].

El escenario con 10% de participación de la bicicleta en los viajes urbanos, se construyó considerando la viabilidad de aplicar las medidas, tomando como referencia los planes locales de las ciudades. A partir de documentos de planeación de cada una se identificaron iniciativas específicas en transporte activo para los próximos años y se incorporaron al escenario. Así mismo se incluyeron otro tipo de iniciativas o acciones que ya se vienen implementando a nivel urbano en Colombia. A partir de estos proyectos y considerando la meta al 2030 en viajes en bicicleta, se dimensionaron las medidas según como se presenta en la Tabla 2.

Finalmente, se estimó el potencial anual de atracción de viajes y la reducción de emisiones de CO₂ para el portafolio de medidas seleccionado para cada ciudad, haciendo uso de los indicadores propuestos.

3. Resultados y discusión

3.1. Indicadores

Los indicadores de atracción de viajes corresponden a los presentados en la Tabla 3. Todos son representativos de proyectos locales, excepto para la medida de delimitación de áreas calmadas (Medida 6 en la Tabla 1) para la cual no se contaba con ejemplos a nivel nacional.

Las medidas implementadas en Colombia tienen indicadores de desempeño diferentes a los de medidas similares en otros países. Por ejemplo, para la Medida 1 sobre sistemas públicos de bicicletas, se utilizaron registros del Programa Encicla en Medellín [22]. Estos muestran que en promedio cada bicicleta del sistema es usada 10 veces por día. La tasa de uso en Medellín se ubica en el límite superior de tasas de uso registradas para sistemas norteamericanos y europeos. De acuerdo con los resultados de sistemas públicos de bicicletas en diferentes ciudades de países desarrollados, sistemas con un nivel de cobertura como el de Medellín, se caracterizan por una tasa de uso inferior a tres viajes por bicicleta al día [23].

Para caracterizar el potencial de atracción de viajes de la Medida 2, sobre construcción de ciclorrutas y bicicarriles, se utilizó información de Bogotá [24]. Según el estudio mencionado, una proporción de los viajes totales que se

hacen en bicicleta se hacen por infraestructura diseñada para este fin, mientras que otra proporción se hace por carriles mixtos, por lo que no todos los viajes en bicicleta pueden atribuirse a la construcción de infraestructura. Del estudio de uso de infraestructura para uso de bicicletas en Bogotá se obtuvo que en promedio se puede atribuir 455 viajes por cada kilómetro de ciclorruta construido. Metodologías de referencia para estimar el beneficio de construcción de ciclovías [11] podrían estar sobrevalorando su efecto, pues sugieren utilizar por defecto un indicador de 2,000 viajes atraídos por cada kilómetro de ciclorruta construido.

El éxito de una medida en la cantidad de nuevos viajes que atrae hacia el uso de la bicicleta depende de múltiples factores inherentes al contexto de cada ciudad (v.g., topográficos, tamaño, clima, cultura), al diseño y nivel de implementación de cada una, más a que su tipología. Es por esta razón que se considera más apropiado usar datos de ciudades colombianas siempre que exista información, respecto a usar datos de atracción de viajes de la literatura internacional, que en su mayoría corresponden a indicadores derivados de contextos de ciudades europeas o norteamericanas.

Los resultados sobre los modos de los cuales se atraen los viajes con las diferentes medidas para promover el uso de bicicleta se muestran en la Tabla 4.

Vale la pena resaltar que las medidas para promover transporte no motorizado pueden diseñarse para diferentes tipos de usuarios. Según los valores consignados en la Tabla 2, una medida como la de instalar parqueaderos de bicicletas privados (Medida 3) atrae una alta proporción de usuarios que en ausencia de la medida usarían transporte privado, mientras que los viajes que atrae una medida como la de proveer parqueaderos de bicicletas en estaciones de transporte público, principalmente está sustituyendo viajes que se harían en transporte público, como puede ser el caso de uso de la bicicleta para sustituir viajes que se hacen en buses alimentadores de sistemas de transporte masivo. En términos de reducción de emisiones de CO₂, es muy diferente sustituir por modos no motorizados un viaje que se realice en un automóvil cuya ocupación promedio es cercana a un usuario, que sustituir un viaje que se realice en un bus, con ocupación cercana al 100%.

Tabla 4.
Proporción de los viajes que se atraen de cada modo por medida.

Modos de donde provienen los viajes sustituídos	Medidas 1,2,4,6	Medida 3	Medida 5
Vehículos particulares	12%	41%	
Motocicleta	6%		
Taxis	6%	11%	10%
Bus público	48%	48%	40%
Bicicleta (nuevos viajes)	6%		
Caminando	24%		50%

Medida 1: sistemas públicos de bicicletas; Medida 2: construcción de cicloinfraestructura (ciclorrutas y bicicarriles); Medida 3: construcción de biciparqueaderos privados; Medida 4: construcción de biciparqueaderos en estaciones de transporte público; Medida 5: formalización y promoción de bicitaxis; Medida 6: delimitación de áreas calmadas.

Fuente: los autores a partir de: Medidas 1,2,4,6: modificado de [11]; Medida 3: [27]; Medida 5: supuesto de este estudio.

Tabla 5.
Intensidad de carbono por modo y tipo de ciudad.

Modo	g CO ₂ /pax-km	
	Ciudad intermedia ¹	Ciudad grande ²
Vehículos particulares	145	168 ± 31
Motocicleta	83	57 ± 16
Taxis	206	238 ± 115
Bus público	105	93 ± 40

¹Los valores corresponden a Pereira; ² La muestra incluye: Medellín, Cali, Bogotá, Barranquilla.

Fuentes: [12-16].

Tabla 6.
Longitud promedio de los viajes que se sustituyen.

Medida	Longitud promedio (km/viaje)	
	Ciudad intermedia	Ciudad grande
1. Sistemas públicos de bicicletas	4	4
2. Construcción de cicloinfraestructura (ciclorrutas y bicilarriles)	1.6	5.5
3. Construcción de biciparqueaderos privados	1.7	5.8
4. Construcción de biciparqueaderos en estaciones de transporte público	0.7	2.5
5. Formalización y promoción de bicitaxis	1.5	1.5
6. Delimitación de áreas calmadas	1.5	1.5

Fuente: los autores a partir de: Medida 1 según [29]; Medida 2 de [27] modificado con la relación del área urbana de las ciudades; Medida 4 de [30]; Medidas 5 y 6 según [25].

Estudios sobre atracción de viajes por la implementación de sistemas públicos de bicicletas en ciudades europeas muestran un amplio rango en cuanto a la proporción de viajes que se atraen desde otros modos. La tasa de sustitución de viajes de modos motorizados privados varía entre 4% (Berlín, Alemania) hasta 77% (Senigallia, Italia). Por su parte la proporción de viajes que se sustituye de transporte público está entre 8% (Barcelona, España) y 58% (Estocolmo, Suecia) [28]. El amplio rango en los valores se explica por características propias de cada ciudad, como por ejemplo la existencia y cobertura de los sistemas de transporte público, la densidad de estaciones de los sistemas públicos de bicicletas, el nivel de congestión y el tamaño de las ciudades [28].

En la Tabla 5 se muestra la intensidad de carbono para los diferentes modos de transporte. La intensidad de carbono depende por una parte de las características tecnológicas de la flota, como por ejemplo edad media de los vehículos, tipo de combustible que se utilice y si la flota cuenta con algún sistema de control de emisiones. Adicionalmente, la ocupación media de los vehículos también influye en los valores, dado que las emisiones se estiman para cada modo por pasajero. Son estas características, de flota y ocupación, las que generan diferencias en los valores reportados para cada tipo de ciudad.

La longitud de los viajes reemplazados por viajes en bicicleta se presenta en la Tabla 6. Los indicadores de reducción de CO₂ por tipo de ciudad y para cada medida se muestran en la Tabla 7. Los indicadores de CO₂ incorporan diferencias entre los dos tipos de ciudades, específicamente reflejan la longitud de los viajes y las características ambientales de la flota. Los resultados en emisiones evitadas

se basan en el desempeño que han tenido proyectos similares en el país, sin embargo, el potencial de mitigación total más allá de responder a la tipología de la medida, será el resultado del diseño y proceso de implementación. Por ejemplo, un proyecto de ciclo-infraestructura puede ser exitoso o no, dependiendo de cómo se construya, en dónde y a qué tipo de usuarios esté dirigido.

De los resultados que se presentan en la Tabla 7 se observa que el potencial de reducción de emisiones por la implementación de ciertas medidas es similar entre ambos tipos de ciudades, como es el caso de la construcción de sistemas públicos de bicicletas, el uso de bicitaxis y la delimitación de áreas calmadas. En el caso de medidas como la construcción de cicloinfraestructura y biciparqueaderos (públicos y privados), las diferencias en el potencial de reducción de CO₂ según el tipo de ciudad, se explica principalmente por las distancias promedio de los viajes, y en menor medida por el desempeño ambiental de la flota de los viajes sustituidos en cada caso.

En este estudio no se exploró la complementariedad entre medidas, ni entre políticas blandas y duras. Diferentes casos reportados en la literatura [11,31,32] muestran que el efecto de acciones coordinadas en transporte no motorizado con otros modos es de mayor beneficio que la implementación aislada.

3.2. Casos de estudio

Escenario de línea base: en el año base el 54% de los viajes en Cali se hicieron en modos de transporte sostenible (transporte público, caminata y bicicleta), mientras que en Villavicencio dichos modos representan el 62% del total. Para ambas ciudades, el escenario de línea base muestra que, si no se intensifican las políticas actuales de promoción del uso de modos sostenibles de transporte, en las próximas décadas serán los modos privados (vehículo particular y motocicleta) los que dominarán en los viajes urbanos (Fig. 1). Específicamente, se estima que la participación de la bicicleta en los viajes diarios en Cali pasa de 5.4% en 2015 a 1.1% en 2030. En Villavicencio los viajes en bicicleta pasan de representar 5.3% en el año 2012 a 2.3% en el año 2030.

Tabla 7.
Indicadores de reducción de emisiones de CO₂ por tipo de medida.

Medida	Emisiones evitadas (g CO ₂ /pax-día)	
	Ciudad intermedia	Ciudad grande
1. Sistemas públicos de bicicletas	333	323
2. Construcción de cicloinfraestructura (ciclorrutas y bicilarriles)	134	445
3. Construcción de biciparqueaderos privados	225	810
4. Construcción de biciparqueaderos en estaciones de transporte público	61	202
5. Formalización y promoción de bicitaxis	94	92
6. Delimitación de áreas calmadas	409	450

Fuente: los autores.

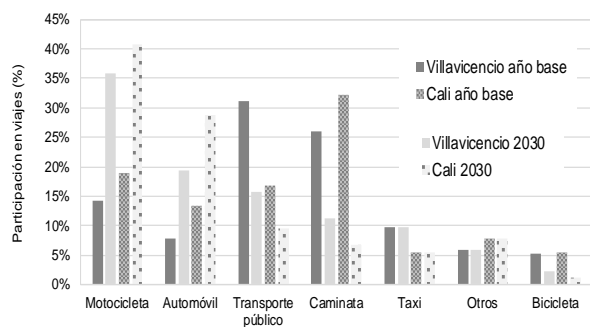


Figura 1. Participación modal para escenario de año base y año 2030.
Fuente: los autores.

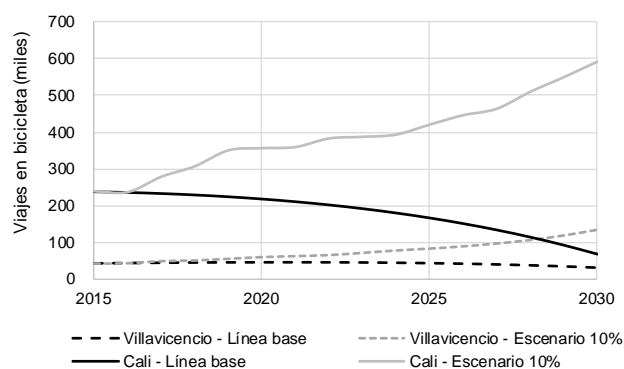


Figura 2. Número de viajes en bicicleta para escenario de año base y año 2030.
Fuente: los autores.

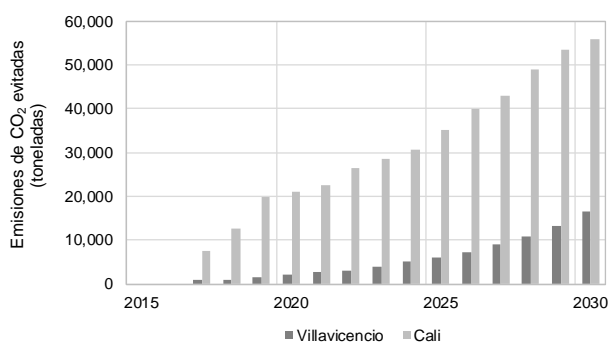


Figura 3. Emisiones anuales de CO₂ evitadas.
Fuente: los autores.

Escenario con 10% participación modal de la bicicleta en 2030: para Villavicencio se estimaron 104,205 viajes diarios adicionales en bicicleta en el año 2030, respecto al escenario base para el mismo año (ver Fig. 2). Para Cali se calculó un incremento en 526,871 viajes al día en bicicleta para cumplir la meta del 10% de participación modal. Para poner en contexto las cifras se cita el caso de Bogotá, en donde hoy en día se hacen alrededor de 450,000 viajes en bicicleta [33].

En términos de mitigación de emisiones con el incremento de viajes en bicicleta en una ciudad como Villavicencio se evitaría la emisión de 83,245 toneladas de CO₂ acumuladas entre 2015 y 2030, mientras que para una ciudad como Cali el potencial de reducción estimado es del orden 445,976 toneladas de CO₂ (ver Fig. 3). Esto es equivalente a reducir 2% de las emisiones acumuladas en el escenario de línea base entre 2015 y 2030. Entendiendo además que una meta de partición modal del 10% como la planteada para este ejercicio es ambiciosa para el contexto de ciudades colombianas.

4. Conclusiones

Se generaron indicadores para estimar la reducción de emisiones de CO₂ asociada a proyectos locales de promoción del uso de la bicicleta como modo de transporte urbano. Los indicadores se estimaron considerando las principales características demográficas y en movilidad de ciudades en Colombia. Los resultados muestran que el potencial de reducción de emisiones varía entre 92 gCO₂/viaje hasta 810 gCO₂/viaje, para las medidas evaluadas. La metodología propuesta es simple y flexible en cuanto a la facilidad de incorporación de nuevos y mejores datos en la medida en que las ciudades vayan contando con éstos. Los indicadores pueden ser utilizados para estimar potenciales beneficios en mitigación del cambio climático de estrategias en transporte no motorizado el contexto urbano de América Latina, en particular cuando es común que la información relacionada con la movilidad y su impacto ambiental, sea escasa, no estandarizada, y no sea recolectada de manera frecuente. Los indicadores aquí presentados ayudan a superar las barreras de información a las que se enfrentan los proyectos en su etapa inicial para acceder a mecanismos de financiación de cambio climático. Adicionalmente, éstos son consistentes con los objetivos de los sistemas de monitoreo, reporte y verificación en mitigación de emisiones GEI.

Se evaluó además el potencial de mitigación de emisiones de CO₂ asociado con una mayor participación de viajes en bicicleta en dos ciudades colombianas, una intermedia y una grande. Para estas ciudades incrementar de la partición modal de la bicicleta al 10% en el año 2030 conlleva una reducción del 2% de las emisiones respecto a la línea base. Si bien el potencial de mitigación de emisiones GEI es modesto, la versatilidad de las estrategias orientadas al transporte en bicicleta y su posibilidad de atracción de usuarios de diferentes grupos de la población y con diferentes patrones de movilidad, hace que este tipo de medidas tengan un gran potencial en el diseño de estrategias integrales de bajo carbono. El diseño de iniciativas en transporte activo, requiere del conocimiento de las prioridades y necesidades inherentes al contexto de cada área urbana, y sobre todo requiere que se diseñen como parte de estrategias completas en movilidad, y no como medidas aisladas.

Agradecimientos

La metodología presentada en este estudio fue desarrollada por los autores para apoyar la formulación de la NAMA TAnDem que lidera el gobierno colombiano con el

apoyo financiero de Programa Transfer de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ).

Las opiniones y conclusiones presentadas en este artículo son las de los autores y no representan necesariamente las de las entidades oficiales, ni financiadoras.

Referencias

- [1] Primer informe bienal de actualización de Colombia ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2015.
- [2] Cadena, A., Bocarejo, J., Rodríguez, M., Rosales, R., Delgado, R., Flórez, E., Espinosa, M., Lombo, C., López, H., Londoño, M., Palma, M. and Rodríguez, J., Upstream analytical work to support development of policy options for mid- and long-term mitigation objectives in Colombia, Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, 2016.
- [3] Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Todos por un nuevo país [en línea], Bogotá, Colombia, 2015 [Fecha de consulta 10 de febrero de 2017]. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Que-es-el-Plan-Nacional-de-Desarrollo.aspx>.
- [4] Colombia's INDC [en línea], United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC, Colombia, 2015 [Fecha de consulta 10 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Submission%20Pages/submissions.aspx>.
- [5] Plan de Acción Sectorial del Sector Transporte [en línea], Bogotá, Colombia, Ministerio de Transporte de Colombia, 2014 [Fecha de consulta 9 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=470:plantilla-cambio-climatico-26#planes-sectoriales-de-mitigacion>.
- [6] Massink, R., Zuidgeest, M., Rijnsburger, J., Sarmiento, O.L. and van Maarseveen, M., The climate value of cycling. Natural Resources Forum, 35, pp 100-111, 2011. DOI: 10.1111/j.1477-8947.2011.01345.x
- [7] Proyectos TIPO por sector. [en línea], Bogotá, Colombia, Departamento Nacional de Planeación – DNP, 2016 [Fecha de consulta 15 de febrero de 2017]. Disponible en: <https://proyectostipo.dnp.gov.co>.
- [8] Hoogzaad, J., Lee, A. and Greiner, S., MRV of cycling: measuring the carbon impact of bicycle policy and infrastructure [online] 2013. [date of reference: February 12th of 2017]. Available at: <http://www.climatefocus.com/publications/mrv-cycling-measuring-carbon-impact-bicycle-policy-and-infrastructure>.
- [9] Ríos, R.A., Taddia, A.P., Pardo, C. y Lleras, N. Ciclo inclusión en América Latina y el Caribe: guía para impulsar el uso de la bicicleta, Washington D.C, US, Banco Interamericano de Desarrollo, 2015.
- [10] Estimación ex-ante del potencial de mitigación de emisiones GEI y apoyo en el diseño del sistema de monitoreo, reporte y verificación de las medidas de mitigación de la NAMA de Transporte Activo en Bicicleta y Gestión de la Demanda (NAMA TAnDem), Bogotá, Colombia, GIZ-Transfer Program & Hill Consulting, 2016.
- [11] Hook, W., Reploge, M. and Hughes, C.K., Manual for calculating greenhouse gas benefits of global environment facility transportation projects, New York, US, Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environment Facility, 2015.
- [12] Clean Development Mechanism Project Design Document Form (Cdm-Pdd), BRT Transmetro, Versión 1.8 [online], Barranquilla, Colombia, United Nations Framework Convention for Climate Change - UNFCCC, 2011. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: <https://cdm.unfccc.int>.
- [13] Clean development mechanism project design document form (Cdm-Pdd), BRT Metroplús, Versión 1.3 [online], Medellín, Colombia, United Nations Framework Convention for Climate Change - UNFCCC, 2011. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: <https://cdm.unfccc.int>.
- [14] Clean development mechanism project design document form (Cdm-Pdd), TRANSMILENIO Phase II to IV, Version 6.2 [online], Bogotá, Colombia, United Nations Framework Convention for Climate Change - UNFCCC, 2012. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: <https://cdm.unfccc.int>.
- [15] Clean development mechanism project design document form (Cdm-Pdd), BRT MIO, Versión 2.0 [online], Cali, Colombia, United Nations Framework Convention for Climate Change - UNFCCC, 2012. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: <https://cdm.unfccc.int>.
- [16] Clean development mechanism project design document form (Cdm-Pdd), BRT Megabús, Versión 2.7 [online], Pereira, Colombia, United Nations Framework Convention for Climate Change - UNFCCC, 2012. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: <https://cdm.unfccc.int>.
- [17] Encuesta de movilidad Cali [en línea], Cali, Colombia, Alcaldía de Cali, Metrocali, Tranvías SAS, Steer Davies Gleave & Centro Nacional de Consultoría, 2015. [Fecha de consulta 10 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://http://www.metrocali.gov.co>.
- [18] Formulación del plan de movilidad para el municipio de Villavicencio, Villavicencio, Colombia, Alcaldía de Villavicencio & Universidad Nacional, 2013.
- [19] Proyecciones de población 2005-2020 [en línea], Bogotá, Colombia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, 2016. [Fecha de consulta 10 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.dane.gov.co>.
- [20] Acevedo, J., Bocarejo, J.P., Lleras, G., Echeverry, J.C., Ospina, G. y Rodríguez, A., El transporte como soporte al desarrollo de Colombia, una visión al 2040. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes, 2009.
- [21] Informe de calidad de vida comprado en 14 ciudades de Colombia, Bogotá, Colombia, Red de Ciudades Cómo Vamos, 2015, Boletín Número 6, ISSN: 1909-8545.
- [22] Movilidad y espacio público en Medellín [en línea], Medellín, Colombia, Medellín Cómo Vamos, 2014. [Fecha de consulta 8 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.medellincomovamos.org/movilidad-y-espacio-publico/>.
- [23] The bike-share planning guide [online], New York, Institute for Transportation and Development Policy, 2018. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/ITDP_Bike_Share_Planning_Guide.pdf
- [24] Fernández, L.A., La bicicleta, opción real de movilidad en Bogotá [en línea], Bogotá, Colombia, UN Periódico, 2009. [Fecha de consulta 10 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/la-bicicleta-opcion-real-de-movilidad-en-bogota>
- [25] Gómez, J., Los bicitaxistas se tomaron las calles de Bogotá: hay más de 5 mil [en línea], Bogotá, Colombia, Diario El Tiempo, 2010. [Fecha de consulta 10 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-8298040>.
- [26] Littman, T., Traffic calming benefits, costs and equity impacts, [online], Victoria, Canada, Victoria Transport Policy Institute, 1999. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: <http://www.vtpi.org/calming.pdf>
- [27] Pardo, C.F. Caviedes, A. y Calderón, P., Estacionamiento para bicicletas: guía de elección, servicio, integración y reducción de emisiones, Bogotá, Colombia, Despacio, Institute for Transportation and Development Policy, 2013.
- [28] Cycle more often 2 cool down the planet. Quantifying CO2 savings of cycling [online], Brussels, Belgium, European Cyclist's Federation, 2011. [Date of reference: February 10th of 2017]. Available at: https://ecf.com/sites/ecf.com/files/ECF_CO2_WEB.pdf
- [29] Ospina J.P., Definición de una metodología para el estudio de la accesibilidad bajo una estrategia de integración modal bicicleta y transporte público, Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Grupo de Investigación Vías y Transporte VITRA, 2015.
- [30] Elsner, L., Estudio exploratorio sobre el uso y calificación de usuarios de cicloparqueaderos en transmilenio, Bogotá, Colombia, Despacio, 2016.
- [31] Gerlach, J., Quantifying and monitoring GHG and CO-benefits of NMT and GDM measures (input document), Dresden, Germany, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ, 2015.
- [32] Scheepers, C.E., Wendel-Vos, G.C., den Broeder, J.M., van Kempen, E.M., van Wesemael, P.J.V. and Schuit, J.A., Shifting from car to active transport: a systematic review of the effectiveness of

interventions, Transportation Research Part A, (70), pp. 264-80, 2014.
DOI: 10.1016/j.tra.2014.10.015

- [33] Observatorio de movilidad - Reporte anual de movilidad 2015, Cámara de Comercio de Bogotá y Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, No. 9, 2015.

M. Espinosa, es Ing. Ambiental de la Universidad de los Andes, Colombia, actualmente estudiante de doctorado de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad. Tiene experiencia en modelación de emisiones de gases efecto invernadero en diferentes sectores, diseño de acciones de reducción de emisiones y análisis de costos marginales de mitigación. Sus intereses en investigación incluyen también temas relacionados con calidad del aire, exposición personal a contaminación atmosférica y externalidades ambientales generadas por el transporte.
ORCID: 0000-0001-7437-162X

J. Pacheco, es Ing. Ambiental de la Universidad de los Andes, Colombia, MSc. en Ingeniería Ambiental de la misma universidad. Ha trabajado como consultor en transporte sostenible desde agencias de cooperación internacional y entidades del gobierno como el Ministerio de Transporte de Colombia. Actualmente se desempeña como asociado en la firma consultora Hill Consulting S.A.S donde lidera los temas de cambio climático y transporte. Sus intereses de investigación comprenden la calidad del aire, la contaminación auditiva, la movilidad activa y los inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.
ORCID: 0000-0002-0668-5288

J.F. Franco, es Ing. Químico de la Universidad Nacional de Colombia, con MSc. en Ingeniería de la Universidad de los Andes, Colombia, donde además cursa el programa de doctorado en ingeniería. Cuenta con experiencia como profesor, investigador y consultor en control de la contaminación atmosférica, mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) y gestión de la sostenibilidad urbana. Sus intereses incluyen la participación en proyectos de investigación transversales orientados a generar soluciones sostenibles a través de proyectos de alto impacto en la comunidad y la formulación de políticas públicas.
ORCID: 0000-0002-7260-8221



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Medio Ambiente

Oferta de Posgrados

Especialización en Aprovechamiento de
Recursos Hidráulicos

Especialización en Gestión Ambiental

Maestría en Ingeniería Recursos Hidráulicos

Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo

Doctorado en Ingeniería - Recursos Hidráulicos

Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar

Mayor información:

E-mail: acma_med@unal.edu.co

Teléfono: (57-4) 425 5105