

# Movilizando el futuro de Colombia

XIII  
CCTT  
2019

XIII CONGRESO COLOMBIANO  
DE TRANSPORTE Y TRÁNSITO  
CARTAGENA DE INDIAS





# Movilizando el futuro de Colombia

XIII  
CCTT  
2019

XIII CONGRESO COLOMBIANO  
DE TRANSPORTE Y TRÁNSITO  
CARTAGENA DE INDIAS

---

Editores:

Andrés M. Vélez-Pereira

Daniel Toro González

Memorias

Cartagena de Indias, 26-28 de junio 2019

---

Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito (13: 2019: Cartagena de Indias)

XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito: Movilizando el Futuro de Colombia: memorias / editores  
Andrés Vélez Pereira, Daniel Toro González. - - Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2019

197 páginas

ISBN: 978-958-8862-63-7 (digital)

1. Ingeniería del tránsito 2. Transporte – Planificación 3. Ingeniería del transporte 4. Transporte –  
Investigaciones 5. Seguridad vial 6. Economía del transporte 7. Políticas de transporte urbano 8. Transporte  
urbano. I. Vélez Pereira, Andrés M. II. Toro González, Daniel

629.04

C749

CDD23

---

© Universidad Tecnológica de Bolívar  
Facultad de Economía y Negocios, Programa de Economía

© Facultad de Ingeniería, Programa de Ing. Ambiental

© Dirección de Investigaciones  
Ediciones Universidad Tecnológica de Bolívar

© Andrés M. Vélez-Pereira; Daniel Toro González (autores compiladores)

Primera edición: diciembre 2019  
ISBN: 978-958-8862-63-7 (digital)

Andrés M. Vélez-Pereira  
Facultad de Ingeniería, Programa de Ing. Ambiental  
6535200 ext. 731  
avelez@utb.edu.co  
[www.utb.edu.co/personal/andres-mauricio-velez-pereira](http://www.utb.edu.co/personal/andres-mauricio-velez-pereira)

Daniel Toro González  
Facultad de Economía y Negocios, Programa de Economía  
6535200 ext. 617  
dtoro@utb.edu.co  
<https://programas.utb.edu.co/personal/daniel-toro>

Ediciones Universidad Tecnológica de Bolívar  
Parque Industrial y Tecnológico Carlos Vélez Pombo Km 1, Vía Turbaco  
Cartagena de Indias, Colombia  
<https://www.utb.edu.co>

Revisión de estilo: Augusto Otero Herazo  
Carátula y diseño: Juan Leiva  
Diagramación: Andrés M. Vélez-Pereira y Juan Leiva

Cartagena de Indias, Colombia, 2019

Las opiniones y posibles errores en los trabajos presentados son de responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen a los compiladores de este libro ni a la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

# Favor citar

## Libro completo

---

### APA

Vélez-Pereira, A. M., & Toro González, D. (Eds.). (2019). *XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito. Movilizando el futuro de Colombia* (Primera). Cartagena de Indias: Pendiente editorial.

### Vancouver

Vélez-Pereira AM, Toro González D, editores. XIII Congreso colombiano de transporte y tránsito. Movilizando el futuro de Colombia. Primera. Cartagena de Indias: Pendiente editorial; 2019. Pendiente.

### Chicago

Vélez-Pereira, A M, y D Toro González, eds. XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito. Movilizando el futuro de Colombia. Primera. Cartagena de Indias: Pendiente editorial, 2019.

---

## Un resumen o contribución

---

### APA

Buriticá Cortés, J., Guerra Penagos, G., & Lleras, G. (2019). Análisis de la variación de factores de expansión de demanda en el componente zonal del SITP de Bogotá. En A. M. Vélez-Pereira & D. Toro González (Eds.), *XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito. Movilizando el futuro de Colombia* (Primera, p. 3). Cartagena de Indias, Colombia: Pendiente editorial.

### Vancouver

Buriticá Cortés J, Guerra Penagos G, Lleras G. Análisis de la variación de factores de expansión de demanda en el componente zonal del SITP de Bogotá. En: Vélez-Pereira AM, Toro González D, editores. XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito Movilizando el futuro de Colombia. Primera. Cartagena de Indias, Colombia: Pendiente editorial; 2019. p. 3.

### Chicago

Buriticá Cortés, J, G Guerra Penagos, y G Lleras. «Análisis de la variación de factores de expansión de demanda en el componente zonal del SITP de Bogotá». En XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito. Movilizando el futuro de Colombia, editado por A M Vélez-Pereira y D Toro González, Primera., 3. Cartagena de Indias, Colombia: Pendiente editorial, 2019.

---

## Instrucciones para la visualización de libro electrónico en formato PDF

### Atajos de teclado

Utilice los atajos de teclado para una visualización más efectiva del libro electrónico.

Ctrl + L

Visualización a pantalla completa

Ctrl+0 (cero)

Visualización de página completa

Ctrl + +/-

Aumentar o reducir visualización

Ctrl + BarSpace

Zoom de una zona determinada

Recuerde que la tabla de contenido es interactiva y lo llevará al numeral que desee haciendo clic sobre éste.  
Información bibliográfica del libro y referencia

## Organizadores:

---

Daniel Toro González	Universidad Tecnológica de Bolívar	Presidente
Víctor Cantillo	Universidad del Norte	Presidente de la Red Académica de Movilidad

---

## Comité organizador

---

Andrés Vélez	Universidad Tecnológica de Bolívar
Tania Jiménez	Universidad Tecnológica de Bolívar
José Luis Villa	Universidad Tecnológica de Bolívar
María Claudia Peñas	Cartagena Cómo Vamos

---

## Comité logístico

---

Catherine González	Universidad Tecnológica de Bolívar
Heidy López	Universidad Tecnológica de Bolívar

---

## Comité Científico

### *Externo*

Álvaro Rodríguez Valencia	Universidad de los Andes
Johanna Amaya-Leal	Iowa State University
Yenis López Esalas	Universidad del Magdalena
Andrés Escobar	Universidad de Cartagena
Julián Arellana Ochoa	Universidad del Norte
Darío Hidalgo	Despacio
Cristian Erik Vergel Tovar	Universidad del Rosario

### *Interno, Universidad Tecnológica de Bolívar*

Andrés Vélez  
Tania Jiménez  
Jaime Acevedo  
Juan Camilo Oliveros  
Juan Carlos Martínez  
Jairo Serrano  
Javier Campillo  
Jose Soto

## Organizadores



## Entidades Aliadas



# Contenido

<b>Economía del transporte</b>	<b>15</b>
Análisis de la variación de factores de expansión de demanda en el componente zonal del SITP de Bogotá	17
Análisis econométrico agregado de la elección de puerto, considerando el tipo de producto: una aplicación para las zonas portuarias colombianas	18
Bici, moto y carro: modelación de tenencia de vehículo particular en Colombia Costo económico de la congestión en estaciones del sistema Transmilenio	19
Cofinanciación de inversión en flota: una propuesta para avanzar hacia la sostenibilidad de los Sistemas Estratégicos de Transporte Público	20
Costo económico de la congestión en estaciones del sistema Transmilenio	21
El costo social de un transporte urbano ineficiente: una aproximación numérica al caso de Lima Metropolitana	22
Factores que influyen en la selección modal del taxi y servicios de <i>ridesourcing</i> en Bogotá	23
Modelo microeconómico para la valoración de externalidades asociadas al tiempo de entrega de ayuda humanitaria en desastres naturales	24
Política de demanda de estacionamiento para motos en la ciudad de Medellín, Colombia	25
Potencial de recaudo por el cobro de peajes de motocicletas en Colombia	26
<b>Infraestructura del transporte</b>	<b>27</b>
¿Dobles calzadas o carreteras 2+1?	29
Análisis comparativo de accesibilidad media global y redundancia en paradas de autobús. Caso de estudio: Manizales, Colombia	30
Análisis de alternativas de sistemas de tracción para el Ferrocarril de Antioquia	31
Análisis de capacidad en paraderos del SITP	32
Análisis histórico de accesibilidad a la infraestructura vial en Colombia	33
Aspectos metodológicos del componente de movilidad de planes de ordenamiento territorial en Colombia	34
Caminar en Bogotá: las cuentas 2017	35
Ciclo-inclusión: lecciones de los Países Bajos para Colombia	36
Estudio de navegabilidad del río Curaray-Ecuador para transportar habitantes de las etnias Waoranis a su comunidad amazónica de Toñampari	37
Evaluación de la infraestructura ciclista en la ciudad de Medellín	38
Examinando la relación entre la seguridad vial y el espacio construido en Bogotá, Colombia	39
Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas	40

# Contenido

Identificación de las características que deberían intervenir en la asignación de los cobros en los peajes de las vías de Colombia	41
Metodología multicriterio para cuantificar la operación de una red de infraestructura para ciclistas en áreas urbanas (El caso de Bogotá D.C.)	42
La bicicleta como medio de transporte: estrategia 2019-2030 para Bucaramanga y su área metropolitana	43
Una aproximación al diseño de ciclo-infraestructura a partir de las percepciones	44
<b>Modelación y sistemas inteligentes de transporte</b>	<b>45</b>
Addressing Endogeneity in Strategic Mode Choice Models	47
Análisis integral del efecto que tienen variables latentes y tangibles en el uso de la bicicleta para viajes al trabajo en Bogotá	48
Avances en el uso de analítica de video para realizar aforos automáticos que permitan el conteo y la caracterización de los usuarios en un sistema de transporte masivo	49
Metodología para estimar Matrices OD en sistemas tipo BRT a partir de las tarjetas de pago: ¿y si no eliminamos los viajeros con una sola transacción?	50
Improvement in the accuracy of traffic conflicts simulation through calibration of gap acceptance parameters based on field-observed conflicts	51
Interoperabilidad del recaudo electrónico vehicular de la tasa de peaje: una perspectiva de derecho comparado	52
Metodología de convergencia y calibración de micromodelos de asignación dinámica	53
Modelando la movilidad urbana en la ciudad de Ibagué	54
Modelo de predicción de ruido producido por el tráfico vehicular urbano mediante redes neuronales artificiales	55
Percepción de las políticas públicas del transporte de carga urbano en Barranquilla, Colombia	56
Sistema inteligente para transporte público tipo SETP	57
<b>Modos generales y temas transversales al transporte</b>	<b>59</b>
Acoso sexual en el transporte público en Bogotá	61
Calidad de servicio de infraestructura para bicicletas: una aproximación desde las percepciones de los ciclistas	62
El impacto de los pronósticos de demanda en la gestión de capacidad de pista	63
Enfoque del modelo Sarima para pronóstico de pasajeros en vuelos nacionales en Colombia	64
Evaluación del estrato como variable sustituta del ingreso en modelos de transporte. Caso de estudio para Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla	65



# Contenido

La caminata como modo de transporte para las mujeres en 11 ciudades de América Latina	66
La estructura urbana del territorio y su incidencia en las dinámicas de movilidad. El caso del municipio de Funza - Cundinamarca	67
Las mujeres y el transporte en Bogotá: las cuentas 2018	68
Mantenimiento 4.0 en vehículos de transporte urbano: caso de estudio Volkswagen Gol	69
Mapa cognitivo peatonal sobre la calidad de servicio percibida en aceras urbanas	70
Medición de eficiencia aeroportuaria. El caso de aeropuertos privatizados colombianos	71
Modelación conjunta de la elección de aerolínea y hora de salida del vuelo con datos desagregados. Caso de estudio para Medellín, Colombia	72
Potencial de implementación de estrategias de espacio compartido como aporte a la movilidad sostenible en Medellín	73
Prognosis de tráfico aéreo mediante DLM (Dynamic Linear Models). Aplicación al caso del Aeropuerto de Bogotá-El Dorado	74
Pronóstico de la demanda de pasajeros aéreos en rutas principales nacionales y en contexto de liberalización. El caso de Colombia	75
<b>Planificación y políticas de transporte</b>	<b>77</b>
¿Por qué TransMilenio en Bogotá está en crisis?	79
Análisis de políticas públicas a partir de planificación por escenarios	80
Análisis de preferencias por infraestructura para bicicleta	81
Análisis del sistema de transporte público provisional bajo el marco de la implementación del sistema integrado de transporte público (SITP) en la ciudad de Bogotá, Colombia	82
Análisis preliminar de trazado, demanda y accesibilidad del futuro tren ligero de Trujillo en Perú	83
Análisis urbanístico y de movilidad para la definición de un área de cobro por congestión. Un caso de estudio en la ciudad de Medellín	84
Analizando la percepción de diferentes agentes de la logística urbana frente a políticas de transporte de carga en mercados emergentes	85
Definición y análisis de los parámetros en la generación de turnos conductor y asignación para empresas del SITP de Bogotá	86
Desarrollo de una metodología para establecer los parámetros de relación entre la infraestructura del transporte y las dinámicas de ocupación del suelo en Bogotá y la región	87
El Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá: un proyecto inconcluso al borde del colapso	88

# Contenido

Efectos de las actitudes en la selección modal durante un Día sin Carro en Bogotá en un contexto universitario	89
Estudio de la distribución modal y desarrollo de políticas de gestión de la demanda para disminuir la dependencia del vehículo privado: el caso del Politécnico de Milán	90
Evaluación de efectos del carro compartido en un entorno universitario	91
Facing congestion in urban areas: Developing Sustainable Mobility Plans for public and private companies in Bogotá	92
Horizontal and vertical equity in Accessibility to job and study opportunities: the case of Barranquilla and Soledad in Colombia	93
Impacto de la gestión de la velocidad en corredores arteriales en Bogotá, Colombia	94
Impacto del Día sin carro y sin moto en la universidad de Ibagué	95
Incidencias del portal de Usme de TransMilenio en el crecimiento urbano vertical de la localidad 5 de Bogotá	96
Influencia del transporte aéreo en la conectividad territorial. Caso de Colombia	97
Iniciativas del transporte de carga urbano para Barranquilla, Colombia	98
La nueva de alternativa de movilidad, el Carpooling Diagnóstico en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali	99
Localización, asignación y tarificación de estacionamientos en vía, considerando transporte de carga y de pasajeros	100
Logística de carga urbana: ¿qué piensan los ciudadanos del común?	101
Los motocarros como transporte público complementario. Propuesta de ajuste a la regulación en Colombia	102
Metodología para el diseño de servicios troncales y expresos del Sistema BRT (MIO) en Cali - Colombia	103
Modelación de la demanda de vehículos comerciales alimentados con fuentes de energía limpias	104
Modelos de elección de ruta/servicio en transporte público considerando diferentes fuentes de datos y variables de percepción	105
Modelos zonales de predicción de colisiones para una movilidad segura desde un enfoque proactivo, caso Medellín	106
Patrones de movilidad de caminantes en Bogotá y su relación con el territorio	107
Problemáticas para la prestación del transporte especial. Caso de estudio, transporte escolar público	108
Recomendaciones para el mejoramiento de planes de movilidad interna de campus universitarios suburbanos en el contexto colombiano	109

# Contenido

Revisión de la metodología de análisis del impacto socio económico y de calidad en la movilidad, en el proceso de implantación de una parada ferroviaria en ciudades de características urbanas similares a ciudades latinoamericanas	110
Propuesta metodológica para la evaluación de medidas de gestión de la demanda	111
Transformaciones urbanísticas en el área de influencia de las variantes de la red nacional de carreteras	112
Transporte ilegal en sectores en condición socioeconómica media alta en Bogotá D.C: del transporte ilegal al intercambio modal alternativo	113
<b>Seguridad vial</b>	<b>115</b>
¿Sirve de algo usar casco en bicicleta? Análisis para Bogotá	117
Análisis comparativo de modelos lineales y no lineales para la estimación de la velocidad operacional en curvas horizontales	118
Análisis de la relación espacial entre la morbimortalidad de peatones por siniestros de tránsito y los puentes peatonales en la ciudad de Santiago de Cali	119
Análisis de las variables geométricas y operacionales en la asignación de las velocidades de diseño en terreno ondulado	120
Caracterización de la accidentalidad vial en Bogotá, Colombia, a partir del empleo de modelos geoestadísticos (Periodo 2012 y 2015)	121
Cobertura y atención de los sistemas APH como componente de estudio de la siniestralidad vial en Bogotá. Caso de estudio: Hospital Occidente de Kennedy	122
Enfoque sistémico para la evaluación preventiva de la seguridad vial en el bicitaxismo	123
Estimación de la relación espacial entre los accidentes peatonales y la infraestructura vial y usos del suelo en Santiago de Cali	124
Estudio de velocidades específicas de curvas horizontales en terreno plano	125
Estudio de la motocicleta como vehículo de trabajo en el sector productivo de Bogotá	126
Evaluación del impacto de la disminución de la velocidad en la siniestralidad vial. Caso de estudio: vía principal de Bogotá	127
Límite seguro de velocidad urbana	128
Lineamientos de inspección de seguridad vial en entornos escolares para el desarrollo de un plan de seguridad vial en su componente de infraestructura para las Instituciones Educativas Oficiales Municipales IEOM (Preescolar, básica y Media). Estudio de caso: Municipio de Chía	129
Modelación logit binaria de la severidad de los accidentes de tráfico en las vías rurales del Atlántico, Colombia	130
Plan de Gestión de Velocidad de Bogotá: documento base	131
Priorización de infraestructura segura en corredores urbanos para usuarios vulnerables: evaluación multicriterio	132

# Contenido

Razones para el uso o no uso del carril exclusivo de motos. Caso experimental en Barranquilla	133
Relación entre las velocidades de diseño, operación y de señalización en vías rurales de dos carriles	134
<b>Tránsito y accesibilidad del transporte</b>	<b>135</b>
Accesibilidad de la bicicleta como medio de transporte a puestos de trabajo y estudio: análisis de equidad según distintos perfiles socioeconómicos	137
Análisis de accesibilidad a la provisión de ciclo-parqueaderos en equipamientos colectivos de Santiago de Cali	138
Análisis del impacto sobre la conectividad vial de las carreteras de cuarta generación concesionadas en Colombia	139
Aplicaciones móviles para el acceso al transporte público: caso de estudio del MOOVIT en Cartagena	140
Cálculo de penalidades por giro en los modelos de accesibilidad. Caso de estudio: Manizales, Colombia	141
Capacidad teórica en escaleras a partir de la caracterización de variables macroscópicas	142
Caracterización de personas con discapacidad dentro del sistema de transporte público en Santiago de Cali	143
Comparación de los patrones de viaje de dos poblaciones de bajos ingresos en la periferia de Bogotá – Aplicación de metodologías de estimación de coeficientes de forma desagregada	144
Comparación de penalidades por giro en modelos de accesibilidad. Caso de estudio: Manizales, Colombia	145
Evaluación de la accesibilidad al sistema de recaudo del sistema BRT Transmetro	146
Evaluación del desempeño de red urbana con múltiples cruces peatonales a media cuadra	147
Evaluación del tránsito en el tramo de la avenida Ciudad de Cali entre Avenida de Las Américas y La calle 13, con la micromodelación de la alternativa de un tren ligero	148
Evaluación de proyectos de vivienda gratuita en Colombia aplicando el método Housing + Transportation. Una mirada desde la accesibilidad y el transporte	149
Mapping the unmapped transit network of Bogotá, Colombia	150
Movilidad accesible e incluyente en Santiago de Cali	151
Optimización de la capacidad en glorietas semaforizadas	152
Propuesta metodológica para la evaluación de niveles de servicio peatonal en estaciones de transporte masivo. Caso del SITM-MIO de Cali	153

# Contenido

<b>Transporte multimodal y logística de mercancías</b>	<b>155</b>
A game theory approach for shippers and carriers considering Urban Consolidation Centers	157
Caso de aplicación de la técnica de análisis de componentes principales en el estudio del desempeño logístico de la altillanura colombiana	158
Freight generation zones development in cities	159
La bicicleta como aporte a la eficiencia logística del transporte de carga en la última milla	160
Medida de desempeño (indicador) multimodal de la operación de intersecciones semaforizadas	161
Road toll influence in the freight transport cost	162
<b>Transporte, ambiente y ciudad</b>	<b>163</b>
Análisis del impacto medioambiental a través de microsimulación en intervenciones urbanísticas y de movilidad: un caso de estudio sobre un corredor urbano de la ciudad de Medellín	165
Análisis y comparación del cambio de partición modal entre 2018 y 2019 del Día sin carro y sin moto en la ciudad de Ibagué	166
Buses padrones eléctricos, una tecnología viable para rutas en el sistema integrado de transporte de Bogotá	167
Data-driven Level of Traffic Stress: the case of Bogotá	168
Desarrollo orientado al transporte sostenible (DOTS) en ciudades intermedias. Caso estudio Tunja - Colombia	169
Diagnóstico del servicio de transporte operado por los tricimotos alrededor de los portales Suba y Américas en Bogotá	170
Diseño de un sistema de analítica para soporte a estudios de transporte urbano y salud: el caso de TransMiCable en Bogotá, Colombia	171
Diseño y optimización de un modelo matemático para el cambio de planes de los tiempos de reparto de los semáforos	172
Efecto de la localización de equipamientos sobre viajes peatonales en Bogotá	173
Equidad en función de la accesibilidad a la oferta de servicios de salud y al sistema de transporte	174
Estado del arte del uso de patinetas eléctricas (Scooters) como aporte a la movilidad en las ciudades	175
Estimaciones de impacto del día sin carro y sin moto en Ibagué sobre los patrones de movilidad en los años 2018 y 2019	176
Estudio de la operación de carga y mensajería con vehículos motorizados en la localidad de la Candelaria	177

# Contenido

Evaluación de las emisiones vehiculares de no escape de $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$ asociadas al sistema de transporte público de Santa Marta, Colombia	178
Experiencia de Ibagué como única ciudad colombiana beneficiaria de Euroclima+ para implementar un sistema de bicicletas públicas de pedaleo asistido	179
Factores determinantes para la selección de modo auxiliar para acceder a TransMilenio	180
Influencia del tráfico vehicular en el ruido ambiental del corredor turístico de la ciudad de Santa Marta	181
Informalidad en el transporte urbano: causas, caracterización y efectos en la movilidad de las ciudades. Caso de estudio: Neiva, Colombia	182
Mapeo colaborativo de transporte público urbano en Cartagena, Colombia	183
Percepción del usuario del sistema de bicicletas públicas de la ciudad de Tunja a partir de modelos de elección discreta	184
Propensión al uso de la bicicleta en Bogotá, Colombia	185
Representaciones mentales de palabras relacionadas con el transporte y el tránsito en personas con deterioro visual	186
Transporte activo: estudio de caso para Cajicá, Colombia	187
Transporte urbano y salud: el caso de TransMiCable en Bogotá, Colombia	188
Variables macroscópicas en plataformas – Caso TransMilenio, Bogotá, Colombia	189
<b>Índice de autores</b>	<b>191</b>

# **Economía del transporte**

---





## Análisis de la variación de factores de expansión de demanda en el componente zonal del SITP de Bogotá

Autores: J Buriticá Cortés<sup>1\*</sup>, G Guerra Penagos<sup>1</sup>, G Lleras<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Steer, Colombia

La estimación de demanda de los sistemas de transporte es fundamental para los procesos de planeación y diseño operacional, estimación financiera, dimensionamiento de infraestructura y tamaño de flota, entre otros. Usualmente, la base para la estimación de la demanda total al día se basa en los valores obtenidos en la hora de máxima demanda, o en el mejor de los casos, demanda en la hora pico de la mañana, hora valle y hora pico de la tarde. En cualquiera de los casos, esta demanda se proyecta con base en factores de expansión. El objetivo de este trabajo es analizar el impacto e información que se puede obtener a partir de variaciones en el cálculo de los factores de expansión, tomando como ejemplo el componente zonal del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá. Este trabajo se realizó partiendo de los datos históricos de validaciones en el SITP para el año 2017 y a través de él se generaron factores de expansión por ruta, Zona del SITP y valor global del sistema. De los resultados obtenidos se pudo observar que el comportamiento de la demanda es significativamente diferente por zonas de la ciudad, así como por tipo de ruta, lo cual sugiere un diseño operacional que considere el comportamiento de la ciudad, no sólo por franja horario, sino también por ubicación. Adicionalmente, se observan cambios drásticos en la demanda de ciertas rutas en la mañana y en la tarde, que pueden sugerir problemas de evasión y/o comportamientos de viaje atípicos que pueden ser incluidos en la programación de rutas. El análisis resalta la importancia de la correcta estimación de los factores de expansión y cómo el análisis detallado de los mismos puede ser un insumo para la planeación del transporte y no únicamente como un factor multiplicador.

---

\*jessica.buritica@steergroup.com

## Análisis econométrico agregado de la elección de puerto, considerando el tipo de producto: una aplicación para las zonas portuarias colombianas

Autores: J Cantillo<sup>1</sup>, V Cantillo<sup>2\*</sup>, J Arellana<sup>2</sup>, V A Cantillo<sup>3,4</sup>, O Mendieta<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. <sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. <sup>4</sup>Proyectos Técnicos LTDA, Barranquilla, Colombia

Entender los factores que determinan la elección de los puertos es crucial para propósitos de planificación. El tema de la elección de puerto se ha estudiado de manera amplia en la literatura empleando generalmente información desagregada. Sin embargo, los modelos desagregados no permiten realizar estimaciones de demanda en términos de las toneladas de carga movilizadas, lo cual es importante para las autoridades portuarias en la toma de decisiones administrativas y financieras. Por otro lado, en algunos casos, conocer la estimación de las toneladas futuras que se movilizarán por puerto no es suficiente, ya que el tipo de producto movilizado tiene un rol muy importante en la decisión, lo que se explica en el hecho de que los puertos necesitan diferentes tipos de instalaciones dependiendo del producto que vayan a movilizar. Esta investigación propone una metodología para estimar modelos econométricos de elección de puerto separados para importaciones y exportaciones, utilizando información agregada. Estos consisten en modelos de elección discreta de la familia logit que incluyen constantes asociadas al tipo de producto y a cada puerto en específico. La propuesta metodológica implica conocer el registro absoluto de transacciones de importaciones y exportaciones para cada uno de los productos considerados en un período de tiempo en particular, con el objetivo de poder realizar estimaciones de las toneladas movilizadas para cada tipo de producto y por puerto. Una de las hipótesis de esta investigación radica en que es posible estimar modelos de elección de puertos consistentes con la teoría microeconómica, basándose en la teoría de la utilidad aleatoria. Además, la investigación asume que las variables relacionadas con costos y niveles de servicio son las más relevantes para la elección de puerto. La metodología fue aplicada al caso colombiano utilizando el registro absoluto de un año de transacciones de importaciones y exportaciones de diferentes tipos de producto, considerando las zonas portuarias más importantes del país que se encuentran en constante competencia. Los resultados indican que la frecuencia de las líneas navieras, el tiempo de tránsito y las tarifas de fletes son significativas para la elección de puertos. Además, se encontró que la disposición al pago por reducir el tiempo de tránsito en importaciones fue un poco más alta que en exportaciones, mientras que por el contrario, la disposición al pago por un incremento marginal en la frecuencia de líneas navieras fue un poco más alta en las exportaciones. Sin embargo, las diferencias no fueron suficientemente significativas como para derivar conclusiones más detalladas. Se estimaron elasticidades y se encontró que los mayores valores se observan en las elasticidades directas, lo cual es resultado del hecho de que los puertos son servicios sustitutos. Además, las elasticidades indicaron que la elección de puerto es sensible a un cambio en el tiempo de tránsito y en las tarifas de fletes, siendo esta última la variable más importante en la elección por sus altas elasticidades. Por último, la competitividad de los puertos fue simulada utilizando los modelos estimados y considerando la implementación de algunos escenarios de políticas. Estos resultados pueden ser importantes para propósitos de planificación por parte de las autoridades locales portuarias.

\*victor.cantillo@uninorte.edu.co

## Bici, moto y carro: modelación de tenencia de vehículo particular en Colombia

Autores: D Toro González<sup>1</sup>, A Aleán-Romero<sup>1\*</sup>, V Cantillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Colombia

En los países en desarrollo los vehículos a motor son uno de los principales emisores de contaminantes del aire y de gases de invernadero. Así, existe un creciente interés en políticas públicas en transporte que ayuden a controlar no solo la congestión vehicular sino también los niveles de emisión, incentivando el uso de modos de transporte más limpios y eficientes. En el presente trabajo hacemos una caracterización de la tenencia de vehículo privado de los hogares colombianos, con cuatro alternativas posibles, a saber, ningún vehículo, bicicleta, motocicleta y automóvil. Es claro que mejorar nuestro entendimiento de la demanda por vehículos es un ingrediente central en la formulación de políticas públicas de movilidad. Para explicar la tenencia de vehículo estimamos un modelo logit multinomial mixto no lineal, utilizando datos de la Gran Encuesta Integrada de Hogares del 2017. La no linealidad del modelo resulta de condicionar las variables explicativas a nivel individual sobre un parámetro que representa la influencia o poder que cada agente tiene en la revelación de las preferencias de su hogar. Este parámetro puede a su vez formularse como una función de las características de los miembros del hogar o, alternativamente, como un efecto aleatorio con una distribución conocida. El segundo enfoque fue seleccionado en el presente documento, dada la disponibilidad de los datos. Los modelos mixtos permiten que las utilidades de cada alternativa estén correlacionadas, y así deshacerse del supuesto de independencia de alternativas irrelevantes. Con la descripción de los datos, al dividir la población total según su ingreso, se observan tendencias que hacen dudar de un futuro prometedor en términos del control de la congestión y la emisión de contaminantes en las ciudades colombianas. Como se espera, la propiedad de automóviles se concentra en el nivel de ingresos más alto, con una tasa de motorización de entre 600 y 700 vehículos por cada mil habitantes, mientras que los deciles más bajos de ingresos tienen entre 80 y 90 vehículos por cada mil habitantes, lo que claramente indica que el incremento en los ingresos tendrá un efecto negativo en la sostenibilidad futura de las ciudades colombianas, de no hacerse una transición eficiente hacia modos de transporte sostenibles. El modelo estimado predice una alta elasticidad ingreso de la demanda de automóviles. Este resultado hace necesario considerar la sostenibilidad en el crecimiento futuro de nuestras ciudades dado el aumento sostenido del ingreso observado en Colombia en las dos últimas décadas.

---

\*aaleanr@gmail.com

## Cofinanciación de inversión en flota: una propuesta para avanzar hacia la sostenibilidad de los Sistemas Estratégicos de Transporte Público

Autores: G Infante Malagón<sup>1\*</sup>, M A Castillo<sup>1</sup>, M Carvajal Benitez<sup>1</sup>, B F Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cal y Mayor – Colombia. <sup>2</sup>IKON Banca de Inversión - Colombia

A partir de la expedición de la Ley 1753 de 2015 se modificó el paradigma de autosostenibilidad de los sistemas de transporte público, reorientándose la política nacional hacia una condición de sostenibilidad de estos sistemas, formulándose adicionalmente mecanismos de financiación complementarios a la tarifa como el cobro por congestión, la contribución del sistema de estacionamiento, la participación en mecanismos de captura de valor y la constitución de fondos de estabilización o subsidios a la demanda. Dado que la implementación de estas medidas complementarias para la sostenibilidad depende en gran medida de la capacidad financiera y técnica de las entidades territoriales, no es sorprendente que las mismas hayan empezado a ser implementadas en ciudades con Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) y no así en ciudades con Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP), preservándose las dificultades que experimentan las ciudades intermedias para implementar sistemas de transporte público de altas especificaciones en condiciones de sostenibilidad financiera. En ese orden de ideas, y aprovechando la coyuntura actual de formulación de las bases para el nuevo Plan Nacional de Desarrollo, el presente estudio expone los resultados obtenidos durante la estructuración técnica, legal y financiera del SETP de Neiva, donde se exploraron nuevas medidas para facilitar la sostenibilidad financiera del servicio ante las precarias condiciones de demanda y las limitaciones técnicas y económicas del municipio para lograr implementar fuentes alternativas de financiación, dentro de las cuales se destaca la cofinanciación de inversiones en flota por parte del Gobierno Nacional, a través de una recomposición de los documentos CONPES. Así, en el presente estudio se presenta el diseño operacional de flota y la comparación entre el escenario base y de cofinanciación de flota de los costos de inversión y su distribución en CAPEX, OPEX y costos financieros, los recursos requeridos para el fondo de estabilización y otras fuentes alternativas de financiación, así como la tarifa técnica del sistema; destacando que dicha comparación se presenta en términos relativos por la confidencialidad del modelo financiero estructurado. De acuerdo con los resultados obtenidos para el SETP de Neiva, la cofinanciación de la totalidad de la flota permitiría disminuir en un 75% el déficit financiero del sistema en un horizonte de operación de trece años y, por ende, los eventuales aportes que haría el municipio al fondo de estabilización o subsidio a la demanda, además de reducir en 20% el valor de la tarifa técnica del sistema. Adicionalmente, la cofinanciación de inversión de la flota mitigaría los riesgos de implementación del sistema y disminuiría la gradualidad del proceso, brindando a los usuarios un salto de calidad en la prestación del servicio en el corto plazo. Finalmente, se presentará la recomposición porcentual de metas físicas y económicas que implicaría incluir la cofinanciación de flota en el caso particular del CONPES de la ciudad de Neiva sin modificar el valor total del acuerdo, destacando el cambio de paradigma de una inversión histórica orientada hacia la infraestructura física, hacia una inversión orientada a garantizar una operación y un servicio de calidad y sostenible financieramente.

---

\*ginfante@calymayor.com.mx

## Costo económico de la congestión en estaciones del sistema Transmilenio

Autores: L Á Guzmán<sup>1</sup>, C A Beltrán<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Sostenibilidad Urbana y Regional-SUR, Universidad de los Andes, Colombia

La demanda del componente troncal del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en Bogotá creció de forma sostenida desde su inauguración hasta el año 2016. Este crecimiento no fue acompañado de un aumento en la capacidad instalada y operativa que permitiera mantener un servicio de calidad. Esto ha derivado en altos niveles de congestión en el sistema en las horas pico en las estaciones de cabecera y en estaciones intermedias cercanas a los centros de empleo de la ciudad. El objetivo de esta investigación es estimar la pérdida de bienestar de los usuarios del sistema en la hora pico en las estaciones más congestionadas y valorar su costo económico. Para lo anterior, se parte de la base de datos histórica 2010-2017 de validaciones de cada estación del componente troncal (fases 1 y 2) por periodos de media hora y de una capacidad teórica de usuarios de cada una de estas estaciones. Con base en este conjunto de datos se construye un indicador de congestión (id congestión), el cual es el cociente entre las validaciones de cada media hora de cada estación y su capacidad teórica. Teniendo en cuenta este indicador se identifica un conjunto de estaciones críticas (id congestión > 1.2), sobre las cuales se realizará el análisis, y sus respectivas horas de mayor congestión. Para calcular la pérdida de bienestar de los usuarios en la hora pico de cada una de estas estaciones se mide el efecto del aumento del indicador de congestión de cada estación sobre la proporción de entradas, con respecto al total diario, de cada periodo de media hora. Para lo anterior se estima un modelo de regresión para cada estación en el cual la variable independiente es el indicador de congestión de hora pico y la variable dependiente es la proporción de entradas de cada periodo. En segundo lugar, con base en los resultados de los modelos de regresión, se calcula el efecto de la congestión sobre el bienestar de los usuarios de la hora crítica de cada estación, controlando por el aumento natural de la demanda en la hora pico de cada estación analizada y el crecimiento porcentual promedio de la demanda en la hora pico predicho por el modelo. Teniendo en cuenta este resultado y una función de demanda para cada estación (estimada a partir de mediciones de elasticidades precio-demanda), se calcula la pérdida de eficiencia y el costo de la congestión en la hora crítica.

---

\*ca.beltran957@uniandes.edu.co

## El costo social de un transporte urbano ineficiente: una aproximación numérica al caso de Lima Metropolitana

Autores: P Ruiz González<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>CAF – Banco de Desarrollo de América Latina (Perú)

Que la inversión en infraestructura es un habilitador de desarrollo es una afirmación cada vez más repetida y aceptada entre especialistas, diseñadores de política pública, inversores y tomadores de decisiones. No en vano, si se entiende el crecimiento económico en función de la ecuación clásica del PIB, es relativamente sencillo concluir, conceptualmente, cómo la infraestructura –o la falta de ella– tiene un impacto potencial en todos sus términos: consumo, gasto público, inversión privada y exportaciones netas. Sin embargo, la medición numérica de los impactos económicos del transporte urbano casi nunca es intuitiva y por ello las cifras que relacionan inversión en infraestructura y desarrollo varían ampliamente en función de las fuentes que se consulten. Por otro lado, dichos valores suelen referirse a uno solo de los efectos, de manera aislada. En las principales ciudades latinoamericanas, la falta de eficiencia en el servicio de transporte urbano –entendida como la suma de altos costos y tiempos de desplazamiento junto con los efectos negativos de las externalidades– representa costos económicos y sociales de una magnitud tal que pueden ser representados en términos del PBI. Para realizar el análisis numérico, este artículo utiliza el caso de la ciudad de Lima, una de las más rezagadas en provisión de infraestructura de transporte urbano en América Latina y la capital de uno de los países con mejor desempeño macroeconómico reciente de la región. Basándose en estadísticas oficiales, encuestas recientes y modelos existentes previamente verificados, ofrece aproximaciones en términos de recaudación, productividad, costo de oportunidad, cambio climático, *informalidad de cercanía*, morbilidad y mortalidad, resultado de la baja calidad del transporte urbano en Lima Metropolitana. Hasta donde se ha podido investigar, representa el primer análisis que relaciona cuantitativamente la informalidad laboral con el transporte urbano. En la primera parte, se presentan las características demográficas, económicas, urbanas y de movilidad de Lima y se relacionan con hallazgos recientes, como el aumento de la pobreza por primera vez en más de una década. La segunda parte argumenta cómo las condiciones en las que los limeños deben movilizarse diariamente tienen un impacto en términos de tiempos, gasto y externalidades. La tercera parte considera cuatro consecuencias macroeconómicas principales –informalidad, deterioro de la capacidad de gasto, polución y mortalidad– y realiza una aproximación cuantitativa del costo que suponen a la sociedad. Finalmente, el artículo destaca conclusiones y ofrece recomendaciones de política pública.

---

\*pruiz@caf.com

## Factores que influyen en la selección modal del taxi y servicios de *ridesourcing* en Bogotá

Autores: J Cala<sup>1\*</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Consultant en Steer, Colombia. <sup>2</sup>Profesor Asistente en la Universidad de los Andes, Colombia

La aparición de las plataformas de *ridesourcing* ha generado múltiples protestas del gremio de taxis en ciudades como Londres, Nueva York, Barcelona, Madrid y Buenos Aires. El argumento principal para las protestas es que este tipo de servicios generan competencia desleal y condiciones de desventaja, y algunos autores incluso consideran que funcionan como un perfecto sustituto del tradicional servicio de taxi. En algunas ciudades en las que operan estos servicios, la industria del taxi optó por incluir nuevas tecnologías en su operación para aumentar su competitividad en el mercado. Sin embargo, a pesar de que estos servicios son similares, y por ende se presume que compiten, en la literatura no se encuentra evidencia que permita concluir si los usuarios de ambos servicios son los mismos o si las nuevas aplicaciones de *ridesourcing* atrajeron nuevos. Así mismo, no se encuentra evidencia sobre cuáles son los factores que determinan que una persona seleccione un modo u otro, por lo que las medidas adoptadas por las empresas de taxi se basan principalmente en querer asimilarse a las TNC y no en entender las características de sus usuarios. Esta investigación tiene como objetivo estudiar los factores que pueden influir en la selección entre taxi y Uber/Cabify de los usuarios bogotanos. Para este propósito se realizó una encuesta en línea a usuarios de taxi y de Uber en la ciudad, que incluye preferencias reveladas y declaradas. A partir de esta encuesta se realizó un modelo logit binomial para establecer qué factores son determinantes para los usuarios cuando van a seleccionar entre estos dos modos. Los resultados obtenidos indican que los factores que tienen mayor efecto sobre la decisión de los usuarios son el costo, el tipo de pago (en efectivo o tarjeta de crédito), y entre los factores socioeconómicos se encuentra que el nivel educativo aumenta la probabilidad de seleccionar Uber/Cabify frente al taxi. Los resultados de las estimaciones realizadas permiten confirmar que cuatro de los cinco atributos establecidos en la metodología como potenciales factores que afectan la selección modal resultaron ser significativos, siendo el tipo de acceso al servicio (en calle o vía aplicación) el único atributo no significativo. Por un lado, se evidencia que factores como el aumento del costo del taxi y el hecho de que Uber/Cabify se pueda pagar en efectivo aumentan la probabilidad de que una persona deje de seleccionar el taxi y prefiera el Uber/Cabify. Por el contrario, otros como el aumento de la tarifa de Uber/Cabify, el hecho de que el Taxi se pueda pagar en efectivo, el aumento en el tiempo de espera para tomar Uber/Cabify y el hecho de que sea de día, reducen la probabilidad de realizar el cambio de modo. De las características socioeconómicas de los usuarios, se evidencia que el tener un mayor nivel educativo influye positivamente sobre la probabilidad de dejar el Taxi y seleccionar el modo Uber/Cabify. Adicionalmente, se observa que el ser usuario frecuente de Taxi aumenta de forma significativa la probabilidad de elegir este modo y de no reemplazarlo por Uber/Cabify cuando los dos servicios presenten igualdad de condiciones. Este resultado puede explicarse por la posibilidad de que, al ser un modo más antiguo y tradicional, los usuarios tengan preferencias arraigadas sobre el mismo.

\*ja.cala2353@uniandes.edu.co



## Modelo microeconómico para la valoración de externalidades asociadas al tiempo de entrega de ayuda humanitaria en desastres naturales

Autores: I D Serrano Arrieta<sup>1\*</sup>, V Cantillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Costa, Barranquilla Colombia. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Barranquilla.

Para el correcto funcionamiento de modelos de logística humanitaria basados en la minimización de los costos sociales, se requiere la incorporación de funciones que capturen el valor económico del sufrimiento humano como una función del tiempo y las características socioeconómicas de los individuos: “*Deprivation cost functions*” (DCFs). Adicionalmente, para fines de evaluación social de proyectos es necesario incorporar los beneficios asociados a la entrega oportuna de suministros básicos y proporcionar información que pueda ser usada para un transporte oportuno en situaciones de emergencia. Por esta razón, en la presente investigación se exploran enfoques microeconómicos con especificaciones de modelos que incluyen variaciones sistemáticas como aleatorias sobre las preferencias de los individuos, con el objetivo de obtener una valoración desagregada del tiempo de carencia de insumos básicos, obteniendo así una medición más precisa de la externalidad. El instrumento utilizado para obtener la información requerida se basó en una encuesta de PD. Las encuestas se aplicaron entre los meses de septiembre y noviembre de 2014 a un total de 560 personas. En todos los casos, el perfil de los encuestados correspondió exclusivamente a personas independientes y jefes de hogar de diferentes zonas de Colombia, entre los que se destacan algunos municipios afectados por las inundaciones ocurridas en el sur del departamento del Atlántico entre los años 2010 y 2011 (Suan, Candelaria, Santa Lucía, Campo de la Cruz). También se aplicó la encuesta en la ciudad de Armenia, la cual fue impactada por el terremoto ocurrido en el Eje Cafetero en el año 1999, en algunos municipios afectados por las recurrentes sequías del norte del país (Sahagún) y poblaciones bajo continuo riesgo de inundación ubicadas a la rivera del río San Jorge (Caimito). Algunas de las principales capitales de la Costa Norte Colombiana (Barranquilla y Cartagena) también fueron incluidas. Las curvas de pérdida de bienestar estimadas pueden ser integradas a modelos de logística humanitaria como una aproximación econométrica a la DCF, con el objetivo de priorizar la atención y la entrega a tiempo de ayuda humanitaria. Igualmente puede ser utilizada como medida de la externalidad negativa generada por la entrega tardía de insumos básicos en contextos de desastres, para la evaluación social de pérdidas económicas resultado de eventos catastróficos sobre una comunidad.

---

\*iserrano1@cuc.edu.co



## Política de demanda de estacionamiento para motos en la ciudad de Medellín, Colombia

Autores: O E Arbeláez Arenas<sup>1\*</sup>, I Sarmiento Ordosgoitia<sup>2</sup>, J Córdoba Maquilón<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia-Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia-Colombia. <sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia-Colombia

A diciembre de 2018 en Medellín y su Área metropolitana habían matriculadas más de 828.000 motocicletas. La venta de este tipo de vehículos presenta un incremento año a año y según la encuesta origen y destino el número de usuarios de moto entre el año 2005 y 2017 creció 207%. Conforme aumenta el número de motocicletas aumenta la necesidad de estacionamientos, siendo el espacio público el más afectado por la incorrecta utilización de éste para atender la demanda de parqueo. Para atender la problemática de demanda de estacionamientos en 4 zonas críticas de Medellín (Poblado, Centro, Laureles y Estadio), se realizó un estudio de demanda que incluyó la estimación de la oferta de parqueo en las zonas de estudio, la calibración de modelos de elección para evaluar la disposición a pagar en las distintas zonas y se evaluaron indicadores de percepción producto del análisis de 12 grupos focales con distintos tipos de usuarios de la motocicleta. Se realizó un diseño eficiente para generar una encuesta de preferencias declaradas, la cual se aplicó mediante entrevista, usando computador. El tamaño muestral fue de 779 usuarios, quienes tienen como destino frecuente alguna de las zonas en estudio. Se estimaron modelos mixtos de elección discreta y se estimó en la fase predictiva el efecto del cobro por estacionamiento. Entre los resultados relevantes se cuenta que se incluyó una variable latente asociada a la percepción de la norma social, esta se construyó a partir de 13 indicadores, de los 18 medidos en escala de *likert*, los cuales mediante un análisis de componentes principales explicaban el 55% de la varianza total. Usando esta variable se especificó un modelo híbrido de elección discreta. Si bien estos modelos no deben ser empleados para predicciones, en este caso se usó un enfoque novedoso al aplicar la percepción de la norma social por un segmento de la población a los demás, esto tratando de medir el cambio en la demanda por una asunción del comportamiento de otros. Si bien el reto de lograr este tipo de cambios es territorio de la economía conductual y de la sociología, esta aproximación permite involucrar las variables latentes para el direccionamiento de políticas de transporte con dimensión social.

---

\*oearbela@unal.edu.co

## Potencial de recaudo por el cobro de peajes de motocicletas en Colombia

Autores: J D Heredia Castiblanco<sup>1\*</sup>, S C Mangones Matos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Las motocicletas están exentas del pago de peaje, de acuerdo con la normatividad vigente en Colombia. La implementación de una política de peajes para motos representa un aumento en el capital de inversión de recursos de la Nación para la financiación de proyectos de infraestructura de transporte, ya sea su mantenimiento, construcción u operación (incluyendo los servicios conexos como red de emergencias) con el propósito de contribuir al desarrollo del país. Para lo anterior, se realizó un estudio de peajes para calcular el potencial de recaudo de cobro de motocicletas durante el decenio 2017-2026, con el fin de determinar la disponibilidad de recursos que se podrían obtener por esta vía para financiar proyectos de transporte. El cálculo incluye un análisis de sensibilidad para el tratamiento de la incertidumbre de dos variables: el volumen de motocicletas (como una proporción del volumen de automóviles) y la relación media de pago de peaje (motos/automóviles). Adicionalmente, se definieron los escenarios más probables de acuerdo con un *benchmarking* basado en revisión de literatura y obtener el potencial de recaudo. De los 235 países analizados, 112 no cobran peaje a motocicletas, mientras 52 sí aplican dicho cobro (23 de ellos son miembros de la OCDE), el resto no cuentan con suficiente información para ser incluidos en el análisis. En aquellos países en que son cobrados, el valor para las motocicletas es en promedio el 70% de lo que pagan los automóviles. En algunos casos, como Japón, China, India y Australia, ambas tarifas son iguales. Los resultados de nuestro análisis indican que el potencial de recaudo de peajes en motocicletas oscila entre los 80.000 y 420.000 millones de pesos al año para un volumen entre el 10% y 30% y una tarifa entre el 50% y 90%, el equivalente en 10 años de dicho recaudo estaría entre el billón y los seis billones de pesos. La importancia de este tipo de recaudos en otros países es notable, pues existen al menos 52 países que lo han implementado. La revisión de experiencias evidenció además que la gran mayoría de los países que lo cobran tienen un Índice de Desarrollo Humano alto o muy alto. Un recaudo de entre un billón y 5.4 billones en el decenio 2017-2026 es una suma significativa de recursos para invertir en proyectos de transporte, que pueden ser usados en estructuración o mejora del servicio en los Sistemas de Transporte Público en todo el país.

---

\*jdherediac@unal.edu.co

# **Infraestructura del transporte**

---



## ¿Dobles calzadas o carreteras 2+1?

Autores: S J Guerra Gómez<sup>1\*</sup>, V G Valencia-Alaix<sup>2</sup>, J J Posada-Henao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <sup>2</sup>Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Uno de los criterios principales del diseño geométrico de vías es proporcionar la configuración geométrica que satisfaga la demanda de usuarios, y que a su vez garantice la funcionalidad, seguridad, comodidad, integración al entorno, estética y economía. Debido a condiciones y características cambiantes del tránsito, en cuanto a composición vehicular y crecimiento, la infraestructura vial no logra atender eficientemente ese incremento del tráfico, se afecta no solo la capacidad y movilidad de la zona, sino también las condiciones ambientales y de seguridad. Además, el tránsito de vehículos de carga genera problemas operacionales como las necesidades de adelantamiento que si no son atendidas adecuadamente producen condiciones de riesgos de accidentes y baja calidad de circulación. Con gran frecuencia la solución para enfrentar dicho problema es la construcción de dobles calzadas, que requieren tiempos y costos que no son claramente justificables, pudiendo no ser una alternativa viable que además puede generar impactos nocivos al medio ambiente. Por tanto, es importante considerar diseños alternativos que han demostrado, en ciertas condiciones, ser eficientes y competentes frente a las dobles calzadas, como es el caso de las carreteras 2+1. Estas vías están compuestas por tres carriles, dos en direcciones opuestas y un carril adicional para permitir el adelantamiento de los vehículos más lentos, principalmente los pesados, por los vehículos más rápidos, en uno y otro sentido de forma alternada. Los sentidos de circulación pueden estar demarcados con un separador, con barreras y otros elementos. El trabajo consideró datos operacionales de una carretera diseñada como doble calzada, pero construida parcialmente como carretera de dos carriles y con un carril de ascenso sobre la cual se simula diferentes escenarios que permiten comparar la operación vehicular bajo el efecto de configuración desde carretera convencional, 2+1 y multicarril. Finalmente, se presenta el análisis detallado de los resultados arrojados en la simulación de dichos escenarios, con base en variables de volumen de tránsito, porcentaje de camiones, zonas de adelantamiento, entre otras; los cuales darán soporte para definir valores umbrales para el análisis de la viabilidad operacional y económica de un diseño por etapas óptimo. Así mismo, en dicho análisis se tienen en cuenta condiciones críticas del tránsito y del entorno, entre ellas el tránsito de vehículos en malas condiciones, los problemas de seguridad que producirían volúmenes cercanos a la capacidad y la pérdida de control en condiciones resbaladizas, que se convierte en premisas a considerar en la operación de las carreteras 2+1. Adicionalmente, esto permite revisar los criterios de diseño establecidos y proponer nuevos criterios con mejor respaldo técnico para generar un tramo de carretera “2+1” en condiciones ventajosas frente a las dobles calzadas.

---

\*sjuerrag@unal.edu.co

## Análisis comparativo de accesibilidad media global y redundancia en paradas de autobús. Caso de estudio: Manizales, Colombia

Autores: J Montoya<sup>1\*</sup>, D A Escobar<sup>1</sup>, S Cardona<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional De Colombia, Sede Manizales

La oferta de transporte público juega un papel de gran importancia en el desarrollo y crecimiento de una región, facilitando el desplazamiento de los usuarios hacia los diferentes nodos de actividad primordiales en una localidad, entre estos, trabajo, recreación, educación, salud y seguridad. Por esta razón es importante hacer un análisis periódico de los sistemas. Muchos de estos análisis, sin embargo, se basan en la operatividad traducida en costos, dejando de lado la función de la cobertura de los usuarios. Es allí en donde ingresa la accesibilidad territorial como método de evaluación del nivel de cobertura generado por el sistema, que, al ser comparado con el modelo de redundancia, permite identificar sectores con carencia de acceso o sobre cobertura del servicio. La metodología de estudio se basa en el uso de la accesibilidad territorial de carácter global, complementada con modelos de redundancia en paradas de autobús, en los cuales se consideran elementos operativos como velocidad, frecuencia, número de rutas, pendiente topográfica. Con ellos, se puede determinar el nivel de impacto o cobertura poblacional y superficial de la región. Entre los principales resultados se encontró que el tiempo medio de viaje en transporte público para Manizales oscila entre 15 y 65 minutos y la redundancia percibida impacta de mayor forma en el centro de la ciudad. Se concluye que los sectores con mayor redundancia presentan los menores tiempos de desplazamiento.

---

\*joamontoyagonal.edu.co

## Análisis de alternativas de sistemas de tracción para el Ferrocarril de Antioquia

Autores: J D Pineda-Jaramillo<sup>1</sup>, I Sarmiento Ordosgoitia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia

El sector del transporte contribuye enormemente en el consumo energético mundial. Según datos de la Agencia Internacional de la Energía, el consumo energético promedio del sector en el año 2014 fue 2.627.02 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), siendo responsable del 27.87% del consumo. En cuanto al tipo de combustible utilizado, existe una fuerte presencia de los derivados del petróleo con una cuota del 92.36% del total, presentando un escenario pesimista en el tema medioambiental si no se reduce esta cifra. La reducción del consumo energético del tren, y de las emisiones asociadas, tanto de gases de efecto invernadero como de otros contaminantes, es una cuestión prioritaria para el ferrocarril. Buscando ser económicamente competitivos, se han llevado muchas estrategias a reducir el consumo energético en los trenes. Las más relevantes han sido el diseño de trazados ferroviarios con criterios de eficiencia energética, la mejora del material rodante, la aplicación de estrategias de ahorro energético en las operaciones y la implementación de diferentes tecnologías. En el campo de las diferencias tecnológicas, es esencial conocer el impacto económico, ambiental y en la operación de las diferentes tecnologías de tracción ferroviaria. El proyecto de rehabilitación del Ferrocarril de Antioquia busca poner en marcha, nuevamente, la línea que operó durante los últimos años del siglo XIX y gran parte del siglo XX, uniendo los municipios de La Pintada y Puerto Berrío, con el área metropolitana de Medellín como su punto medio. Este proyecto se ha dividido en tres tramos (tramo 1: La Pintada – Caldas; tramo 2: Caldas – Santo Domingo; tramo 3: Santo Domingo – Puerto Berrío), en donde los tramos 1 y 3 será exclusivamente para transporte de mercancías, mientras que el tramo 2 se proyecta como un Sistema Férreo Multipropósito (SFM), en el que se transportarán mercancías, pasajeros, y residuos sólidos urbanos hasta el relleno sanitario La Pradera, ubicado en el municipio de don Matías, norte del Valle de Aburrá. En este artículo se presenta un análisis multicriterio, incorporando factores ambientales y económicos de las diferentes alternativas de sistemas de tracción, que busca la mejor combinación posible para el proyecto de rehabilitación del Ferrocarril de Antioquia. La tracción eléctrica es superior en rendimiento, comodidad e impactos externos, pero requiere una inversión más alta. Sin embargo, para líneas ferroviarias congestionadas, esta inversión inicial es económicamente viable a partir de cierto nivel de tráfico, mientras que la tracción diésel-eléctrica es superior para líneas secundarias y de poco tráfico como las líneas de transporte de mercancías. Así pues, para el caso del Ferrocarril de Antioquia, es posible utilizar trenes diésel-eléctricos para transporte de mercancías (todos los tramos) y residuos sólidos urbanos (tramo 2), mientras que para el transporte de pasajeros (tramo 2), se recomienda implementar trenes eléctricos.

---

\*irsarmie@unal.edu.co

## Análisis de capacidad en paraderos del SITP

Autores: D A Arévalo Parra<sup>1\*</sup>

---

<sup>1</sup>Steer, Colombia

Dentro de la infraestructura requerida para la operación eficiente de cualquier sistema de transporte público, los paraderos juegan un papel de gran importancia ya que son los puntos de congregación de la demanda generada y atraída por el sistema. El Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá es un buen ejemplo de dicha operación, que en las horas de máxima demanda alcanza su mayor punto de capacidad, consecuencia de la demanda propia de usuarios y de la congregación de grandes cantidades de vehículos que integran las diferentes rutas del sistema. El objetivo de este trabajo es realizar el análisis de capacidad de los 38 paraderos del SITP del área urbana de Bogotá que mayor congestión presentan, identificando sus principales características operativas, y proponer alternativas de mejora a nivel de infraestructura y operación, que contribuyan a la optimización del servicio. Para cumplirlo se propone implementar una metodología de análisis basada en el Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP) de los Estados Unidos, la cual es ajustada a las condiciones del entorno urbano de Bogotá, partiendo de ajustes a datos y valores generales desarrollados mediante tomas de información en los 38 paraderos seleccionados. Los resultados muestran que muchos de los problemas operativos en los paraderos se explican por el incorrecto aprovechamiento de las áreas de carga de cada uno, así como la invasión de dichas áreas por vehículos ajenos al sistema. En algunos casos también obedecen a la sobreestimación de rutas que pueden llegar a albergar en horas de máxima demanda.

---

\*davidalejandro.arevalo@steergroup.com



## Análisis histórico de accesibilidad a la infraestructura vial en Colombia

Autores: J R Escorcía H<sup>1\*</sup>, R Camacho C<sup>1</sup>, J W Sanín<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Andes, Colombia

En el contexto del posconflicto, el gobierno de Colombia ha puesto especial interés en el desarrollo de la red nacional de carreteras, con el fin de facilitar el acceso a las zonas que han sido históricamente afectadas por el conflicto armado. Como reacción a esta iniciativa, se consideró necesario desarrollar un indicador de accesibilidad a la red vial, a través de un análisis histórico de la red nacional de carreteras, desde 1940 hasta la actualidad. Esto, con el fin de determinar cuantitativamente las zonas que históricamente han tenido acceso limitado o nulo a la red nacional de carreteras. En esta investigación se definió la accesibilidad como la distancia desde cualquier punto de interés hasta la carretera más cercana de la red nacional, considerando un factor de costo basado en la dificultad para el desplazamiento causada por los efectos del relieve y el uso del suelo. Para cuantificar un indicador que contemplara estos factores, se ejecutó un análisis espacial con sistemas de información geográfica (SIG). En este proceso se digitalizaron los mapas históricos de la red vial nacional para cada década del periodo de análisis, y se desarrolló una superficie de costo para toda Colombia, considerando los factores mencionados. De esta forma se desarrolló un indicador de accesibilidad basado en la distancia de costo hacia la red nacional de carreteras, para toda la superficie de la plataforma continental colombiana, con una precisión de cien metros para cada década del periodo de análisis. Adicionalmente, se calculó el valor de accesibilidad para cada centro poblado, obteniendo una serie de datos de accesibilidad histórica para cada uno, clasificada por departamentos. Esto permite evidenciar cómo evolucionó la accesibilidad a la infraestructura vial en el país desde que se obtuvieron registros de la red de carreteras. Según los resultados obtenidos, se definieron ciertos factores que pretenden explicar el estancamiento en el desarrollo vial en las regiones de menor accesibilidad, basado en las condiciones geográficas de su entorno; por esta razón, se llegó a la conclusión que en algunos casos la accesibilidad no debería definirse únicamente mediante el análisis de la red vial, puesto que este no es el principal modo de transporte que define la conectividad de estas regiones. Finalmente, se realizó un análisis de la precisión, escala y confiabilidad de la información histórica obtenida, dado que se encontraron incongruencias en los datos disponibles para diferentes décadas.

---

\*jr.escorcía10@uniandes.edu.co

## Aspectos metodológicos del componente de movilidad de planes de ordenamiento territorial en Colombia

Autores: M Peña Rúa Peña<sup>1\*</sup>, I Sarmiento Ordosgoitia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

Los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y los Planes de Ordenamiento Departamental (POD) son la herramienta de planificación urbanística y de ordenamiento del territorio más importante de los municipios y departamentos en Colombia. Entre otras importantes funciones, desempeñan un papel primordial en el componente de movilidad a nivel local y regional. Estos planes fijan directrices generales en busca del mejoramiento del acceso que tiene la comunidad a puntos de interés estratégicos dentro del territorio. Los planes tienen un componente de diagnóstico, uno de formulación y otro de implementación. En el primero se han detectado dificultades de orden logístico y funcional en la recolección de información primaria y secundaria, y en el procesamiento de la misma, las cuales se analizan en este artículo. En la formulación sobresalen el análisis de aspectos como jerarquías viales, suficiencia de secciones viales, corredores, conexiones priorizadas y accesibilidad. Todo esto se analiza en salidas gráficas de ArcGis, tomando como casos de análisis los componentes de movilidad de 19 POT (Ariguani, Sincé, Apartadó, Corozal, Sahagún, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá, Arboletes, Palmar de Varela, Buriticá, Copacabana, Soledad, Providencia, Lorica, Piojó, Sampués, Candelaria, Cartagena y Tubará). El alcance de cada uno de los productos difiere de manera sustancial debido a la importancia regional del municipio o incluso según la relevancia regional, de acuerdo a indicadores económicos o a las plataformas logísticas disponibles. Sin embargo, se evidencia una seria conexión entre las metodologías, las dificultades y facilidades dentro de la producción técnica de los POT. El conocimiento de la zona y el trabajo con las entidades locales es fundamental para el éxito de estos estudios.

---

\*cpenar@unal.edu.co

## Caminar en Bogotá: las cuentas 2017

Autores: L M Quiñones<sup>1\*</sup>, C Pardo<sup>1</sup>, M Moscoso<sup>1</sup>, C F Sánchez<sup>1</sup>, J Segundo López<sup>2</sup>, J López<sup>1</sup>, L Iguavita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundación Despacio, Colombia. <sup>2</sup>WRI Ross Center for Sustainable Cities, Colombia

Aunque el número de viajes que se realizan diariamente a pie por Bogotá es alto (3.090.809, según datos de la Encuesta de Movilidad 2015), son pocos los estudios que hay sobre la situación de estos actores viales, que enfrentan en ocasiones inseguridad en las calles, invasión del espacio público y una pobre y deteriorada infraestructura peatonal. Esta investigación se desarrolló a partir de la consulta de distintas fuentes y de un análisis crítico, informativo y propositivo de parte de sus autores y colaboradores. Pretende construir una radiografía que presente una visión profunda de las dificultades, oportunidades y retos del desplazarse a pie en la ciudad, y generar propuestas que contribuyan al desarrollo de políticas en las que se priorice el bienestar de los peatones. Inicialmente se hizo una revisión de las teorías sobre cómo generar espacios para caminar y cómo éstas se vinculan con el transporte sostenible, y luego se analizaron las políticas y regulaciones existentes a nivel nacional y distrital, y la evolución de normas para el peatón, según cada mandato de Bogotá. Además se estudiaron ejemplos de diferentes desarrollos de infraestructura peatonal y servicios asociados, y se analizaron las inversiones realizadas para construir y mantener la infraestructura. Por otra parte, se analizaron los datos demográficos y la distribución modal de quienes caminan y qué tan seguro es andar a pie en la ciudad. Estas cifras se complementan con una evaluación de la percepción de los peatones en cuanto a esa actividad cotidiana, hecha a través de una encuesta *online*. Finalmente, la investigación concluyó con una valoración preliminar de distintos beneficios que recibe la sociedad por la actividad peatonal, entre ellos, la reducción de emisiones y beneficios socioeconómicos. Se encontró que ha habido cierto interés por el peatón, pero no tan sustancial o persistente en los últimos veinte años como para generar cambios duraderos. Un ejemplo de ello son las inversiones: aunque una de cada cuatro personas camina, solo el 1% del presupuesto distrital es invertido en infraestructura que beneficie al peatón, a tiempo que los bogotanos solo tienen 4,41 metros cuadrados por habitante de espacio público efectivo. En cuanto a estadísticas de movilidad, se encontraron altos niveles de desigualdad entre quienes caminan. Por ejemplo, solo dos de 100 viajes a pie hechos por niños, son de chicos que viven en barrios de estrato 5 y 6, mientras que el 95% viven en estratos 1, 2 y 3. En cuanto a motivaciones y percepciones, se vio que una de las razones que más motiva este tipo de transporte es la congestión vial y el interés por ejercitarse. Por el contrario, el aspecto negativo que más se resaltó fue la posibilidad de ser atracado. Se recomienda establecer una política para peatones, asegurar la financiación de la misma, desarrollar estándares de calles completas y la promoción de una participación ciudadana más fuerte para peatones.

---

\*lina@despacio.org

## Ciclo-inclusión: lecciones de los Países Bajos para Colombia

Autores: T van Laake<sup>1\*</sup>, C Pardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundación Despacio, Colombia. <sup>2</sup>Fundación Despacio, Colombia

Con la participación modal de la bicicleta más alta del mundo, un 28% de todos los viajes, los Países Bajos han integrado de forma exitosa la bicicleta en su movilidad cotidiana, lo cual los convierte en referencia internacional en políticas de ciclo-inclusión. Sin embargo, alrededor de este reconocimiento se han construido mitos que retratan a esta nación y a su cultura como única y excepcional, lo cual hasta el momento no ha permitido abordar sus experiencias de manera objetiva. La investigación que se presenta, basada en la experiencia de los autores (del país natal, en el caso de autor principal) y la revisión exhaustiva de documentos, estrategias y cifras, es una revisión cuidadosa del caso holandés en cuestiones de ciclo-inclusión. Además de un panorama general sobre la manera en que se integró la bicicleta a la movilidad del país europeo, se presentan 8 lecciones que pueden servir a Colombia y otros países de América Latina para conseguir el mismo resultado. Cabe resaltar que las lecciones que podemos aprender de Holanda, no se reducen a aspectos sobre política pública y ciclo-infraestructura, sino que abordan aspectos como la necesidad de un cambio en la filosofía de la movilidad y el activismo ciudadano, entre otros. Las lecciones no pretenden ser prescripciones para el caso de Colombia. Teniendo en cuenta el contexto local específico y sus limitaciones, se evalúa el nivel de avance del país y se identifican estrategias de mejora relacionadas a cada lección. Se espera que las lecciones sirvan como inspiración para ciudadanos que buscan aportar a la movilidad sostenible, así como para ciudades que quieran tener una visión a largo plazo y metas más adecuadas en su desarrollo de políticas ciclo-inclusivas, y a su vez para las agencias de gobierno nacional que quieran generar políticas más ambiciosas para que la bicicleta se vuelva un vehículo seguro y cotidiano en todas las ciudades del país.

---

\*thomas@despacio.org

## Estudio de navegabilidad del río Curaray-Ecuador para transportar habitantes de las etnias Waoranis a su comunidad amazónica de Toñampari

Autores: S Jaya<sup>1\*</sup>, M Coronel<sup>1</sup>, C Villarreal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Excelencia en Transporte Intermodal y Fluvial – CETIF - UCE- Ecuador

Toñampari es una población Waorani (deslindada de los pueblos no contactados Tagaeri y Taromenani) enclavada a orillas del río Curaray en la selva amazónica ecuatoriana. Esta comunidad está ubicada a 364 Km de la ciudad de Quito, tiene una población de 301 habitantes, de los cuales 120 son estudiantes de educación primaria y media y, una población flotante de 150 personas. Para llegar a Toñampari hay que movilizarse vía terrestre desde Quito hasta la Base Aérea amazónica denominada Shell, en una distancia de 244 Km; allí se debe tomar una avioneta, que tiene capacidad de 3 a 5 pasajeros, y sobrevolar alrededor de 30 minutos. Otra forma es partiendo desde Quito vía Ambato- Baños-Puyo-Arajuno hasta el embarcadero de Pitakocha en el río Curaray, en una distancia de 323 Km. A partir de este lugar se navegan de 4 a 5 horas en una distancia de 41 Km, hasta arribar a Toñampari. Por falta de un transporte fluvial planificado, los habitantes de la comunidad Waorani de Toñampari camina a pie por la selva desde Arajuno en un tiempo de 10 horas. El río Curaray nace en territorio ecuatoriano, desemboca en el río Napo y éste en el Amazonas. Para el desarrollo del transporte fluvial por este río, entre el embarcadero de Pitakocha y la población de Toñampari se deben atravesar tramos de poca navegabilidad (en canoas muy pequeñas que calan de 0.10 a 0.20 metros), por la presencia de piedras, árboles caídos y bancos de arena, lo cual produce una navegación riesgosa. La cuenca del río Curaray delimitada para este proyecto es de 44.000 ha, está bañada por ríos pequeños y medianos, cuyo caudal en el tramo de estudio está entre 30 y 180 m<sup>3</sup>/s, dependiendo de la época del año. Desde el punto de visto hidráulico el río es de tipo meándrico. Batimétricamente la sección transversal del tramo del río estudiado es de 50m de ancho por 0.50m de profundidad, variando estos valores en más o menos un 30% el ancho y en un 400% en profundidad (en ciertos tramos). Estas características definen al río apto para transportar cargas medianas, pequeñas y muy pequeñas. Por otra parte, la batimetría a lo largo del tramo define un thalweg con calados limitados en verano para navegar incluso en canoas con capacidad de 5 a 6 personas. A partir de Pitakocha, en un 25% del tramo la navegación es difícil porque hay unos 10 “rápidos” originados por el cambio de la gradiente hidráulica del río; luego en un 30%, la navegación es lenta por la presencia de árboles caídos y bancos de arena y, el 45% restante es un río de llanura con características buenas para la navegación con calados variados. Este estudio ha permitido: 1) definir parámetros de navegabilidad del río Curaray entre Pitakocha- Toñampari para tener un transporte con el mínimo de riesgos, 2) contar con un documento técnico para solicitar del Gobierno Nacional los recursos económicos para su implementación, 3) desarrollar un plan de transporte multimodal para el desarrollo del ecoturismo.

---

\*sjaya@uce.edu.ec

## Evaluación de la infraestructura ciclista en la ciudad de Medellín

Autores: A M Agudelo Ossa<sup>1\*</sup>, O A Higuera-Salamanca<sup>1</sup>, J C Salazar-Castaño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Civil, Colombia

El ciclismo es considerado uno de los modos de la movilidad activa, como la caminata (a pie), y distintas ciudades registran un incremento considerable de usuarios desplazándose en estos modos, por lo que han tenido que adecuar la infraestructura vial para incrementar el uso de la bicicleta. Desarrollar un plan de movilidad ciclista debe considerar estrategias que ayuden al crecimiento del porcentaje de uso en la región, partiendo de una de las variables más importantes: la infraestructura. Éste es un factor determinante para que las personas decidan usar la bicicleta como modo de transporte, sin embargo, en la ciudad de Medellín, Colombia, las condiciones de las vías ciclistas no son óptimas para los usuarios ya que algunas carecen de señalización horizontal y/o vertical, se encuentran deterioradas e inclusive presentan riesgo para los ciclistas por los tramos abiertos que permiten el acceso vehicular y que provocan la invasión del carril, permitiendo hasta el estacionamiento de vehículos y motocicletas. El presente artículo describe la metodología que pretende evaluar las condiciones de la infraestructura ciclista, así como su aplicación en un tramo de ciclorruta representativo de la ciudad sobre la carrera 65 entre calles 59A y 66B (Avenida Bolivariana) para determinar que los factores que permiten definir una evaluación de carácter objetivo para este tipo de vías son la comodidad, la seguridad, la coherencia y la directividad. Cada uno de estos factores comprende una serie de variables de evaluación que permiten cuantificar la información recopilada durante una inspección de campo. Por la naturaleza de este documento no es posible incluir las tablas de resumen pero para ilustrar el análisis de resultados se plantea la evaluación del ancho de la vía como variable del factor comodidad: una vez obtenido el estimado de proporción y los intervalos de confianza según el número de muestras inspeccionadas, se obtuvo que para un nivel de confianza del 95%, el porcentaje de tramos que no cumplen con el ancho mínimo especificado en la Guía de cicloinfraestructura para ciudades colombianas está entre el 36,2 % y el 69,0 %. Finalmente, es posible establecer que en algunos tramos de la muestra seleccionada se necesitan o puede ser factible realizar mejoras (rehabilitación de la infraestructura y elementos del entorno), con el fin de generar un espacio propicio para el tránsito seguro de los ciclistas, además de atraer ciclistas potenciales que puedan usar esta infraestructura.

---

\*amagudelo@unal.edu.co

## Examinando la relación entre la seguridad vial y el espacio construido en Bogotá, Colombia

Autores: C E Vergel-Tovar<sup>1</sup>, S López<sup>2</sup>, N Lleras<sup>2</sup>, D Hidalgo<sup>2</sup>, M Rincón<sup>1</sup>, S Orjuela<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa Gestion y Desarrollo Urbanos, Universidad del Rosario. <sup>2</sup>WRI Ross Center for Sustainable Cities

El estudio a nivel nacional e internacional de la relación entre el ambiente construido y la seguridad vial sugiere que hay asociaciones entre el diseño urbano y los siniestros viales. Esta investigación realiza una serie de análisis de datos cuantitativos con modelos de regresiones logit y log-lineal para estimar la influencia del ambiente urbano en la seguridad vial en Bogotá y se enfoca en los resultados de los siniestros al estimar la influencia del ambiente construido en las fatalidades y heridas en el tránsito. El análisis fue realizado con datos georreferenciados de víctimas entre 2012-2016 provenientes de la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. El análisis cuantitativo de datos se enfocó en vías arteriales, corredores del sistema de buses de transporte público masivo “Transmilenio” y en estaciones de transporte público masivo. El análisis cuantitativo fue complementado con entrevistas en campo. Los resultados sugieren que la presencia de puentes peatonales se relaciona positivamente con la cantidad y gravedad de los siniestros. Alrededor de la infraestructura de transporte público es necesario prestar especial atención a ciertos aspectos del diseño pues al introducir nuevos desarrollos puede aumentar la velocidad y la exposición de peatones, generando nuevos problemas de seguridad vial.

## Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas

Autores: C Pardo<sup>1</sup>, A Sanz<sup>2</sup>, L Iguavita<sup>1</sup>, T van Laake<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fundación Despacio, Colombia. <sup>2</sup>Gea 21, España

El aumento del uso de la bicicleta como medio de transporte en muchas ciudades colombianas es notorio. Sin embargo, la movilidad ciclista enfrenta problemas de inseguridad vial, lo cual se relaciona con la mala calidad o ausencia de infraestructura ciclo-inclusiva. La implementación de tal infraestructura requiere de experticia técnica para su diseño e implementación y estrategias de promoción y servicios complementarios que mejoren el ecosistema de movilidad ciclo-inclusiva. Es por ello que se ha construido la “*Guía de ciclo infraestructura para ciudades colombianas*”, la cual recoge un conjunto de buenas prácticas de política públicas orientadas al uso de bicicleta. La Guía fue publicada en 2016 y posteriormente ha sido adoptada como normativa nacional (Resolución 3258 de 2018). El documento es una herramienta clave en la planeación de la ciclo-infraestructura en ciudades colombianas y ha tomado cada vez más fuerza en municipios que se suman a la promoción de la movilidad ciclista. Inspirado en manuales y guías internacionales que han sido usados con éxito en el exterior, el documento brinda recomendaciones de diseño de ciclo-infraestructura y políticas urbanas que faciliten el desplazamiento equitativo, seguro y eficiente en bicicleta. Reconociendo que cada ciudad es diferente en sus condiciones urbanísticas, topográficas, climáticas o culturales, la guía no ofrece soluciones definitivas ni uniformes sino lineamientos y recomendaciones que pueden adaptarse según el contexto en que se implementa la infraestructura. La guía cubre temas de (1) políticas de movilidad urbana ciclo-inclusiva, (2) fundamentos de la ciclo-infraestructura, incluyendo la planeación de ciclorredes, (3) diseño de la ciclo-infraestructura, incluyendo medidas mínimas y recomendadas, (4) aspectos complementarios del diseño de ciclorredes, (5) educación y promoción. El proceso de elaboración tuvo muchos pasos, empezando con una revisión de guías de ciclo-infraestructura de varios países del mundo, incluidos Dinamarca, Brasil, España, Estados Unidos, Sudáfrica y Corea del Sur. En Colombia se visitaron diferentes ciudades y municipios para conocer y valorar las prácticas de ciclo-infraestructura de cada una, encontrando una amplia gama de condiciones urbanísticas, topográficas y socio-económicas. Este proceso de valoración también tuvo en cuenta las prácticas exitosas de ciudades europeas mediante entrevistas, visitas y una investigación bibliográfica.

---

\*thomas@despacio.org



## Identificación de las características que deberían intervenir en la asignación de los cobros en los peajes de las vías de Colombia

Autores: B S Cardona Ramírez<sup>1\*</sup>, J E Sepúlveda García<sup>1</sup>, C Valencia-Cárdenas<sup>1</sup>, C A González-Calderón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Los peajes en Colombia surgen como un mecanismo de financiación y sostenimiento de las principales vías y su regulación ha sufrido grandes cambios desde su implementación en 1993, con la Ley 105. Mediante esta norma se reglamentó el mecanismo para la fijación de las tarifas, la ubicación en proporción a las distancias recorridas y las características vehiculares para su respectivo cobro. Así mismo, se modificó parcialmente el artículo 21 de dicha ley por el artículo 1 de la Ley 787 de 2002, donde se exceptúan cobros a vehículos especiales. Por otra parte, se resalta la Resolución No 00228 del 1 de febrero de 2013, que declara el incremento de los costos a partir del 16 de enero de cada año, teniendo en cuenta el Índice de Precios al Consumidor (IPC) decretado por el DANE para el año inmediatamente anterior. Dada la falta de especificidad en las leyes del estado, se han implementado peajes que no cumplen con las características reglamentadas, en cuanto a cobros y localización proporcional a la distancia. Los concesionarios de las vías fijan los valores de los peajes en acuerdo con el gobierno y en muchos casos se notan excesos y no se tienen en cuenta las diferentes condiciones a las que están expuestas los vehículos o las particularidades de la región. Esto ha desencadenado desacuerdos entre transportadores de carga, la comunidad y el estado. En ese contexto, el objetivo de esta investigación se centra en determinar las características que deben intervenir en la asignación del cobro de los peajes en Colombia, considerando la caracterización en infraestructura de las principales vías y las particularidades económicas de las regiones, así como los costos de construcción, operación y ganancias para los operadores. Para ello, se realiza un análisis comparativo de las variables que intervienen, entre ellas el flujo vehicular, la ruta, los kilómetros de carreteras construidas, los tipos de obras y cantidades, la localización de los peajes, el cobro y la cobertura, y los principales bienes y servicios que intervienen en los trayectos. Esto permite establecer unas estrategias para la regulación de los precios existentes y futuros. Esta investigación (en desarrollo) será una herramienta que ayudará a predecir y establecer valores equitativos, permitiendo una mayor competitividad en el transporte de carga terrestre que es de vital importancia en el desarrollo y crecimiento del país.

---

\*brian.cardona@udea.edu.co

## Metodología multicriterio para cuantificar la operación de una red de infraestructura para ciclistas en áreas urbanas (El caso de Bogotá D.C.)

Autores: J C Medina Arguello<sup>1\*</sup>, L A Bulla-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia

En la última década Bogotá D.C. registra un crecimiento en el uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte, tal como se evidencia en las cifras obtenidas en las dos últimas encuestas de movilidad realizadas en el Distrito Capital durante los años 2011 y 2015, en los que se registraron 441.135 y 575.356 viajes en bicicleta, respectivamente. Esto como respuesta a los altos niveles de congestión vehicular que han conllevado a aumentos en los tiempos de desplazamiento en los viajes realizados en vehículos motorizados, desestimulando así la utilización de este medio de transporte. A esto se suma el inminente aumento de las emisiones de partículas y gases contaminantes producto del proceso de combustión de materiales fósiles como el petróleo y gas natural. Por lo anterior, los planes de desarrollo de las administraciones distritales han definido acciones tendientes a incentivar y proporcionar modos alternativos de transporte como la bicicleta, a través de proyectos que prioricen la implementación de la infraestructura adecuada para su tránsito en Bogotá D.C. Sin embargo, en los planes no se han adoptado los estudios técnicos requeridos para el diseño de estas redes, donde se analicen parámetros fundamentales como la demanda, la oferta existente y las principales zonas de generación y atracción de viajes. Como resultado, se presentan deficiencias en el proceso de diseño, discontinuidades a lo largo de varios tramos y desarticulación de la infraestructura con enlaces no funcionales para los actores del sistema vial. Esto hace que los ciclistas, ante su necesidad de desplazamiento, seleccionen rutas no adecuadas para su tránsito, que propician un aumento en los conflictos con los demás usuarios viales, incrementando la exposición y la probabilidad de ocurrencia de accidentes. Esto se refleja en el inconformismo en la ciudadanía por la falta de planeación en estos procesos. El propósito de esta investigación radica en la generación y validación de una metodología multicriterio para cuantificar la operación de la infraestructura para ciclistas en ciudades, optando por Bogotá D.C como estudio. Se espera que la metodología contribuya de manera significativa en la solución de temas concernientes tanto con la movilidad como con el medio ambiente, puesto que incide de manera directa en la implementación de este tipo de infraestructura. Lo anterior teniendo como base el siguiente interrogante: ¿cómo evaluar de forma integral la operación de una red de infraestructura para ciclistas, de manera cuantitativa, de tal forma que se pueda medir la conectividad y funcionalidad, incorporando criterios de oferta y demanda de esta? Por consiguiente, se pretende generar un marco de referencia sobre cómo cuantificar la operación de estas redes mediante una metodología multicriterio, basada en criterios de la CEPAL, integrando indicadores de medición y análisis de jerarquías para la toma de decisiones.

---

\*jucmedinaar@unal.edu.co

## La bicicleta como medio de transporte: estrategia 2019-2030 para Bucaramanga y su área metropolitana

Autores: Área Metropolitana de Bucaramanga, Alcaldía de Bucaramanga, ONU-Hábitat, C Pardo<sup>1</sup>, M Moscoso<sup>1</sup>, C Olivares Medina<sup>2</sup>, T van Laake<sup>3</sup>, D Gómez<sup>1\*</sup>, I Herrera<sup>4</sup>, L Iguavita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundación Despacio, Colombia. <sup>2</sup>Bicivilízate, Chile. <sup>3</sup>Fundación Despacio, Holanda. <sup>4</sup>Independiente, Colombia

La estrategia de la bicicleta como medio de transporte forma la hoja de ruta que deberá seguir la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana para mejorar las condiciones de ciclo-inclusión, para que la bicicleta se pueda usar de manera segura y equitativa, al mismo tiempo que se mejoran las condiciones urbanas para toda la comunidad. La estrategia se construyó siguiendo una lógica conceptual que recoge las mejores prácticas internacionales y nacionales en la promoción de la bicicleta como medio de transporte, integra el estudio y diagnóstico de los municipios que conforman el área metropolitana e incorpora la opinión y aportes de la comunidad. Como resultado del proceso de formulación se elaboró la estructura de la estrategia, la cual está compuesta por cuatro elementos: principios conceptuales, componentes que agrupan los indicadores e indicadores y metas a corto, mediano y largo plazo. Una de las metas principales está relacionada con el uso y percepción pues el aumento en el uso de la bicicleta es lo que demuestra que la política es exitosa. Se espera que para el 2030 el 5% de los viajes en el área metropolitana de Bucaramanga se haga en bicicleta y el 90% de quienes usen este medio la califiquen como una muy buena opción de transporte. Así mismo se plantean componentes de la red propuesta para el 2030, incluyendo las metas, los corredores sugeridos y los retos para lograr la red planteada a 2019, 2025 y 2030. Específicamente, se han desarrollado los diseños definitivos de una red de 20 kilómetros de ciclo-infraestructura para la ciudad, mediante un estudio exhaustivo de planeación y un proceso de diseño basado en la Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas. Finalmente, se presentan de manera resumida las prioridades de implementación de cada principio y se combinan con el desarrollo de la red de ciclo-infraestructura.

---

\*daniela@despacio.org

## Una aproximación al diseño de ciclo-infraestructura a partir de las percepciones

Autores: G Barrero González<sup>1\*</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Actualmente las ciudades están estimulando el uso de la bicicleta como modo de transporte para combatir la congestión, la emisión de gases de efecto invernadero y mejorar la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. Sin embargo, los manuales para diseñar ciclo-infraestructura no reflejan que, a diferencia de los modos motorizados, los usuarios de la bicicleta están expuestos a los estímulos del ambiente. Con el fin de entender la calidad del servicio percibida, este estudio busca explorar y evaluar el diseño de la ciclo-infraestructura a través de las percepciones de los ciclistas. No se pretende sustituir las metodologías de Nivel de Servicio, si no proveer evidencia de la potencial importancia que tiene preguntarle a los usuarios para diseñar este tipo de ambientes urbanos. A partir de 434 entrevistas a ciclistas en diferentes tipos de ciclo-rutas, y modelos de regresión OLS, se identificaron los parámetros que explican la percepción de calidad del servicio. Como parte del proceso de validación, se realizaron 150 nuevas encuestas y modelos probabilísticos (Probit y Logit) que verificaran las variables que resultaron significativas en el modelo original. Una vez verificada la validez del modelo, se realizaron visitas a diferentes puntos de encuestas para realizar auditorías que determinaran las características de los parámetros que resultaron significativos en el modelo de calidad del servicio. Los resultados arrojan que, tan solo con la percepción de los usuarios sobre ciertos parámetros de la infraestructura, se obtiene un R<sup>2</sup> ajustado de 0,4309 en un modelo con cinco variables significativas. Finalmente se obtiene un R<sup>2</sup> de 0,9605 al relacionar 'Calidad de Servicio' medida vs 'Calidad de Servicio' estimada con el modelo. La percepción del 'pavimento' es la variable que mejor logra explicar la calidad del servicio, seguida de 'Seguridad contra accidentes', 'Semaforización', 'Señalización' y, finalmente, 'Evitar el carril vehicular'. La validación demostró que el máximo error registrado fue de 0.20 (en una escala de 0.00 a 5.00) al momento de comparar los resultados de la calidad de servicio medida en cada punto y la estimada a través del modelo. Gracias a la visita en los puntos de encuestas y el análisis de las variables de percepción relacionadas con el diseño de la infraestructura, fue posible concluir que la percepción de estos elementos va más allá de su función primaria. Por lo tanto, con el fin de obtener altos niveles en la calidad del servicio percibida y mayor número de ciclistas, se sugiere involucrar a los usuarios en el proceso de planeación de ciclo-infraestructura. Esto hace parte de una nueva aproximación en donde se busca un diseño orientado al usuario que vaya más allá de los manuales que han estandarizado este tipo de infraestructuras.

\*ga.barrero192@uniandes.edu.co

# **Modelación y sistemas inteligentes de transporte**

---



## Addressing Endogeneity in Strategic Mode Choice Models

Autores: T E Guerrero B<sup>1,2,4\*</sup>, J de D Ortúzar<sup>2</sup>, C Ángelo Guevara<sup>3</sup>, E Cherchi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia. <sup>2</sup>Department of Transport Engineering and Logistics, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. <sup>3</sup>Civil Engineering Department, Universidad de Chile, Santiago, Chile. <sup>4</sup>School of Engineering, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.

The term “*endogeneity*” is used in the literature when there is correlation between one or more of the observed explanatory variables and the error term of an econometric model. As a result, the parameter estimators of these variables are inconsistent. It is considered an unavoidable problem in econometric modelling since there are many potential reasons for it, such as, omitted attributes, measurement or specification errors, simultaneous determination and/or self-selection<sup>[1]</sup>. Mode choice is one of the critical components of the classic strategic transport model, since it plays an important role in short and long-term transport planning and policy formulation<sup>[2]</sup>. Mode choice is usually modelled with discrete choice models (DCM)<sup>[3]</sup> and, as such it is susceptible to endogeneity, since the estimation process may involve the same reasons described above. To the best of our knowledge, no urban mode choice model included in a classic strategic transport model suite has been corrected for endogeneity. This is not a minor problem since endogenous DCM calibrated for the modal choice stage will generate inconsistent estimates, biasing the forecast of market shares, as well as the computation of elasticities and valuation measures like the subjective value of time (SVT), which are critical for planning and social evaluation of transport projects. Therefore, a first challenge in this problem is to formulate and validate a methodology to gather valid *Instrumental Variables* (IV) to be used in DCM embedded in strategic transport modelling suites. A second challenge is to detect and quantify, for a real case study, the effect that neglecting the endogeneity problem has in the estimation of the parameters associated with the DCM in a real application. The final challenge is to develop a methodology to apply the proposed endogeneity correction in the forecasting phase of the strategic model and to assess the impact of neglecting it in a real case situation. The methodological approach and analysis will include models estimated with simulated and real data. For the former, simulated data from Monte Carlo experiments will be used as an experimental tool to assess the performance of the proposed correction methods. For the real data application, we will use information from the Gran Valparaíso Origin-Destination Survey in Chile. Preliminary results show four contributions that will allow us to advance in closing this research gap. Regarding the real data, first, the results show that there is indeed endogeneity in urban mode choice models estimated at the strategic level, following tests using the approach proposed by Rivers and Vuong<sup>[4]</sup>. Second, proper IV are found to correct for this endogeneity problem. Third, the exogeneity of instruments used to correct endogeneity in urban mode choice models estimated are validated using the overidentification tests recently proposed by Guevara<sup>[5]</sup>. Finally, the effects of estimating biased parameters arising from endogeneity are quantified. Several measures associated with the DCM are assessed, such as First Preference Recovery (FPR), Loglikelihood, market shares, elasticities and SVT, for actual and future scenarios, to illustrate the impact of the problem under study.

[1]Guevara, C.A. (2015). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 240–254. [2]Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). John Wiley & Sons, Chichester. [3]Train, K.E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation* (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge. [4]Rivers, D. y Vuong, Q. (1988). *Journal of econometrics*, 39, 347–366. [5]Guevara, C.A. (2018). *Transportation Research Part B: Methodological*, 114, 241-253.

\*teguerrero@ufps.edu.co

## Análisis integral del efecto que tienen variables latentes y tangibles en el uso de la bicicleta para viajes al trabajo en Bogotá

Autores: L Márquez<sup>1\*</sup>, N Pulido<sup>1</sup>, L A Vega<sup>1</sup>, J C. Poveda<sup>1</sup>, L X Pineda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

El presente trabajo se deriva de un proyecto de investigación que incorpora conocimientos del Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte – GIDPOT – de la Facultad de Ingeniería, y del Grupo de Salud Trabajo y Calidad de Vida – SATRACAVI – de la Facultad de Ciencias de la Salud. Comprender el comportamiento de elección de las personas es fundamental, no solo para pronosticar la demanda de viajes sino para implementar políticas de transporte, en especial aquellas que se orienten a la promoción del uso de modos de transporte sostenible. Además, las decisiones de las personas están determinadas por un conjunto de variables tangibles, estudiadas principalmente desde la óptica de la ingeniería, con apoyo en la teoría microeconómica y por un conjunto de variables latentes, no observables directamente, pero que pueden ser formadas con ayuda de instrumentos y técnicas que han tenido importante desarrollo desde el campo de la psicología. El contexto espacial de nuestra investigación corresponde a la ciudad de Bogotá. El objetivo principal del trabajo es identificar las variables tangibles y latentes de los trabajadores frente al uso de la bicicleta como una alternativa de transporte cotidiano en esa ciudad. La población objeto del presente estudio está conformada por trabajadores de empresas públicas y privadas de Bogotá. La muestra está conformada por 450 personas. La selección de los participantes se realizó mediante muestreo no probabilístico o por conveniencia, lo cual supone vincular trabajadores que cumplan con los criterios o fines establecidos para la investigación. La toma de información primaria empleó la técnica de la encuesta, mediante la aplicación de un instrumento conformado por cinco partes: información general, indicadores de variables latentes, caracterización de los viajes individuales, experimento de preferencias declaradas y atributos socioeconómicos. Además de la caracterización de los usuarios en las condiciones actuales de la ciudad, como resultados de la investigación se realizó un análisis exhaustivo de las variables tangibles y latentes que tienen influencia en el uso de la bicicleta para ir al trabajo. Las relaciones claves de las variables con el proceso de elección se modelaron en forma robusta mediante la estimación simultánea de un modelo híbrido discreto, que permitió, además, identificar acciones conducentes a motivar el uso de la bicicleta para ir al trabajo. El conocimiento generado tiene que ver con tres dimensiones básicas. La primera, referida al diseño de instrumentos apropiados para incorporar el análisis de variables latentes en el contexto de elección de la bicicleta como alternativa de viaje para ir al trabajo. En segundo lugar, se identificó cómo afectan las variables tangibles y latentes en la decisión de usar la bicicleta para viajar cotidianamente al trabajo. Por último, se estudiaron políticas para incentivar el uso de la bicicleta como alternativa de transporte para ir al trabajo. Si bien el ejercicio está delimitado espacialmente al contexto de viajes al trabajo en Bogotá, los conocimientos generados serán útiles para la comunidad científica y para los tomadores de decisiones en el contexto global.

---

\*luis.marquez@uptc.edu.co



## Avances en el uso de analítica de video para realizar aforos automáticos que permitan el conteo y la caracterización de los usuarios en un sistema de transporte masivo

Autores: P F Pérez-Arteaga<sup>1</sup>, L Á Guzmán<sup>2\*</sup>, M Munizaga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado, Universidad de los Andes. <sup>2</sup>Profesor Asistente, Universidad de los Andes.

<sup>3</sup>Profesora Titular, Universidad de Chile

Los sistemas de transporte masivo buscan constantemente optimizar la operación debido a una demanda creciente. Esta optimización debe contemplar restricciones existentes de infraestructura, vehículos disponibles y sostenibilidad financiera. El uso de Big Data ya existente en los análisis de sistemas de transporte masivo presenta una oportunidad para optimizar la operación en tiempo real. En este sentido, se propuso un proyecto de investigación para enriquecer los datos de las validaciones individuales de ingreso con la incorporación de características de los usuarios generadas mediante analítica de video sobre las cámaras existentes. Se diseñó una propuesta de arquitectura basada en software como servicio (SaaS, por sus siglas en inglés) para desplegarse sobre nubes públicas que permite realizar análisis de flujos de video bajo demanda. Con estos análisis de flujos de video se obtiene un reconocimiento facial de cada usuario que ingresa al sistema de transporte masivo y a partir de los rostros detectados se obtiene una caracterización de género y rango de edad, ambos procesos con algoritmos de Amazon Rekognition. Finalmente, se realiza una sincronización de tiempo entre los rostros detectados y las validaciones realizadas en el sistema automático de recaudo, que permite la correlación de datos y el enriquecimiento de la fuente de datos de validaciones individuales con el rango de edad y el género de los usuarios. Realizado de manera periódica y en diferentes estaciones, este procedimiento permitirá eventualmente caracterizar la totalidad de las tarjetas de Transmilenio con género y rango de edad, permitiendo ampliar los posibles análisis y estudios sobre usuarios para la generación de políticas más adecuadas, así como la detección de posibles fraudes recurrentes en uso de tarjetas subsidiadas a personas mayores. Los videos y las validaciones de ingreso utilizadas para validar la eficiencia de la propuesta corresponden a la hora Peak AM de un día de semana típico y una estación de Transmilenio cuya ubicación espacial estuviera dentro de una zona generadora de viajes y además permitiera un solo punto de entrada y existieran videos disponibles. La estación seleccionada se ubica en la Avenida Ciudad de Cali, sobre el trazado Troncal Calle 80 en Bogotá-Colombia. Resultados preliminares muestran que sí es posible lograr una detección de rostro exitosa con las cámaras análogas existentes para monitoreo y seguridad. También se evidenció que el funcionamiento del algoritmo de caracterización es errático cuando el usuario tiene elementos que cubran parcialmente el rostro tales como gafas, gorras y bufandas. El procedimiento de conteo de una línea virtual utilizado es errático para evitar doble conteo en usuarios que se devuelven a prestar su tarjeta de acceso a otro usuario o personal de Transmilenio que vigila la entrada a la estación y se mueve constantemente. Los anteriores problemas generan registros huérfanos o fantasmas al momento de hacer la sincronización de tiempo entre las fuentes de validaciones de ingreso y la caracterización de usuarios. Finalmente, comparando con la caracterización manual realizada sobre el video para una hora, y haciendo la correlación manual, el proceso automático propuesto alcanza una tasa de éxito mayor al 90%.

\*la.guzman@uniandes.edu.co

## Metodología para estimar Matrices OD en sistemas tipo BRT a partir de las tarjetas de pago: ¿y si no eliminamos los viajeros con una sola transacción?

Autores: S Fernández<sup>1\*</sup>, J Arellana<sup>1</sup>, V Cantillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Norte, Colombia

Un estándar en los sistemas de transporte público modernos es el uso de tarjetas inteligentes para el pago del viaje. Si bien el propósito inicial de la implementación de estos sistemas es hacer más eficiente el recaudo de las tarifas de pago, los registros aportan información relevante acerca de los movimientos de los usuarios. Adicionalmente, permiten estimar matrices Origen Destino (OD), las cuales son útiles para los operadores y planificadores de los sistemas de transporte público en la determinación de la calidad del servicio, los costos asociados a la actividad que realizan, y las decisiones que deben tomarse para mejorar la operación de estos sistemas. Múltiples investigadores han buscado desarrollar metodologías que permitan aprovechar esta información que aportan las tarjetas inteligentes de pago utilizadas en el transporte público. Comúnmente, estas metodologías enfrentan un gran reto debido a que la información registrada por la transacción de pago no contiene todas las características del viaje, pues sólo se usan para ingresar al sistema y es necesario hacer inferencias acerca del destino. Determinar el destino y hacer seguimiento a los viajes de aquellos usuarios que acceden al sistema una sola vez durante un día es aún más complejo y usualmente las metodologías disponibles en la literatura descartan la información relacionada con este tipo de viajeros. La presente investigación busca desarrollar una metodología que permita estimar los orígenes y destinos de los viajes troncales sobre un sistema tipo BRT utilizando el concepto de encadenamiento de viajes, pero aprovechando la información relacionada con aquellos pasajeros que acceden al sistema una sola vez durante un día. En algunos contextos la proporción de viajeros que acceden al sistema una vez al día podría ser representativa, y en este trabajo se argumenta que las metodologías actuales no deberían descartar estos viajes. La metodología que se propone en esta investigación estima posibles orígenes-destinos para este tipo de viajeros tomando como referencia sus patrones de comportamiento en otros días, lo que le permite no descartarlos directamente como suele hacerse. La aplicación de esta metodología se realizó sobre el sistema de transporte público Megabus que opera en la ciudad de Pereira, Colombia. Como resultado conjunto de las distintas estimaciones realizadas, se obtuvo una matriz OD diaria, una para el periodo pico y otra para el periodo valle de un día laboral típico. Para futuras investigaciones se plantea aplicar la metodología sobre un sistema BRT que cuente con información de una matriz OD obtenida por otros medios, lo cual permita validar las bondades del método e incluso ser comparado con otras metodologías en la literatura.

---

\*pernetts@uninorte.edu.co

## Improvement in the accuracy of traffic conflicts simulation through calibration of gap acceptance parameters based on field-observed conflicts

Autores: L A Bulla-Cruz<sup>1\*</sup>, L Lyons<sup>1</sup>, A Laureshy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Logistics for Sustainable Transport and Safety Research Group – TRANSLOGYT, Transport & Roads, Dept. of Civil & Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

<sup>2</sup>Transport & Roads, Dept. of Technology & Society, Faculty of Engineering, LTH, Lund University, Sweden

A traffic conflict is defined as a road incident where, if two road users on collision course maintain their speed and trajectory constant, the crash between them will be imminent. The severity of a conflict is defined by the proximity at which the crash was avoided, and it is quantified by means of indicators known as surrogate safety measures. The simulation of traffic conflicts is a growing research field. The possibility of generating simulation models that represent, in a reliable way, both traffic behavior and road safety is an attractive field of work. In this sense, the aim of the project was to calibrate the safety distance factor (SDF) that VISSIM software uses in conflict areas, as a part of the gap attendance parameters, based on field-observed conflicts. The research included: [i] Development of a detailed field study of traffic conflicts, with the aid of the semiautomatic tool T-Analyst, during the peak hour, in a roundabout located in Bogota (Colombia). This software allows to manually extract the trajectories of road users and calculate some surrogate safety measures as Time-to-collision minimum (TTCmin) and Post-Encroachment Time (PET). Observed conflicts with  $TTCmin \leq 2.0$  s and  $PET \leq 2.0$  s were selected for the safety assessment. During the evaluation hour, 26 conflicts were observed. [ii] Construction and validation of a simulation model in VISSIM for the roundabout, using the driving behavior parameters (Wiedemann model 74) recommended for the city and the field-observed gap acceptance parameters, volumes, free-flow speeds and desired speeds. [iii] Simulated conflicts and their TTCmin and PET were obtained using the Surrogate Safety Assessment Model (SSAM), which allows the processing of trajectory files (.trj) generated by VISSIM. Once the number of field-observed conflicts (26) was known, a sensitivity analysis was made to the SDF looking for a similar number of simulated conflicts. This factor was set at 0.4, obtaining a total of 24 simulated conflicts, when using the same threshold established for field-observed conflicts ( $TTCmin \leq 2.0$  s and  $PET \leq 2.0$  s). To validate the model, several statistical tests were performed, as follows, and no one was rejected. Linear regression between observed and simulated traffic volumes ( $R^2 = 0.99$  and  $GEH = 0.06$ ); comparison between distributions of observed free flow speed and simulated free flow speed ( $p$ -value = 0.13, Kolmogorov-Smirnov test); comparison between the observed TTCmin and simulated TTCmin distributions ( $p$ -value = 0.57, Kolmogorov-Smirnov test); and observed PET and simulated PET distributions ( $p$ -value = 0.61, Kolmogorov-Smirnov test), validating the model and procedures performed. In conclusion, when trying to simulate a similar number of field-observed conflicts and their severity, it was necessary to enter the model detailed data of traffic volumes, speeds, critical gaps and visibility distances. Despite this detailed information, the model was not validated by conflicts until calibrating the SDF (1.5 by default and set in 0.4). As shown before, this factor is a dimensionless parameter and it is not clear how to measure it in field. The SDF proved to be determinant for an accurate conflicts' simulation.

\*labullac@unal.edu.co

## Interoperabilidad del recaudo electrónico vehicular de la tasa de peaje: una perspectiva de derecho comparado

Autores: C Durán Negrete<sup>1\*</sup>, J F Vega Stavros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Durán & Álvarez y Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia y Colombia

El objetivo del artículo es realizar un estudio de las estrategias o medidas presentadas en Estados Unidos, México y Chile, países que utilizan recaudo electrónico vehicular para el pago de la tasa de peaje. Cómo han sido sus estrategias tecnológicas, operativas y financieras en busca de lograr la interoperabilidad del recaudo electrónico permitiendo el pago de la tasa con un único TAG (etiqueta electrónica para identificar el vehículo y permitir el pago). Este estudio se realiza con posterioridad de la expedición del Decreto 2060 de 2015 que establece el marco normativo del recaudo electrónico vehicular (REV) para Colombia, el cual pone de presente el interés del Ministerio de Transporte de que exista interoperabilidad del sistema. De los países estudiados se extrajeron conclusiones sobre variables comunes que de alguna manera incidieron negativa o positivamente en la interoperabilidad del recaudo electrónico vehicular. Se utilizó un método cualitativo, teniendo en cuenta que se trata de una investigación con una dimensión jurídica que tiene un fin descriptivo y omnicompreensivo de los factores que inciden en la interoperabilidad del recaudo electrónico vehicular de la tasa de peaje. Si bien cuando se habla de recaudo electrónico vehicular se piensa que el tema central radica en la dimensión tecnológica, el estudio indica que las dificultades para interoperar se encuentran en los factores operativos y financieros. Del estudio se pudo concluir que el problema no es tecnológico. La tecnología para alcanzar la interoperabilidad del recaudo vehicular del peaje, inclusive entre diferentes OBU, existe. La dificultad se concentra en falta de interoperabilidad operativa y financiera, de la siguiente forma: i. Ausencia de interoperabilidad financiera, derivada de la falta de: i) acuerdo para la transferencia de información de la Transacción de la Tasa de Peaje y ii) reglas específicas entre los diferentes actores del sistema para la liquidación del pago de la tasa de peaje y los gastos derivados de la operación. ii. Falta de interoperabilidad operativa: se debe a la falta de un marco jurídico común y reglas de negocio que regule el sistema de recaudo electrónico vehicular de la tasa de peaje, y establezca sanciones a los comportamientos antijurídicos que atenten contra el mismo.

---

\*cdurann@unal.edu.co

## Metodología de convergencia y calibración de micromodelos de asignación dinámica

Autores: M A Bernal<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ing. Civil, Colombia

En los proyectos de tránsito y movilidad existe la necesidad de hacer una evaluación técnica de cada una de las propuestas para encontrar la que de manera integral sea la mejor. Para esto se realizan modelos en un esfuerzo por pronosticar los efectos de cada una y comparar por medio de parámetros de tránsito las mejores opciones y escoger una. Cuando los flujos de interés son de varias intersecciones o la intervención de la propuesta es de gran envergadura se estima que el sistema a evaluar es demasiado complejo para abordarlo con los modelos tradicionales de microsimulación. Adicionalmente se tiene incertidumbre, sobre todo en los nuevos proyectos, de cómo se distribuirán los flujos sobre la red con la implementación de las propuestas. En este tipo de problemas, una aproximación mesoscópica se presenta como una solución viable. La demanda es representada con una matriz Origen Destino (OD) en donde las zonas de la matriz se colocan en los *links* de entrada y salida. Debido a esta aproximación, además de los usuales aforos direccionales discriminados por modo, para los estudios de tránsito se requiere alguna muestra de aforos por pantallas de placas u otro mecanismo que permita determinar una matriz de deseos de viaje entre los pares OD. Con algún método de distribución se convertirán estas dos informaciones en la Matriz OD por modo. En el caso de la oferta esta se puede representar de la manera tradicional en que lo hacen los modelos microscópicos, teniendo en cuenta algunas reglas adicionales propias de los modelos macroscópicos. En general los softwares en los procesos fuera de vista del usuario están convirtiendo estas redes en grafos con las propiedades dadas por el usuario y aplicando los algoritmos de asignación dinámica, características propias de las redes de microsimulación, que sí influyen pues sus efectos repercutirán en el tráfico y éstos a su vez influirán en los costos generales de los viajes. De manera muy general la aproximación que se está realizando es asignar por intervalos de tiempo partes de la matriz de demanda y guardando las condiciones de la red del intervalo actual para usarlos como la condición inicial del siguiente intervalo de tiempo. Esto implica que se deben tener varias iteraciones a fin de que los flujos y los costos de viaje para cada par OD converjan. Con ajustes a las matrices y a los costos de los *links* es que de manera conjunta se llega a la calibración y convergencia haciendo el escenario representativo de la realidad. Este tipo de aproximaciones tienen la ventaja de ser mucho más prácticas a la hora de evaluar las propuestas pues los flujos se redistribuirán por la nueva red sin necesidad de establecerlos previamente. En el caso de la nueva infraestructura si se caracteriza adecuadamente se pueden obtener indicadores de demanda. Sin embargo, requieren un esfuerzo extra por la nueva forma de representar la demanda, así como un mayor tiempo para la calibración y convergencia.

---

\*maxibernal7@gmail.com

## Modelando la movilidad urbana en la ciudad de Ibagué

Autores: J D Meisel<sup>1\*</sup>, J G Zuluaga Villermo<sup>1</sup>, I D Hernández<sup>2</sup>, E Jimenez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia. <sup>3</sup>Center for Air Transport Management, School of Aerospace, Transport and Manufacturing, Cranfield University

La movilidad urbana es un fenómeno importante asociado a la emergencia de ciudades latinoamericanas. En la medida que una ciudad empieza a crecer, los tipos de movilidad van siendo determinados por los diferentes modos de transporte, llegando a ser el caso que se den relaciones contra-intuitivas entre las dinámicas generales de crecimiento de la ciudad y aquellas de la movilidad. Adicionalmente, las autoridades no poseen herramientas apropiadas para pensar por anticipado las posibles consecuencias que diferentes políticas de movilidad puedan traer a la ciudad. El propósito de este estudio es entender la movilidad urbana en la ciudad de Ibagué empleando un modelo basado en agentes (MBA). Este modelo puede ser usado para explorar el proceso de toma de decisiones de los agentes con respecto a varios modos de transporte (automóvil, taxi, autobús y caminar) y para ayudar al diseño y evaluación de políticas de movilidad. En el MBA, los agentes seleccionan un modo de transporte teniendo en cuenta el costo, el tiempo que les toma llegar a sus destinos y el nivel de satisfacción que experimentan los agentes dependiendo del modo de transporte que han tomado. Adicionalmente, el modelo incorpora una innovación que lo destaca de la literatura y la práctica de la modelación de transporte en ciudades colombianas al considerar que los agentes pueden ser influenciados por el nivel de satisfacción que otros agentes cercanos (red social) tienen respecto a los diferentes modos de transporte. El modelo emplea una grilla basada en el mapa de la ciudad de Ibagué donde se han asignado los destinos de los agentes en función de los datos del plan maestro de movilidad y espacio público (PMMEP) 2017. Para la calibración del modelo se emplearon datos del PMMEP para 2017 y datos de la encuesta de satisfacción de Ibagué Cómo Vamos. Los resultados del MBA son consistentes con la distribución de uso por modo de transporte dependiendo del estrato socioeconómico y con la función de decaimiento de la probabilidad acumulada de caminar de los usuarios por estrato socioeconómico. Al comparar la partición modal por estrato socioeconómico se observa coherencia entre los resultados del modelo y la distribución modal por estrato socioeconómico basado en el PMMEP. Además, se resalta la influencia que tiene el nivel de satisfacción por modo en la toma de decisión del agente y como la red social del agente influencia la toma de decisión sobre como desplazarse en la ciudad. El MBA propuesto para entender la movilidad de una ciudad emergente como Ibagué puede dar lineamientos a los diseñadores de política y a los decisores en el tema de movilidad, en el diseño, evaluación de los efectos potenciales y monitoreo de intervenciones para el sistema de movilidad de la ciudad. Adicionalmente, este modelo podría ser utilizado y replicado en otras ciudades emergentes de Latinoamérica para entender el sistema de movilidad y ayudar a la toma y evaluación de políticas en esta materia.

---

\*jose.meisel@unibague.edu.co

## Modelo de predicción de ruido producido por el tráfico vehicular urbano mediante redes neuronales artificiales

Autores: S S Castillo Domínguez<sup>1\*</sup>, J C Poveda D'Otero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería de Transporte y Vías. Uptc. Colombia

<sup>2</sup>Docente de Ingeniería de Transporte y Vías. Uptc. Colombia

Una de las principales causas de enfermedades en centros urbanos es la contaminación, siendo el ruido ambiental un problema con incidencia en la salud del ser humano. Según la OMS, el ruido producido por vehículos, aviones y trenes puede provocar insomnio, problemas cardiacos, de aprendizaje, enfermedades del *Tinnitus*, y alteraciones del sueño; por lo menos 300 millones de personas en el mundo perciben molestias acústicas, donde el 80% es producida por vehículos. Estudios en la ciudad se han enfocado en la medición de los niveles de presión sonora en Tunja, encontrando niveles que sobrepasan a los permitidos, por lo que es necesario formular modelos de predicción que permitan estimar el ruido en otras zonas de la ciudad, y establecer las variables más relevantes en la generación de ruido, además de una arquitectura de red acorde a la información suministrada. La metodología propuesta se estableció a partir de una revisión bibliográfica y de unos estándares mencionados en la resolución 0627 de 2006 para la toma de información de ruido vehicular, se eligieron 8 puntos de aforo, y un total de 118 registros, cada uno compuesto por 8 variables, incluida la variable objetivo ( $L_{eq}$ ), empleando información relevante como: velocidad, volumen vehicular, composición y pendiente. Con la información obtenida se establecieron diferentes tipos de arquitecturas de red neuronal artificial, para obtener el modelo más preciso. Para la ejecución de las redes neuronales artificiales se usó la extensión *neuraltoolbox* en MATLAB, variando la función de activación, algoritmo de aprendizaje y número de neuronas ocultas, con 20% de los registros destinados a conjunto de prueba, obteniendo como mejor desempeño una red con función de activación tangente sigmoidea, algoritmo *Levenberg-Maquardt* y 5 neuronas en la capa oculta, es necesario no sobre-entrenar la red para evitar el *overfitting* en los resultados. Para la validación de la red se realizaron 20 ejecuciones, con conjuntos de prueba aleatorios, distribuidos en 5 conjuntos con 4 ejecuciones, analizando para el conjunto de entrenamiento y prueba, características como: error máximo, media del error, desviación del error y correlación entre los resultados obtenidos y los esperados. La red definitiva obtenida tiene una media de error de 0.8 y 1.74 dB en entrenamiento y prueba, una correlación de Pearson de 0.919 y 0.803 respectivamente. Mediante el algoritmo *Garson*, las variables de mayor importancia en la predicción de ruido, son: velocidad, volumen, porcentaje de buses y pendiente. Finalmente se compara la red neuronal con modelos clásicos y formulados en la ciudad de Tunja, mostrando gran precisión del modelo. Para el caso de modelos locales la red es más precisa aun cuando se obtuvo menor cantidad de información de entrada respecto a los otros. El modelo presenta valores muy cercanos a los esperados, siendo confiable para la predicción de ruido vehicular. La variación de la arquitectura de la red permite establecer los componentes óptimos para las características locales, como algoritmo de aprendizaje y número de neuronas ocultas principalmente.

---

\*saul.castillo@uptc.edu.co



## Percepción de las políticas públicas del transporte de carga urbano en Barranquilla, Colombia

Autores: J Arellana<sup>1\*</sup>, D Suero<sup>2</sup>, O Carrillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Docente Universidad del Norte, Colombia. <sup>2</sup>Docente Universidad Libre, estudiante Doctorado Universidad del Norte, Colombia. <sup>3</sup> Estudiante X semestre Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Colombia

La zona centro de la ciudad de Barranquilla, Colombia, tiene actualmente un incremento exponencial de establecimientos de comercio, lo cual implica el incremento del flujo de mercancías. Las medidas para disminuir las externalidades como la contaminación ambiental, congestión vehicular, inseguridad y ocupación del espacio público por parte de las entidades distritales, aún no se han desarrollado al mismo ritmo. Para poder mitigar mencionadas externalidades los planeadores de políticas públicas pueden seleccionar aquellas que ya han sido exitosas en otros países, sin embargo, esto podría conllevar a un gran fracaso debido a las barreras que pueden presentarse a la hora de implementarlas. Para poder identificar las principales políticas que permiten disminuir las externalidades se realizó un análisis de la literatura a nivel mundial la cual se escogieron 58 políticas. Posteriormente el proceso consistió en realizar encuestas de percepción en la zona centro de la ciudad, a los principales actores mencionados en la literatura, como son: comerciantes, transportistas, transeúntes y residentes. La encuesta inicial se realizó a 120 actores y la definitiva a 384 actores. En la fase inicial se desarrolló una caracterización de cada establecimiento del centro de Barranquilla, con el propósito de identificar los principales sectores económicos de la zona a entrevistar. La segunda fase consistió en identificar las políticas de logística urbana a nivel mundial y seleccionar las más pertinentes en nuestro contexto con grupos focales de expertos, para así seleccionar 19 de 58 políticas consultadas. Los actores encuestados eligieron las tres políticas con mayor aceptación. Además, los resultados evidencian que la política con mayor aceptación fue la de *crear bahías* (estacionamientos junto al andén) para mejorar la carga y descarga de mercancía de camiones y reserva web de estos espacios con parquímetros o zonas azules. Para evitar el fracaso de implementar ciertas políticas, consideramos de vital importancia dar a conocer cuáles fueron las políticas de menor aceptación, como lo son peajes electrónicos y distribución nocturna de mercancías.

---

\*jarellana@uninorte.edu.co



## Sistema inteligente para transporte público tipo SETP

Autores: T Ramírez<sup>1\*</sup>, L Castañeda<sup>1</sup>, M Toro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial - GEMI. Medellín, Colombia. <sup>2</sup>Universidad EAFIT. Departamento de Informática y Sistemas. Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial - GEMI. Medellín, Colombia

Los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP) buscan transformar el servicio de transporte urbano en las ciudades intermedias de Colombia, con el objetivo de promover un modelo de transporte público colectivo y organizado que funcione sobre una plataforma tecnológica. Los SETP están contemplados en la Política Nacional de Transporte Urbano del país y su implementación en ciudades como Santa Marta, Montería y Sincelejo, donde la población oscila entre 250.000 y 600.000 habitantes, es de carácter obligatorio. Un buen ejemplo a nivel internacional es el de la ciudad de Pireo, en Grecia, con una población de 200.000 habitantes, la ciudad tiene que enfrentarse a enormes flujos de tráfico, algo que ahora funciona mucho mejor gracias a los sistemas de control de Siemens. Los tiempos de traslado se han reducido entre un 8 y un 12%, la contaminación atmosférica se ha reducido entre el 10 y el 17%, y los embotellamientos han disminuido entre un 20 y un 50%. En Colombia estos sistemas no han iniciado su completa operación en varias de las ciudades beneficiadas por los altos costos que tienen las tecnologías a adoptar, y esta es una de las causas que impiden la integración del transporte público urbano. Un caso es el SETP de la ciudad de Pasto, el cual tiene el mayor número de avances en términos operacionales, sin embargo, hubo diferencias financieras entre los diseños conceptuales y de detalles, a lo que se adiciona la falta de recursos territoriales. Para obtener recursos, el municipio tuvo que recurrir al apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo y al gobierno nacional. A fin de desarrollar un sistema costo eficiente para SETP, proponemos el desarrollo de una plataforma basada en Sistemas Inteligentes de Transporte y en Internet de las Cosas para controlar y mejorar la movilidad de los municipios donde se lleva a cabo su implementación, facilitando la integración tecnológica en dichos esquemas operacionales. Para nuestra solución, seguimos el marco de referencia estadounidense Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation. La metodología adoptada es la de diseño a través de la investigación, que cuenta con cinco fases: conocimiento del problema, sugerencia, desarrollo e implementación, evaluación del diseño y conclusión. En este trabajo obtuvimos cuatro resultados: (1) una aplicación móvil para caracterizar las rutas de buses, (2) una aplicación móvil para caracterizar los usuarios de transporte público, (3) una aplicación móvil para desincentivar el transporte informal y (4) una aplicación en la nube que coordina las anteriores y provee un tablero de datos para los tomadores de decisiones. En conclusión, esta plataforma de transporte inteligente para SETP podría reducir el transporte informal, permitiendo aumentar los usuarios de transporte público; reducir los costos de operación gracias a la caracterización de las rutas y los usuarios; y mejorar la satisfacción para estos últimos.

\*teramirez@unicesar.edu.co



# **Modos generales y temas transversales al transporte**

---



## Acoso sexual en el transporte público en Bogotá

Autores: L M Quiñones<sup>1\*</sup>

---

<sup>1</sup>Despacio, Colombia

Aunque en las últimas décadas se ha visto un avance en cuanto a la igualdad y el empoderamiento de las mujeres, aún hay muchos retos por abordar en estos temas. Entre ellos, y especialmente relevantes en las ciudades, están los problemas de violencia de género, incluyendo el acoso sexual en espacios públicos. A pesar de los varios efectos que tiene el acoso callejero en las mujeres, y la alta incidencia de este en distintos países, el tema no se ha estudiado a profundidad, y aún menos en ciudades del mundo en desarrollo. En este escenario, este estudio busca comprender cómo las mujeres en Bogotá experimentan el acoso sexual en los espacios públicos, específicamente enfocándose en el transporte público e incluyendo vehículos, estaciones, paraderos y rutas a pie desde y hacia los orígenes y destinos. Siguiendo este objetivo, el estudio utiliza un enfoque de métodos mixtos, incluyendo una encuesta en línea, así como entrevistas semi-estructuradas en profundidad. La información compilada muestra que el acoso sexual en el transporte público – y el espacio público – es generalizado en Bogotá, y las intersecciones con la edad y clase tienen un rol muy importante. Adicionalmente, los episodios de acoso sexual están ampliamente sub-reportados, y hay una percepción general de que reportar es inútil, lo cual se refleja en las historias de mujeres que han intentado reportar un incidente y se han enfrentado a múltiples dificultades. Finalmente, las políticas propuestas hasta el momento en Bogotá no han tenido éxito en cuanto a reducir el acoso sexual en el transporte público y, en muchas ocasiones, no abordan el problema. Por lo tanto, es necesario implementar un conjunto completo de políticas que se enfoquen en prevenir y reducir el acoso sexual en los diferentes espacios asociados con el transporte público.

---

\*lina@despacio.org

## Calidad de servicio de infraestructura para bicicletas: una aproximación desde las percepciones de los ciclistas

Autores: J A Vallejo-Borda<sup>1</sup>, D Rosas-Satizábal<sup>1</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Para cuantificar la calidad de servicio o desempeño de una infraestructura para bicicletas se han utilizado diversos enfoques, entre ellos el de nivel de servicio, satisfacción, confort y estrés. Estos enfoques generalmente relacionan el servicio percibido por los usuarios con variables que se pueden medir objetivamente, como características de la infraestructura, el tráfico o las interferencias. Aunque las percepciones han estado presentes para determinar la escala de calidad del servicio, la literatura muestra poca evidencia en el uso de percepciones de los usuarios sobre atributos, el contexto ni sus actitudes para explicar la calidad de servicio de una infraestructura de bicicletas. Por esta razón, el propósito de esta investigación es explorar los efectos causales que pueden generar las percepciones y actitudes de los ciclistas para explicar la calidad de servicio de una infraestructura. Los datos utilizados se obtuvieron a partir de una encuesta de interceptación aleatoria a ciclistas en 16 puntos que incluyen cinco tipos de infraestructura por donde circulan bicicletas (ciclorruta segregada, bici-carril no segregado en calzada, ciclorruta en acera, vía compartida con tráfico mixto y vías sin infraestructura para bicicleta) en la ciudad de Bogotá, Colombia. En esta encuesta se pidió a ciclistas que entregaran su percepción sobre diez atributos de la infraestructura y ocho preguntas actitudinales. Posteriormente se analizaron los datos por medio de un análisis factorial confirmatorio (CFA) y modelos de ecuaciones estructurales (SEM). Encontramos que las actitudes de los usuarios y la percepción sobre atributos tangibles (ej., pavimento) e intangibles (ej., placer) pueden explicar causalmente la calidad de servicio. Adicionalmente, también se identificaron tres variables latentes nombradas conveniencia, señalización, e interferencias que interactuando entre sí pueden también explicar la calidad de servicio. Estos resultados dejan en evidencia la experiencia sensorial implícita en los ciclistas al usar la bicicleta, al igual que aporta información para debatir sobre la necesidad de considerar las percepciones de los ciclistas al momento de planear sistemas de transporte para proveer un mejor servicio.

---

\*alvrodri@uniandes.edu.co

## El impacto de los pronósticos de demanda en la gestión de capacidad de pista

Autores: D Tascón Hoyos<sup>1</sup>, O Díaz Olariaga<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias y Tecnologías. <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

El ininterrumpido crecimiento del tráfico aéreo en Colombia ha venido reforzado desde la década de 1990 por una política pública de liberalización del espacio aéreo, y por el redireccionamiento de la inversión pública y privada hacia la modernización de las infraestructuras aeroportuarias. Las políticas públicas del sector condujeron a que en los últimos 25 años el transporte de pasajeros en Colombia creciera un 863%. Este importante crecimiento ha sido impulsado y liderado por el principal aeropuerto del país, el Aeropuerto de Bogotá-El Dorado (en adelante BOG). Pero algunos informes técnicos estiman que el aeropuerto llegará a su máxima capacidad a corto plazo, principalmente por su imposibilidad de ampliar su campo de vuelo (pistas). Debido a esta circunstancia, la autoridad aeronáutica de Colombia dio curso a la planificación, diseño y construcción de nuevo aeropuerto (complementario) a las afueras de la ciudad de Bogotá, el cual entrará en fase de diseño en 2020. Entonces, se estima oportuno, y de gran interés, el desarrollo de una prognosis de tráfico para BOG a corto plazo y evaluar el impacto de la demanda futura en la capacidad de pista del aeropuerto. Debido a la complejidad del pronóstico del transporte aéreo, el uso de la técnica de Dinámica de Sistemas se considera apropiada como metodología para la presente investigación debido a que con la misma se puede desarrollar un modelo para pronosticar la demanda de pasajeros aéreos y evaluar algunos escenarios relacionados con la capacidad de la pista de BOG. Una vez definidas un conjunto de variables de nivel, flujo y parámetros que se deben incluir en el modelo se definirán los límites del mismo, los subsistemas, las estructuras de causalidad y los flujos de niveles con los que se procede a cuantificar el modelo y simular escenarios, los cuales harán referencia a política de incremento de capacidad de pista en el aeropuerto objeto del caso de estudio. Para que, de esta manera, y acorde con los principios de la Dinámica de Sistemas, se logre una mejor comprensión de la conducta del sistema y como ésta emerge desde las interacciones de sus actores a través del tiempo, descubrir los procesos de realimentación que hipotéticamente están detrás de los patrones de conducta observados, identificar las relaciones de flujo y acumulaciones, reconocer demoras y develar comportamientos de carácter no lineal. Los datos para la investigación se obtienen de AEROCIVIL.

---

\*OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co

## Enfoque del modelo Sarima para pronóstico de pasajeros en vuelos nacionales en Colombia

Autores: L Garzón<sup>1\*</sup>, V Cantillo<sup>1</sup>, C León<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Norte, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Técnica del Norte, Ecuador

El transporte aéreo de Colombia se posiciona en el mercado de América Latina y el Caribe como el tercero con mayor incremento de operaciones. Este posicionamiento se debe a la dinamización del sector y a la suscripción de acuerdos internacionales para la liberación del espacio aéreo comercial. Este avance ha permitido la diversificación y aumento de la oferta de vuelos con nuevos operadores. Para alcanzar un crecimiento sostenible del sector, es necesario contar con una planificación que permita identificar los requerimientos de modernización y de creación de nuevas terminales aéreas. Dicha planificación debe estar organizada con respecto a la previsión de las operaciones nacionales en los terminales, lo cual se determina con base en la estimación de las cantidades de pasajeros. De esta manera, se consigue evitar la subutilización de los aeropuertos y exceso de la oferta de vuelos por parte de los operadores. En este contexto de planificación operativa, este trabajo pretende enfocar un modelo de pronóstico predictivo de corto plazo que permita determinar la cantidad de pasajeros en vuelos nacionales en Colombia. Para ello se aplica el enfoque del modelo Sarima en la serie de tiempo de pasajeros disponible en períodos mensuales sobre los cuales se ha realizado un filtro y ajuste previo de los datos mediante el suavizamiento Holt Winters. Para los fines consiguientes, se utilizan los registros mensuales de la cantidad de pasajeros de vuelos nacionales con frecuencias regulares registrados por Aerocivil durante el período 2005 a 2017. Por una parte, el método Winters permite el mejor filtro sobre la serie de tiempo, ya que toma en cuenta los movimientos estacionales de datos pasados, suavizar su aleatoriedad, tendencias y estacionalidad. Por otra parte, el modelo de pronóstico de corto plazo Seasonal Auto Regresive Integrated Moving Average (Sarima) incluye el análisis de efectos de estacionalidad con característica multiplicativa  $(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$  para detectar posibles efectos de autocorrelación. El resultado presenta un análisis de 5 modelos con las mejores características de 16 posibles. El modelo de pronóstico Sarima con características  $(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$  fue el más apropiado y presenta un error porcentual absoluto medio MAPE de 1.062. Este modelo de pronóstico predictivo de corto plazo presenta un alto rendimiento sobre los resultados calculados y puede ser aplicado dentro de la planificación operativa como una herramienta válida y de soporte para la toma de decisión. En el futuro como extensión del estudio sería adecuado considerar parámetros del mercado del transporte aéreo que podrían integrarse al modelo y caracterizar de mejor manera ciertas variaciones atípicas encontradas.

---

\*lagarzon@uninorte.edu.ec



## Evaluación del estrato como variable sustituta del ingreso en modelos de transporte. Caso de estudio para Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla

Autores: V Cantillo<sup>1\*</sup>, L Á Guzmán<sup>1</sup>, J Arellana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Andes, Colombia. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Colombia

Desde la estandarización de la metodología para su clasificación a nivel nacional en el año 1994, el estrato socioeconómico ha sido usado en diversos estudios como una variable sustituta de los ingresos del hogar. Esta práctica es habitual en el campo de la ingeniería de transporte, donde se suele aplicar en casos que no se cuenta con suficiente información económica para la estimación de modelos, lo cual es común si se tiene en cuenta que en ocasiones se evita preguntar directamente la información de ingreso de las personas, por razones de seguridad y disminuir su rechazo. En especial, hay casos como la última encuesta de movilidad a hogares de Barranquilla del año 2012, en la cual no se recolectó información del ingreso (solo del estrato). Sin embargo, la metodología para la clasificación de los estratos se basa únicamente en las características físicas de la vivienda, su entorno, servicios públicos y vías, sin considerar la capacidad económica o ingresos del hogar. La presente investigación tiene por objetivo evaluar la relación que existe entre el estrato y el ingreso, determinando si es consistente la suposición, ampliamente aplicada, que existe una correlación entre ambos. Este análisis se realiza para cuatro de las ciudades más importantes del país: Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, haciendo uso de encuestas de movilidad en hogares. A partir de esta información se estimaron modelos de regresión tipo logit ordinal, en los cuales la variable dependiente es el ingreso y las variables independientes incluyen estrato, características del hogar (tamaño, disponibilidad de vehículos) y número de viajes promedio diario por hogar. Los resultados del modelo de regresión que sólo considera estratos e ingresos sugieren que existe una relación entre ambos. Los hogares de menor estrato tienen mayor probabilidad de pertenecer a un rango de ingresos menor. No obstante, a medida que aumenta el estrato la relación pierde fuerza, ya que, para aquellos más altos, especialmente el 6, la probabilidad de pertenecer a las categorías de ingreso medio y alto es similar. Por otra parte, al incluir la disponibilidad de vehículo en el hogar dentro del modelo, la correlación entre estrato e ingreso es menos evidente. Si el hogar cuenta con auto o moto aumenta la probabilidad de pertenecer a un rango de ingreso mayor dado el estrato, en comparación con los que no cuentan con vehículo. En el caso de la bicicleta, no se evidencia un impacto significativo. Respecto al número de viajes por hogar, éste solo fue significativo para la ciudad de Cali. En conclusión, a pesar de que hay una correlación entre el estrato y los ingresos del hogar a nivel agregado, ésta no es tan fuerte para los estratos más altos, divergencia que se acentúa al incluir características del hogar como disponibilidad de vehículo. Esto significa que el estrato no explica el ingreso de manera confiable en el segmento de hogares que cuenta con vehículo a disposición, por lo que su uso como variable sustituta debe ser evaluado según el contexto del estudio.

\*va.cantillo@uniandes.edu.co

## La caminata como modo de transporte para las mujeres en 11 ciudades de América Latina

Autores: A Palacios<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>CAF, Regional

En países desarrollados, el índice de viajes a pie es considerado un efecto positivo de las políticas de movilidad y desarrollo urbano. No obstante, en Latinoamérica también significaría la existencia de barreras de acceso a la ciudad para los más vulnerables. Esta investigación utilizó como base el módulo de accesibilidad de la Encuesta de Hogares CAF (ECAH 2016) y las encuestas de movilidad disponibles para entender si la caminata, como modo preponderante para mujeres de 11 ciudades de América Latina, es una preferencia o efecto de una restricción de accesibilidad a otros modos de transporte. El propósito del trabajo es presentar el estado de la situación a nivel regional y así incentivar investigaciones futuras con foco en la caminata, no solo como modo predominante en la distribución modal de las ciudades de la región, pero también como modo contribuyente al acceso a oportunidades de desarrollo económico, social y político de hombres y mujeres. El presente trabajo descriptivo de enfoque cuantitativo muestra la posibilidad de que la movilidad de las mujeres se vea restringido por el triple rol que desempeñan: trabajo, cuidado del hogar y participación en su comunidad. El estudio observa que la proporción de mujeres que se desplazan a pie es casi dos veces mayor a la de los hombres. En las 11 ciudades que componen la muestra, en promedio el 20% de los encuestados utiliza la caminata como modo más frecuente para llegar a su actividad principal, de los cuales 65% son mujeres y 35% hombres. Si la actividad principal es el trabajo doméstico no remunerado, el 35% de mujeres viajan a pie, frente al 9% de los hombres. Esto muestra que una alta feminización de la informalidad laboral y la pobreza de tiempo derivada de la movilidad del cuidado llevan a que las mujeres se movilen a destinos cercanos a su hogar, y pone a consideración la posible existencia de barreras de acceso a otros medios de transporte, tales como el transporte público, en términos de costo, tiempo e inseguridad, resultando en una población de mujeres “cautiva” a los desplazamientos a pie. En una región, en donde las mujeres conforman la mayoría de los habitantes de zonas urbanas, las ciudades deben acompañar la creciente expansión de la mancha urbana con una distribución equitativa de la prestación de servicios y un sistema de transporte adaptado a las necesidades de hombres y mujeres por igual. Esto propone desafíos en la medida que se siga obviando la caminata como modo de transporte, no solo importante para la movilidad limpia y sostenible, sino también para el desarrollo integral de las personas. En general, el trabajo contribuye a iniciar un debate más profundo sobre la caminata y su intersección con los roles de género y captar otras dimensiones sobre la movilidad de otros grupos vulnerables como son los niños, los ancianos, y las personas con movilidad reducida.

---

\*apalacios@caf.com

## La estructura urbana del territorio y su incidencia en las dinámicas de movilidad. El caso del municipio de Funza - Cundinamarca

Autores: D Carvajal Rozo<sup>1</sup>, X C Velandia Villamil\*

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría en Ingeniería – Transporte, Universidad Nacional de Colombia

La estructuración urbana del territorio es variable e inciden aspectos sociales, políticos, económicos, culturales, entre otros que determinan las relaciones funcionales. A partir de estas, y de la estructura física como elemento y eje del desarrollo e integración local y regional, se derivan las dinámicas de movilidad que buscan atender las necesidades de la población. Es necesario analizar las transformaciones del espacio y su ocupación, para definir su relación con los retos que se afrontan respecto al sistema de movilidad. El propósito de este artículo es analizar los aspectos determinantes que hacen parte de la estructura urbana del municipio de Funza y que inciden en las dinámicas de movilidad interurbana y con la región, haciendo énfasis en la estructura física y la influencia del corredor Carrera Novena. Se realiza una caracterización de los aspectos morfológicos, funcionales y socioeconómicos, de acuerdo a información cartográfica y la encuesta de movilidad realizada en 2018 por parte de la alcaldía del municipio de Funza con la Universidad Nacional de Colombia. Adicional se identifican los indicadores de movilidad para el municipio y las características del corredor Carrera Novena definiendo su importancia como eje estructurador de la movilidad de la sabana de occidente. Finalmente se hace un análisis de la estructuración del territorio y las dinámicas urbanas que se presentan en el municipio, en donde se identifican aspectos como el incremento poblacional y cómo éste incide en el crecimiento urbano que tiende a fortalecer la conurbación con el municipio de Mosquera y los desarrollos de vivienda en las periferias de la zona urbana incrementando las necesidades de movilidad. En los principales hallazgos se define la relación Funza con la región y los principales modos de transporte usados por sus habitantes, en donde se identifica la participación modal del uso de la bicicleta con un 15,5% y a pie con un 39,2%, debido a la estructura compacta del territorio lo que permite evidenciar la necesidad de dar prioridad a los modos no motorizados. Otro hallazgo tiene que ver con la configuración territorial de Funza por cuadrantes, donde el papel de las vías principales propicia una fragmentación y desarticulación que tiene consecuencias en las dinámicas y flujos de movilidad. Se concluye que el municipio tiene unas dinámicas funcionales intensivas en relación a la vivienda y actividades como el trabajo y el estudio a nivel local, pero también con el municipio de Mosquera y Bogotá, sin embargo, una de las principales relaciones del territorio y la movilidad que se da en la región es el uso de Funza como corredor de paso, aunque representan un bajo porcentaje respecto al total de viajes, generan impactos sobre la movilidad del municipio.

---

\*xcvelandiav@unal.edu.co

## Las mujeres y el transporte en Bogotá: las cuentas 2018

Autores: M Moscoso<sup>1\*</sup>, J S López<sup>2</sup>, V Montoya-Robledo<sup>3</sup>, L Quiñonez<sup>1</sup>, C Adriazola-Steil<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Despacio, Colombia. <sup>2</sup>WRI Ross Center for Sustainable Cities, EEUU. <sup>3</sup>Harvard University, EEUU.

La publicación "Las mujeres y el transporte en Bogotá: las cuentas 2018" buscó investigar la experiencia actual de las mujeres en el sistema de transporte de Bogotá en relación con las políticas y normas, los patrones de movilidad, la seguridad y el acoso sexual y el empleo, y qué aspectos se pueden encontrar exclusivamente en Bogotá o son similares a la experiencia internacional. La investigación también tuvo como objetivo responder, con los datos disponibles, cómo podemos explorar en detalle los problemas que enfrentan las mujeres en el transporte y cómo podemos mejorar los análisis con perspectiva de género. Los métodos utilizados incluyeron el análisis de datos cualitativos y cuantitativos, la revisión y el análisis sistemático de la regulación, la recopilación de datos oficiales del gobierno local, el análisis cuantitativo de la encuesta de movilidad sobre accesibilidad, seguridad vial y ciclismo, con un componente de análisis SIG. En relación con normas y políticas públicas se encontró que no hay una ruta clara de atención en casos de acoso sexual y que tampoco está bien definido qué es el acoso sexual según la norma. En cuanto a políticas públicas la mayoría de las campañas y programas que se han implementado están enfocadas mayoritariamente en combatir el acoso sexual en el transporte público, dando poca atención a la accesibilidad de las mujeres a la ciudad y a la paridad de género en las instituciones y empresas del sector. En términos de seguridad vial se observó que tanto el riesgo relativo de ser víctima, como la probabilidad de estar involucradas en siniestros, es menor para las mujeres, en comparación con los hombres, lo que implica que un sistema de transporte inclusivo mejoraría la seguridad vial de todos. En términos de seguridad personal y acoso se observó que, aunque los datos muestran una problemática grave, hace falta mejorar la recolección de cifras para generar mejores acciones. Por último, se observó que en Bogotá hay una buena paridad de género en las entidades distritales, sin embargo, en el caso de las conductoras de transporte público se observa un rezago significativo en la inclusión de mujeres.

---

\*marina@despacio.org

## Mantenimiento 4.0 en vehículos de transporte urbano: caso de estudio Volkswagen Gol

Autores: G A Villegas López<sup>1\*</sup>, L M Dueñas Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad EAFIT, Colombia

El auge de la transformación digital de las empresas, de la mano del creciente avance en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), y su enorme uso en los procesos industriales, han impulsado los inicios de la Industria 4.0, permitiendo la integración entre sistemas, máquinas y personas en Sistemas Ciberfísicos (CPS). Estos cambios tecnológicos de la maquinaria y equipo desencadenan formas diferentes de intervenirlos y mantenerlos. Este trabajo busca exponer las preocupaciones más urgentes e importantes en las que debe enfocarse el área de mantenimiento en esta nueva era industrial. El presente trabajo se basa en la revisión de las recomendaciones de mantenimiento establecidas por el fabricante del Volkswagen Golf en los manuales de usuario de los modelos de las diferentes generaciones comercializadas desde la década de los 70`s hasta hoy (más de 40 años de evolución tecnológica). Los cambios en las intervenciones de mantenimiento y su actual forma de fabricación permiten inferir las necesidades futuras que deben ser atendidas bajo un esquema de Mantenimiento 4.0 y estas conclusiones llevarlas a equipos y sistemas en la industria actual.

---

\*gvillega@eafit.edu.co

## Mapa cognitivo peatonal sobre la calidad de servicio percibida en aceras urbanas

Autores: J A Vallejo-Borda<sup>1\*</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

El nivel de servicio es una estratificación cualitativa que se ha utilizado para medir el desempeño o calidad de servicio que entrega una infraestructura de transporte. Sin embargo, para medir este desempeño también se han utilizados indistintamente aproximaciones tales como calidad de servicio, satisfacción, placer y confort. En el caso peatonal, se han utilizado principalmente características físicas de las aceras y del flujo peatonal para posteriormente relacionarlas con la calidad de servicio de la acera. Sin embargo, a pesar de que la caminata involucra experiencias sensoriales con el entorno por parte de los peatones, hay poca información en la literatura que pueda explicar la calidad de servicio peatonal por medio de percepciones de los peatones sobre atributos presentes en la caminata. Por esta razón, el propósito de esta investigación es entender la calidad de servicio percibida por medio de la creación de un mapa cognitivo peatonal, explorando los efectos causales que generan las percepciones de los peatones al caminar. Para esto se recolectaron 1056 encuestas aleatorias de interceptación en 30 puntos de Bogotá, Colombia. En esta encuesta se preguntó a los peatones por la percepción sobre 43 atributos de la acera y sus alrededores en una escala Likert de 0 a 10. Posteriormente, los datos se analizaron por medio de modelos de ecuaciones estructurales (SEM) debido al consenso existente en el uso de este tipo de modelos cuando se trabaja con percepciones. En los resultados se encontró que las características de la acera son las que aportan mayor utilidad al momento de calificar la calidad de servicio percibida por los peatones. Adicionalmente, se identificó que la percepción que los peatones tienen sobre el entorno del lugar en el cual caminan también aporta a la utilidad de la percepción de calidad de servicio, pero en menor medida. Con estos resultados logramos expandir el conocimiento alrededor de la medición de calidad de servicio peatonal al involucrar exitosamente percepciones que permiten evidenciar las causas de la percepción de calidad de servicio para los peatones. Adicionalmente, en esta investigación se entrega un mapa cognitivo peatonal que sirve como herramienta para identificar los atributos que potencian la percepción de calidad de servicio peatonal o mitigan efectos negativos que puedan afectarla.

\*ja.vallejo907@uniandes.edu.co

## Medición de eficiencia aeroportuaria. El caso de aeropuertos privatizados colombianos

Autores: L Pulido Moreno<sup>1</sup>, O Díaz Olariaga<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Industrial. <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

La evaluación de la eficiencia aeroportuaria ha sido un área de investigación en auge en los últimos años. Estas evaluaciones son importantes para todos los actores de la industria, operadores de aeropuertos (públicos y privados), organismos reguladores, gobiernos (locales, regionales y nacionales), y aerolíneas. Por ello, en los últimos 15-20 años se han publicado una gran cantidad de artículos sobre eficiencia aeroportuaria. En lo que refiere a las técnicas específicas adoptadas en las investigaciones el Análisis Envoltante de Datos, más conocido como DEA (Data Envelopment Analysis), es uno de los más utilizados. Entonces, la presente investigación, uno de cuyos objetivos fue cubrir el vacío en la literatura científica en el tema a nivel geográfico (principalmente a nivel Colombia), tomó como caso de estudio o de aplicación para la medición de la eficiencia aeroportuaria un conjunto de aeropuertos de Colombia, los más importantes del país, y en el presente con gobernanza privada. Y todo ello en un contexto de mercado liberalizado del transporte aéreo (en donde se privatizaron los aeropuertos más importantes del país), incluida la total desregularización de las tarifas aéreas, de considerable nivel de inversión global en infraestructura aeroportuaria, pública y privada, y de alto crecimiento (del tráfico aéreo) mantenido en las dos últimas décadas. En definitiva, resulta de gran interés conocer y medir la eficiencia de los aeropuertos privatizados en Colombia. Y la metodología utilizada para realizar el estudio es el Análisis Envoltante de Datos (DEA). Las variables utilizadas fueron del tipo técnico (relacionadas a la infraestructura existente), de transporte aéreo (pasajeros, carga, movimientos), de oferta y cobertura (aerolíneas y destinos), de operación/explotación (número de empleados), y sobre el comportamiento de la demanda de pasajeros (factor de carga). Como aporte original, este estudio utilizó un gran número de variables, muchas más de las que habitualmente se utilizan en este tipo de estudio (según una pormenorizada revisión de la literatura internacional existente), lo que ayudó a precisar los resultados obtenidos, y de entre éstos destacar altos niveles de eficiencia, en especial en los años recientes y en casi todos los aeropuertos analizados. Los datos se obtuvieron de AEROCIVIL y de la ANI (Gerencia de Aeropuertos).

---

\*OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co

## Modelación conjunta de la elección de aerolínea y hora de salida del vuelo con datos desagregados. Caso de estudio para Medellín, Colombia

Autores: O Mendieta<sup>1</sup>, V Cantillo<sup>2\*</sup>, V Cantillo-García<sup>1</sup>, J Cantillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Proyectos Técnicos Ltda., Barranquilla, Colombia. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. <sup>3</sup>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España

El comportamiento de los usuarios, sus percepciones, preferencias y procesos de elección de aerolínea y hora de salida del vuelo son un tema relevante en el campo del transporte aéreo, debido a su relevancia sobre la planeación y operación del sistema. Sin embargo, muchos de los enfoques de modelación actuales los han considerado como decisiones aisladas, y solo algunos los han contemplado como un proceso de elección integrado. La presente investigación modela el proceso de elección conjunta de usuarios de transporte aéreo relacionado con un conjunto de alternativas conformado por la combinación de aerolínea y hora de salida del vuelo. La metodología a implementar consiste en el uso de modelos tipo logit multinomial (MNL) y jerárquico (HL) para analizar las preferencias y comportamiento de los viajeros en su proceso de elección, identificando los atributos observables de los usuarios que afectan la decisión, correlaciones entre las alternativas y estimando patrones de sustitución, incluyendo valor subjetivo del tiempo (VOT), correlaciones directas y cruzadas para costo de tiquete, tiempo de viaje y hora de salida. La investigación se basa en el caso de estudio del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia), en donde existen dos aeropuertos en competencia, el Aeropuerto Internacional José María Córdova (MDE) y el Aeropuerto Enrique Olaya Herrera (EOH), ambos operados por el mismo concesionario. Para la estimación de los modelos se usaron encuestas de Preferencias Reveladas (PR) y se especificó un modelo logit multinomial y dos logit jerárquicos, encontrando que los jerárquicos se ajustan ligeramente mejor. Los resultados sugieren que los viajeros con propósito negocio son más sensibles al tiempo de viaje, en comparación con aquellos que viajan por otra razón. Por otra parte, la diferencia entre la hora preferida y la hora real de salida de los usuarios afecta negativamente la probabilidad de escoger determinada alternativa. El presente estudio provee información del contexto del transporte aéreo en Colombia, el cual ha sido poco revisado en la literatura, resaltando la importancia de modelar la selección de aerolínea y hora de salida de manera conjunta, considerando que son alternativas relacionadas e interdependientes unas de otras, dado que algunas horas podrían estar ligadas a ciertas compañías.

---

\*victor.cantillo@uninorte.edu.co



## Potencial de implementación de estrategias de espacio compartido como aporte a la movilidad sostenible en Medellín

Autores: H Barrera-Jiménez<sup>1\*</sup>, L I Agudelo-Vélez<sup>2</sup>, Á Mejía-Gutierrez<sup>2</sup>, I Sarmiento Ordosgoitia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Colombia  
Estudiante Investigador Visitante, Universidad de Columbia Británica, Canadá

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

La implementación de sistemas para la movilidad urbana es en esencia un fenómeno urbanizador, ya sea como causa o como efecto. La generación y renovación del medio ambiente construido se da en indivisible relación con el espacio disponible y las actividades humanas; la oferta y demanda de sistemas de movilidad puede y debe entenderse como dinámica social y física (causa), y no sólo como la provisión de un servicio (efecto). Claro ejemplo de esto puede ser el *Desarrollo Basado en Sistemas de Transporte Público*, que es una práctica (estructurada e institucionalizada o, de hecho) que tiene como factores comunes: i. Uso mixto y de alta densidad del suelo. ii. La cercanía, funcionalidad y eficiencia de sistemas de transporte público. iii. Urbanismo conducente al uso y apropiación del espacio y del sistema de movilidad. iv. Compacidad. v. Espacio construido (infraestructural, habitacional, institucional y económico) amigable con los peatones y ciclistas. vi. Oferta de espacio público y cívico cercano. vii. Las estaciones o puntos de acceso a los sistemas de movilidad como centralidades ciudadanas. Ante la condición inamovible de carencia de espacio desarrollable en Medellín, la desarticulación institucional y la desconexión social, los procesos informales de ocupación, la historia local y otros fenómenos enmarcados en complejidad, evidenciados en la etapa de diagnóstico del Plan Integral de Movilidad Sostenible de Medellín, en la etapa de formulación del referido plan se ha planteado como posible solución a las problemáticas identificadas, la implementación de algunos Espacios Compartidos como estrategia interdisciplinaria. La práctica “emergente” de Espacio Compartido es caracterizada por la minimización de los patrones e intervenciones de segregación entre modos y por tanto entre usuarios del sistema de movilidad. Partiendo de distintas ideas permite la integración de saberes en la búsqueda de una movilidad sostenible. El objetivo y enfoque de esta iniciativa es, en esencia, reconciliar la movilidad con otras funciones cívicas de las calles y los espacios públicos urbanos. Incluyendo variables espaciales, sociales, económicas, ambientales y de ingeniería, obtenidas de las herramientas de planificación territorial de la ciudad, recorridos e interpretaciones de campo, Encuesta Origen-Destino 2017 y Modelos de Transporte, en una revisión del potencial para la implementación de esta estrategia en la ciudad, se han identificado casos tanto *de facto* como sitios con características particulares de un uso estructurado e institucionalizado de los Espacios Compartidos para la provisión de zonas con movilidad sostenible. Para cada sitio se presentan las condiciones actuales y proyectadas, los aspectos a favor y en contra de una posible implementación y se realiza una priorización. Después de analizar más de 130 km de vías arteriales de Medellín, se escogen 11 puntos que cumplen con las condiciones para plantear los Espacios Compartidos. A partir de los resultados, se concluye tanto la necesidad como la capacidad de intervenir en la ciudad desde enfoques interdisciplinarios para actuar en problemáticas urbanas que tradicionalmente han sido vistas como un campo de estricto dominio de la ingeniería y que logra redefinirse enriqueciendo sus conceptos al integrar (conectar, añadir, ajustar iterativamente) elementos (conocimientos y saberes) desde diferentes enfoques.

\*hbarrer@unal.edu.co

## Prognosis de tráfico aéreo mediante DLM (Dynamic Linear Models). Aplicación al caso del Aeropuerto de Bogotá-El Dorado

Autores: Y Rodríguez<sup>1</sup>, W Pineda<sup>1</sup>, O Díaz Olariaga<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estadística. <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

El crecimiento del tráfico aéreo en Colombia ha venido reforzado desde la década de 1990 por una política pública de liberalización del espacio aéreo, y por el re-direccionamiento de la inversión pública y privada hacia la modernización y actualización de las infraestructuras aeroportuarias. En el sector aerocomercial, y en este mismo periodo, se privatizó la línea aérea de bandera e ingresaron al mercado nuevos operadores aéreos. Desde el año 2012 las tarifas aéreas están totalmente desreguladas. Como resultado de las políticas públicas y de inversión, en los últimos 25 años el transporte de pasajeros en Colombia creció un 863%. Este importante crecimiento ha sido impulsado y liderado por el Aeropuerto de Bogotá-El Dorado (en adelante BOG). Pero tanto los planes maestros de BOG como varios estudios técnicos, estiman un crecimiento de la demanda que la capacidad del aeropuerto actual (y futura) no podrá acomodar. Esta situación dio curso a la aprobación y planificación de nuevo aeropuerto a las afueras de Bogotá, el cual entrará en fase de diseño en 2020. Entonces, se estima de interés el desarrollo formal y (estadísticamente) riguroso de una prognosis de tráfico para BOG, al menos a corto plazo. Por ello, la presente investigación desarrolla una prognosis del tráfico aéreo para BOG, y como metodología de cálculo se utiliza Dynamic Linear Models (DLM), los cuales son utilizados en la modelización de series temporales. Con su uso se busca obtener pronósticos usando distribuciones de variables estocásticas que influyen en las observaciones en el tiempo dada nueva información, y con respecto a las metodologías habituales de cálculo de pronóstico presenta las siguientes ventajas: detecta tendencias estocásticas que se encuentran ocultas en las series de tiempo, así como la detección de cambios estructurales que permiten estimar el efecto variable en el tiempo de choques exógenos sin aumentar el número de parámetros. Adicionalmente, la estructura de independencia condicional sobre la que se basa la dinámica del estado, permite considerar predicciones considerando un algoritmo recursivo. Y con el fin de determinar la fortaleza en términos numéricos del modelo propuesto se utilizará el Mean Absolute Percentage Error (MAPE), el cual mide el tamaño del error (absoluto) en términos porcentuales. Los datos para la investigación se obtienen de AEROCIVIL.

---

\*OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co

## Pronóstico de la demanda de pasajeros aéreos en rutas principales nacionales y en contexto de liberalización. El caso de Colombia

Autores: C Ortiz Prieto<sup>1</sup>, O Díaz Olariaga<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

El proceso de liberalización del transporte aéreo en Colombia inicia en 1991. La liberalización implicó, por un lado, la entrada de capital privado en el sector aeroportuario, lo que condujo, en varias fases temporales, a la privatización de los principales aeropuertos del país. Por otro lado, hubo una entrada al mercado de nuevos operadores aéreos. Esta nueva situación del mercado, ayudado por la desregularización total de las tarifas aéreas (en el año 2012), generó un dinámico y mantenido crecimiento del transporte aéreo en Colombia desde hace dos décadas. En este contexto de liberalización, en el presente artículo se realiza un pronóstico (a corto plazo) del tráfico aéreo de pasajeros domésticos en las denominadas "rutas principales nacionales" que son aquellas que mueven el mayor tráfico de pasajeros de la red aeroportuaria colombiana. Los resultados de la investigación ayudarán a comprender como ha evolucionado, y evolucionará a corto plazo, la conectividad territorial vía aérea en el país, ya que las rutas principales nacionales conectan los principales centros urbanos del país. Los resultados también mostrarán la importancia del transporte aéreo en la cohesión territorial, en un país con una compleja y accidentada geografía (que dificulta la conectividad), con una importante deficiencia en infraestructura vial (aunque mejorando) y un inexistente sistema de transporte ferroviario de pasajeros. La metodología utilizada para la realización de los pronósticos se centrará en encontrar las variables económicas que, en el periodo de tiempo estudiado, han tenido una mayor relación con el desarrollo que ha tenido la demanda de pasajeros en el país. Para esto, se utilizará una comparación de modelos estadísticos que permitan obtener proyecciones ajustadas a las variables existentes y generan un modelo predictivo acertado y consistente. Usando el paquete computacional "R" se utilizarán distintos modelos de correlación para obtener modelos con factores de ajuste apropiados para el contexto colombiano. Esta clase de modelos predictivos permiten obtener tendencias bastante precisas, que pueden ser utilizadas en conjunto con predicciones económicas secundarias, para obtener una perspectiva de demanda del transporte aéreo en el país, al menos, en el corto plazo. Los datos para la investigación se obtienen de AEROCIVIL. La investigación está en curso por lo que aún no se disponen de resultados que destacar ni conclusiones que mencionar / comentar.

---

\*OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co



# **Planificación y políticas de transporte**

---



## ¿Por qué TransMilenio en Bogotá está en crisis?

Autores: L D Gómez Rodríguez<sup>1</sup>, Á M Herrera Puyana<sup>2</sup>, M F García Fonseca<sup>3</sup> D Morales<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Despacio, Colombia. <sup>2</sup>Organización Internacional del Trabajo, Colombia.

<sup>3</sup>Apprentis d'Auteuil, Colombia. <sup>4</sup>Grupo jurídico Callfiandi SAS, Colombia

Las administraciones de las urbes más pobladas del subcontinente, que presentan complejos problemas de movilidad, han implementado distintos sistemas de transporte masivo para intentar solucionarlos. Bogotá adoptó el sistema BRT (TransMilenio) en el año 2000 y pronto se convirtió en un referente a nivel mundial. Este sistema se fundamentó en los principios de calidad de vida, respeto al tiempo de los usuarios, costo y sostenibilidad, constituyéndose en una nueva alternativa de movilidad para los habitantes de la ciudad. Aunque fue en principio una solución a los problemas de movilidad, con el paso del primer quinquenio, el sistema comenzó a presentar problemas que se han intensificado durante los años siguientes, desembocando en una profunda crisis multidimensional del sistema, que puede examinarse desde la dimensión financiera, técnica, sociocultural, ambiental y administrativa. De estos factores, el ensayo afirma que los problemas a nivel político son los menos estudiados y los que explican en gran parte el deterioro del sistema. Este cuadro de crisis multicausal está relacionado con la tensión entre el interés privado y la prestación efectiva de un servicio que genere bienestar social, por lo que este texto analiza la necesidad de una regulación constante, transparente y efectiva para que el sistema logre un equilibrio entre ambos elementos. En consecuencia, la investigación busca dar respuesta a la pregunta: ¿por qué el sistema de transporte TransMilenio está en crisis? La respuesta inicial al interrogante es que, como resultado de una escasa y deficiente regulación por parte del Estado, y en el contexto de un país con una débil descentralización, el Sistema debe su crisis a la consolidación de un monopolio de operadores privados en la prestación del servicio y a la prevalencia del fin de lucro capitalista, sin claros y eficaces controles, sobre la prestación de un servicio de transporte público efectivo. La investigación parte del enfoque de la Nueva Economía Institucional, que está centrado en el estudio de las instituciones de segundo nivel, es decir, del entorno institucional, que incluyen normas, leyes, etc., y las de tercer orden, donde toman importancia las relaciones contractuales. En consecuencia, hace un análisis cualitativo a partir de fuentes secundarias sobre las acciones regulatorias que ha tenido el gobierno nacional y local sobre las irregularidades que se presentan en el sistema. Concluye el artículo que en la relación entre TransMilenio y el Distrito es evidente que se privilegia la función de generar incentivos para los privados o el beneficio personal de funcionarios del Gobierno, lo cual deteriora y hace precaria la función de monitorear el funcionamiento del sistema. Evidencia de ello, son las pocas sanciones que ha recibido el sistema, en comparación con las múltiples denuncias que se hacen de este y de sus operadores por sobrecostos, incumplimiento de plazos y mal servicio. A lo anterior, el texto sugiere la existencia de una estructura permisiva de la administración pública de Bogotá y la precariedad de los instrumentos jurídicos y administrativos sancionatorios.

---

\*daniela@despacio.org

## Análisis de políticas públicas a partir de planificación por escenarios

Autores: G C Lleras Echeverri<sup>1\*</sup>, M A Guzmán Roa<sup>1</sup>, A M Sepúlveda Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Steer, Colombia

En el marco del proyecto de consultoría contratado por la Secretaría Distrital de Movilidad para la revisión y actualización del Plan Maestro de Movilidad se planteó una metodología a partir del concepto de planificación por escenarios, el cual tiene como objetivo proveer un marco para el análisis de políticas de largo plazo. Esto se realizó con el fin de definir y evaluar las acciones que harían parte del Plan de Movilidad de Bogotá. La visión de planificación basada en escenarios y estrategias de tipo FAR (flexible, adaptativa y robusta) es contra intuitiva para la planificación tradicional acostumbrada a definir acciones para un único escenario futuro definido por “pronósticos oficiales”. Sin embargo, la práctica general ha encontrado que la definición de acciones para atender un futuro oficial en la mayoría de los casos pierde validez rápidamente pues ese futuro pocas veces se cumple. En ese sentido la determinación de la estrategia óptima para llegar al futuro “oficial” asume que se tiene control sobre todos los eventos que determinan el futuro. Para la evaluación de las acciones propuestas en el Plan de Movilidad, se definieron cuatro escenarios diferentes que corresponden a secuencias de posibles eventos que definen el futuro de la ciudad. Estos eventos deben ser coherentes entre sí y cuentan una historia de desarrollo para Bogotá y la región. Esto se realiza a partir de la modificación de factores que caracterizan las narrativas de estos escenarios, los cuales se denominan motores de cambio, relacionados con variables fundamentales, con las cuales se pretende generar el contexto completo del escenario que se desea representar. Estas narrativas corresponden a una fracción de todas las narrativas posibles de ciudad, es así como la planificación por escenarios contempla millones de posibles combinaciones de motores de cambio. Sin embargo, según la metodología utilizada, se realizaron análisis de correlación, influencia y consistencia que permitieron seleccionar los escenarios planteados. La evaluación técnica de las acciones propuestas en el Plan de Movilidad se realizó utilizando el modelo de transporte de la ciudad, que se desarrolla a partir de lo planteado anteriormente, es decir, se simuló cuatro escenarios futuros con las narrativas definidas a partir de modificaciones de los motores de cambio, y sobre estos se evaluaron las acciones propuestas para el Plan de Movilidad. A partir del resultado de estas simulaciones se definieron las acciones que hacen parte integral de la propuesta para la ciudad de Bogotá, de acuerdo con las necesidades encontradas y la visión y objetivos propuestos. La utilidad de utilizar esta metodología para la formulación de políticas de transporte es generar una herramienta que permita representar una muestra de diferentes futuros, para evaluar de una manera más amplia que la tradicional las acciones planteadas, teniendo en cuenta el nivel de incertidumbre propio del desarrollo de las ciudades.

\*German.Lleras@steergroup.com



## Análisis de preferencias por infraestructura para bicicleta

Autores: J A Suárez P<sup>1\*</sup>, Y F Molina G<sup>1</sup>, L Márquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Bogotá enfrenta serios problemas de contaminación ambiental causados, en parte, por el transporte. Un problema importante, presente en la mayoría de las ciudades del mundo, es la predilección de los modos motorizados privados de transporte, principalmente el automóvil y la motocicleta. Las grandes ciudades tienen el desafío de incentivar el uso y propiciar el cambio hacia formas sostenibles de transporte. Dentro del transporte sostenible los principales modos no motorizados son la caminata y el ciclismo. Por sus características y ventajas, la bicicleta es una alternativa viable al transporte motorizado en viajes cortos. La ciudad planea proveer más kilómetros de infraestructura para bicicleta, con el fin de seguir promoviendo su uso. Resulta interesante, entonces, estudiar desde la perspectiva de los potenciales usuarios, cuáles serían sus preferencias por infraestructura para bicicleta, de tal manera que los tomadores de decisiones puedan incorporar este nuevo conocimiento en la definición de políticas y programas que promuevan el uso de esta opción de transporte. El presente trabajo tuvo como objetivo general analizar las preferencias por tipo de infraestructura para bicicleta de los ciclistas bogotanos, con base en la estimación de modelos de elección discreta a partir de atributos observables de la infraestructura. Los siguientes objetivos específicos del trabajo se relacionan a continuación: identificar atributos medibles que los usuarios consideran a la hora de elegir un tipo de infraestructura; adaptar instrumentos de toma de información para incorporar atributos de la infraestructura en encuestas de preferencias declaradas; modelar las preferencias de los ciclistas para identificar el efecto de los principales atributos de la infraestructura; implementar indicadores de Likert para describir variables latentes asociadas al comportamiento de los ciclistas. La información se recolectó a través de una encuesta de preferencias declaradas. En la encuesta se incluyeron las siguientes variables, identificadas con base en una revisión de literatura relacionada, para ser estudiadas: infraestructura, tiempo de viaje, tipo de tránsito y complementos a la infraestructura. La información se tomó en las localidades de Bogotá con más kilómetros de infraestructura ciclista. Los resultados de la modelación muestran que los coeficientes de los parámetros asociados a los atributos tienen signos que son los que se esperaban. El parámetro del tiempo es negativo lo cual es consistente dado que las rutas cortas se prefieren. De acuerdo con los signos de los coeficientes de los parámetros asociados a los complementos de la infraestructura, puede verse que los encuestados perciben positivamente la existencia de estacionamientos y casilleros gratis. Puede verse también que, con base en las constantes específicas, los encuestados prefieren la infraestructura sobre andén, por encima de la infraestructura en calzada. En conclusión, los resultados de los modelos de elección muestran que las variables utilizadas en la modelación son significativas para los ciclistas, y las variables mudas en orden de importancia son la infraestructura, los complementos, y el tránsito. Los encuestados prefieren la infraestructura sobre andén, y en la infraestructura en calzada prefieren el bicicarril separado con tachas viales sobre la ciclobanda separada con pintura.

\*jesusantonio.suarez@uptc.edu.co

## Análisis del sistema de transporte público provisional bajo el marco de la implementación del sistema integrado de transporte público (SITP) en la ciudad de Bogotá, Colombia

Autores: M F Cortés Durán<sup>1\*</sup>, C E Vergel-Tovar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesional en Gestión y Desarrollo Urbano, Universidad el Rosario, Bogotá- Colombia.

<sup>2</sup>Programa Gestión y Desarrollo Urbano GDU, Facultad de Ciencia Política, Gobierno y Relaciones Internacionales Universidad del Rosario

El sistema de transporte público de Bogotá, en la actualidad, hace parte de un proceso de integración que hasta el momento ha tenido dificultades para lograr su culminación. Dentro de los aspectos que intervienen en este contexto están, por un lado, la oferta del Sistema Tradicional de Transporte (actualmente denominado Sistema Provisional - SP) y el esquema de negocio conocido como 'Guerra del centavo', donde los operadores compiten por los usuarios; y por otro lado, el proceso de implementación del Sistema Integrado de Transporte Público- SITP, que tiene como propósito integrar bajo una misma operación el sistema TransMilenio (BRT), las rutas urbanas, especiales, complementarias, alimentadoras, los cables aéreos y el futuro metro de la ciudad. A partir de esa situación surge el objeto de esta investigación, que es comprender el modelo bajo el cual opera el SP en aras de formular recomendaciones que contribuyan a su proceso de integración como parte del SITP. Para cumplir con dicho objetivo, este proyecto adelanta un análisis mixto con el fin de identificar las diferencias y similitudes entre el SITP y el SP, y las ventajas comparativas que tiene el SP frente a la oferta formal de transporte público. El proyecto también busca determinar los factores que explican la permanencia del SP como parte de la oferta de transporte público, enfocándose en los elementos que caracterizan su operación y que pueden limitar su integración como parte del proceso de formalización que adelanta el Distrito Capital. El análisis que realiza esta investigación se construyó a la luz de seis categorías (demanda, flexibilidad, cobertura, operación, externalidades, equidad, informalidad). La recopilación de los datos de carácter cualitativo se hizo a través de entrevistas semiestructuradas, aplicadas a actores clave del SP (usuarios, conductores, calibradores, operadores, y planificadores) con el fin de comprender el modelo de operación de ese sistema. Mientras que, el análisis cuantitativo, se dio con base en los datos recolectados de las rutas del SP en Bogotá en miras a realizar un análisis de accesibilidad. A partir del análisis mixto se identificaron similitudes entre el SP y SITP, la mayoría relacionadas con las desventajas de los sistemas. La comparación arrojó que el SP cuenta con unas ventajas que, en algunos casos, lo ubican en una posición más favorable respecto al SITP. Además, se identificó que dentro de esas ventajas están los factores que explican la permanencia del SP. Por último, se determinó que los elementos del SP que limitan su formalización e integración, son los mismos elementos que le atribuyen sus ventajas. La formalización o integración de este sistema al SITP tal y como funciona actualmente implicaría la pérdida de los beneficios que acarrea un sistema semi-informal. Con base en lo anterior se recomendaron sugerencias de política.

---

\*cortesduranfernanda@gmail.com

## Análisis preliminar de trazado, demanda y accesibilidad del futuro tren ligero de Trujillo en Perú

Autores: D Alzamora Benites<sup>1\*</sup>, S Monterrosa Garcés<sup>2</sup>, I Sarmiento Ordosgoitia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de arquitectura y urbanismo, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

<sup>2</sup>Estudiante de ingeniería civil, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Colombia.

<sup>3</sup>Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Colombia

El constante crecimiento de la periferia debido al desmedido aumento en la población y la ausencia de planificación urbana, origina dentro de las ciudades latinoamericanas una ocupación ilegal de terrenos y una ruptura en la trama urbana. Esto genera una desintegrada y discontinua red de transporte urbano, limitando la accesibilidad de servicios a ciertos sectores de las metrópolis. Asimismo, las redes de transporte urbano determinan las pautas de movilidad de una región y en ciudades de América Latina son sinónimo de desarrollo; pero en algunos contextos, como en el caso de Trujillo no logran brindar la cobertura que el territorio necesita, generando caos en el funcionamiento de la ciudad, principalmente en el transporte, lo que origina un excesivo tiempo en los viajes y una baja calidad de servicio para los usuarios. Trujillo es la tercera área metropolitana con más población en Perú, que según el último censo alberga a 970 mil habitantes, con una tasa aproximada de crecimiento del 1.2% anual, y que además presenta un reparto modal que consta de transporte colectivo 40%, taxis 17%, vehículos privados 6%, bicicleta 2% y a pie 34%. En el 2013, con la finalidad de minimizar las deficiencias del transporte, la Municipalidad Provincial de Trujillo elaboró el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), el cual se propone la construcción del Tren Ligero en el eje Este – Oeste, con el fin de disminuir la congestión vehicular y mejorar la accesibilidad a los servicios. El presente artículo pretende evaluar aspectos técnicos como el trazado, la demanda y los tiempos de viaje que produciría la implementación de este nuevo modo de transporte. La metodología de trabajo se realizará con base a la matriz Origen – Destino (elaborada por Transportes Metropolitanos de Trujillo en el 2016) y a experiencias relevantes que se han dado en varias ciudades. Primero se realiza el análisis de las líneas de deseo, las cuales brindan un panorama general de los flujos de viajes dentro de la ciudad, para establecer la factibilidad de los trazados propuestos por el PMUS para el futuro tren ligero. En segundo lugar, se hace un estimado aproximado de la demanda a partir de las mismas líneas de deseo y la demanda actual del transporte público y, finalmente, se determina si el proyecto mejoraría significativamente los tiempos de viaje mediante el uso de indicadores de accesibilidad; de este modo se logra evaluar la viabilidad técnica de su ejecución. Con la elaboración de este artículo se pretende determinar si los trazados contemplados en el PMUS, con respecto al tren ligero, reflejan ser satisfactorios para su posible construcción, de acuerdo a criterios técnicos de accesibilidad y demanda. Al mismo tiempo se espera que este análisis contribuya en el desarrollo del entorno en donde se realizará la intervención.

\*danielalzamora10@gmail.com

## Análisis urbanístico y de movilidad para la definición de un área de cobro por congestión. Un caso de estudio en la ciudad de Medellín

Autores: G Infante Malagón<sup>1\*</sup>, M A Castillo<sup>1</sup>, T M Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cal y Mayor – Colombia

Durante las últimas décadas las principales ciudades de Latinoamérica han experimentado en la congestión del tránsito una de las mayores problemáticas sociales que compromete la calidad de vida de sus habitantes y su competitividad, aumentando no solamente los tiempos de desplazamientos, sino sus externalidades asociadas: contaminación, ruido, accidentalidad y pérdida de productividad. Medellín no ha sido ajena a esta problemática ni a la pérdida de efectividad que tienen en el largo plazo políticas como el pico y placa, requiriéndose explorar nuevas medidas de gestión de demanda sostenibles en el tiempo que desestimulen el uso intensivo del vehículo particular, planteándose en múltiples estudios previos la posibilidad de implementar un cobro por congestión basado en los casos de éxito internacionales. En ese contexto, y reconociendo la importancia que tiene la delimitación geográfica de la medida en el éxito de la misma, la presente investigación analizó y determinó la zona óptima para aplicar un cobro por congestión en Medellín, evaluando integralmente factores de movilidad como patrones de viaje, estructura de flujos y acceso a modos sustitutos, y factores urbanísticos como densidad de empleo y comercio, mezcla de usos de suelo, tratamientos urbanísticos, estatificación y equipamientos. El análisis se realizó para los sectores de mayor congestión en la ciudad: La Candelaria y El Poblado, evaluándose inicialmente la cantidad de viajes generados y atraídos por sector a lo largo del día, su distribución modal, socioeconómica y por motivos, así como la configuración y capacidad de la malla vial para conformar un anillo periférico a la zona de cobro con niveles de servicio adecuados, identificándose que cada sector requiere un esquema diferente de cobro por los patrones de viajes. Mientras que en La Candelaria sería suficiente un esquema de cordón con pantallas internas donde se cobre únicamente a los vehículos que ingresen a la zona delimitada, en El Poblado se requiere un esquema de área más costoso y complejo de fiscalizar que cobre los viajes que acceden y circulan dentro de la zona delimitada. Complementariamente, del Plan de Ordenamiento Territorial se analizó la mezcla de usos del suelo, población residente, tratamientos, concentración de equipamientos y planes de renovación urbana, caracterizando el sistema de actividades en cada sector y la estructura urbana que delimitaría la zona de cobro. Finalmente, se realizó un análisis de proximidad, conectividad y accesibilidad al transporte público como modo sustituto al transporte particular, observándose serias limitaciones de infraestructura y servicios en El Poblado, mientras que en La Candelaria se mitigaría el carácter regresivo de la medida por la alta concentración de usuarios de transporte público y modos no motorizados que se beneficiarían de la inversión de recursos recaudados por el cobro por congestión. En conclusión, a partir del análisis integral se recomienda implementar el cobro por congestión en La Candelaria por su relevancia en la movilidad y el sistema de actividades de Medellín, su factibilidad en implementación y fiscalización, y la oferta de modos sustitutos al transporte particular que además se beneficiarían con los ingresos recaudados por la medida.

---

\*ginfante@calymayor.com.mx

## Analizando la percepción de diferentes agentes de la logística urbana frente a políticas de transporte de carga en mercados emergentes

Autores: J Amaya Leal<sup>1</sup>, J Arellana<sup>2\*</sup>, M Delgado Lindeman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Iowa State University, Estados Unidos. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Colombia

Esta investigación busca analizar las percepciones de los diferentes actores de la logística urbana frente a un conjunto de políticas diseñadas para abordar los problemas asociados al transporte de carga en una ciudad, tomando como caso de estudio dos ciudades de Colombia. A partir del diseño, aplicación y análisis de una encuesta tipo *ranking*, se evaluó la aceptación de las políticas propuestas de los operadores de carga, receptores y ciudadanos. El enfoque de *ranking* permitió la identificación de preferencias de los diferentes grupos encuestados, proporcionando una visión clara de sus percepciones. Los resultados sugieren que todos los actores están de acuerdo en la importancia de tener espacio para realizar operaciones de carga en sus áreas urbanas. Sin embargo, se encontró que cada grupo percibe las políticas de manera diferente y que el contexto local de cada ciudad desempeña un papel clave al momento de interpretar las percepciones. Los resultados de este trabajo resaltan la importancia de analizar las percepciones de los diferentes actores dentro de la logística urbana, pues a menudo solo se considera a los receptores y operadores, dejando por fuera la percepción de los ciudadanos. Los tomadores de decisiones deberían considerar las percepciones de las partes involucradas y las características individuales de cada contexto local antes de transferir iniciativas de otros entornos urbanos. En aquellos casos donde no se puede proporcionar espacio de estacionamiento, las preferencias varían entre los grupos encuestados. Los resultados muestran que los operadores prefieren un programa de consolidación dirigido por el receptor, los receptores consideran que el centro de consolidación urbana es la mejor de las alternativas presentadas, y los ciudadanos prefieren las entregas fuera de hora. Si bien todas las alternativas preferidas requieren un papel más activo desempeñado por los otros agentes, también requieren prácticas más sostenibles y se alejan de las políticas restrictivas tradicionales. Además, todos los agentes expresaron una fuerte oposición a una política de tarificación vial, incluso si se acompaña de un incentivo para vehículos amigables con el medio ambiente o excepciones para los receptores. Los resultados de este estudio sirven como una herramienta para los planificadores y tomadores de decisiones que buscan información sobre las preferencias de los diferentes involucrados en el movimiento de la carga urbana y una metodología para evaluar la posible aceptabilidad de políticas de transporte urbano previa su implementación.

---

\*jarellana@uninorte.edu.co

## Definición y análisis de los parámetros en la generación de turnos conductor y asignación para empresas del SITP de Bogotá

Autores: N R Venegas Rojas<sup>1\*</sup>, L L Lyons Barrera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ingeniería - Transporte, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

<sup>2</sup>Profesora Asociada, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

La presente investigación tiene como objetivo aportar a las compañías de transporte público de pasajeros alternativas para la elección de soluciones en los procesos de generación de servicios conductor y asignación. Se estudiaron las variables que intervienen en estos procesos, incluyendo un análisis de los costos asociados a la operación y los elementos que tienen que ver con el bienestar de los conductores. Este artículo presenta el resultado del proceso aplicado a una compañía del Sistema Integrado de Transporte Público-SITP de la ciudad de Bogotá para su operación, y plantea estrategias direccionadas a la reducción de costos operativos, validando el impacto que tienen la aplicación de los procesos y estrategias para la compañía seleccionada. Para realizar el análisis, se tuvo en cuenta el plan de servicios operacional aplicado en una semana típica de 2018 en dos patios del SITP, realizando múltiples simulaciones de los problemas de programación de conductores y asignación, evaluando los resultados de este proceso de simulación, lo cual permitió comparar la actual solución aplicada en la empresa seleccionada con la propuesta por esta investigación. A partir de las simulaciones realizadas al variar dos parámetros: la amplitud del servicio y el tiempo de trabajo, se reducen en 16 los servicios conductor, pasando de una solución actual en operación de 685 servicios conductor a 669, lo cual genera ahorro mensual de cerca de \$35.000.000, con una mejora adicional en la calidad de vida de los operadores y conductores, dada la optimización de los turnos de trabajo y un ahorro para la compañía en términos de los costos de operación. Se concluye a partir de esta investigación, que para la elección de una solución adecuada de programación de conductores es necesario evaluar los costos que se generan por: desplazamientos en vacío, kilometraje comercial por tipo de vehículo, cantidad de servicios generados por tipo de conductor, tiempo de exceso de trabajo en horas extras, recargos nocturnos y extras nocturnos. En términos de bienestar se propone que se tengan en cuenta variables tales como: tiempos de descanso de jornadas, amplitud de servicios, tiempos de producción, número de servicios de acuerdo al tipo de servicio y los desplazamientos que debe realizar un operador entre dos jornadas de trabajo. Con respecto a la asignación es importante evaluar las restricciones de los operadores, la zona de vivienda del conductor, el descanso entre jornadas, la rotación de descanso de día hábil, sábado y domingo, y la rotación de turnos en el mes. Los procesos y propuestas de esta investigación pueden ser aplicados a otras empresas de transporte, lo que permitirá la optimización y ahorros importantes en la operación de los sistemas de transporte de pasajeros en Colombia.

---

\*nrvenegasr@unal.edu.co

## Desarrollo de una metodología para establecer los parámetros de relación entre la infraestructura del transporte y las dinámicas de ocupación del suelo en Bogotá y la región

Autores: R F Cardona<sup>1\*</sup>, L Á Guzmán<sup>1</sup>, R Camacho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes. Colombia

Los modelos de dinámicas de ocupación del suelo basados en autómatas celulares tienen la capacidad de simular y evaluar los efectos integrados de políticas territoriales, normativas y de infraestructuras de transporte. Estos modelos utilizan funciones de transición simples para simular los cambios en los valores de las celdas que representan los usos de suelo en un tiempo determinado. La función de transición pondera, para cada celda del área de estudio, el uso actual, su relación con las celdas vecinas, la zonificación del territorio, las características físicas y la infraestructura de transporte para apoyar la toma de decisiones. La presente investigación busca estimar la influencia de la infraestructura de transporte sobre los cambios de uso del suelo en Bogotá y su región. Es decir, evaluar si los cambios en los usos del suelo obedecen a su ubicación con respecto a las diferentes infraestructuras de transporte disponibles en Bogotá (SITP troncal y zonal y el transporte privado). La metodología propuesta estima los parámetros de accesibilidad. Estos parámetros representan la influencia que tiene cada tipo de infraestructura sobre los usos del suelo con respecto a las demás y su área de influencia. La forma de determinar estos parámetros se realiza mediante un factor de enriquecimiento. Este calcula la proporción de los usos que están presentes a 3 km alrededor de la infraestructura que se quiere estudiar, luego la compara con respecto a la proporción esperada del mismo uso de suelo en toda el área de estudio. El área de influencia de cada infraestructura se tomó a un buffer de 3 km con particiones cada 100 m. A partir de esto se construyen las curvas de sub-estimación y sobre-estimación, las cuales representan la variación de la presencia de los usos de suelo en las vecindades de la infraestructura de transporte. A partir de estas curvas finalmente se determinan los factores de peso relativo y distancia de decaimiento. Posteriormente, se calibra el modelo de ocupación territorial en el software Metronámica con los parámetros de accesibilidad estimados y se compara con los resultados sin incluir dichos parámetros de accesibilidad. En la investigación se utilizan los índices Kappa para determinar el grado de precisión de la calibración. La metodología construida no solo brinda una relación empírica de la infraestructura de transporte, sino que proporciona una alternativa que permite reducir la complejidad de la calibración. Los resultados observados permiten concluir que la infraestructura de transporte tiene diferentes tipos de relación con las dinámicas de ocupación de suelo. El SITP troncal fomenta el desarrollo de usos residenciales de ingreso medio y comerciales. Los resultados arrojados son favorables en términos de la reducción de la complejidad y el tiempo de calibración del modelo.

\*rf.cardona1234@uniandes.edu.co



## El Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá: un proyecto inconcluso al borde del colapso

Autores: J G Ruiz<sup>1</sup>, M A Castillo<sup>1</sup>, G Infante Malagón<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Cal y Mayor - Colombia

El Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá fue concebido como un sistema multimodal que en su diseño pretendía revertir las problemáticas asociadas al transporte público convencional y mejorar las condiciones de movilización de los bogotanos, dando mayor sofisticación y formalidad al servicio a través del uso de la tecnología, una planeación estratégica articulada y la operación integrada del sistema. Aspectos como el pago electrónico integrado, sitios de paradas autorizadas, reducción de la sobreoferta, menores tiempos de desplazamiento, comodidad y seguridad, regularidad, formalización de conductores y demás, suponían la modernización del transporte público de la ciudad y su posicionamiento como la mejor opción de movilización para el usuario, superando las problemáticas del sistema tradicional. Sin embargo, luego de 7 años de implementación, el proyecto se encuentra inconcluso y coexiste con el servicio tradicional, mismo que pretendió erradicar, en una situación de competencia más que de complementariedad, lo que ha provocado que el SITP se encuentre sumido hoy en una profunda crisis financiera y operativa, al borde del colapso, perdiendo cada vez mayor demanda de usuarios y calidad de servicio, en una situación de estancamiento indefinida, de la cual pareciera no poder salir. Para sustentar la tesis de que la coexistencia de los dos sistemas ha sido la principal razón de la crisis, en primer lugar, se describen los hechos que han retrasado la implementación del SITP y que han perpetuado más allá de lo esperado la coexistencia de ambos servicios, exponiéndose errores desde la planeación y adjudicación de las concesiones, pasando por las imprecisiones y extensiones del plan de implementación, el incumplimiento de dos concesionarios que afectaron de manera sistemática el proyecto y finalmente la adopción del SITP Provisional por parte del Distrito. En segunda instancia, se señala cómo, a pesar de que la gradualidad de la implementación obedecía a la complejidad de modificar el servicio de transporte público en toda la ciudad sin generar traumatismos a ningún actor, ésta ha sobrepasado todo tipo de previsiones y finalmente se ha desacelerado, de acuerdo con los datos históricos oficiales, prolongándose excesivamente y fallando en su fin último. En tercer lugar, se exponen las condiciones del servicio de transporte público colectivo que persiste actualmente en la ciudad, destacando sus diferencias estructurales y operacionales con el SITP concesionado. Este análisis comparativo entre ambos servicios se aborda desde diversas aristas: modelo de negocio, calidad del servicio, infraestructura, parámetros operacionales, paralelismo, regulación y control por las autoridades, entre otros, presentando estimaciones del perjuicio que esta situación ha provocado a todos los *stakeholders*, principalmente expresada en el número de pasajeros dejados de transportar y sus implicaciones financieras. Por último, se expondrán otros factores asociados a la actual crisis del sistema como la falta de infraestructura de soporte, ausencia de economías de escala y estructura tarifaria, destacando que más allá de sus implicaciones financieras, estos problemas son secundarios a la falta de implementación, analizados desde un punto de vista de calidad del servicio y política de movilidad sostenible.

---

\*ginfante@calymayor.com.mx



## Efectos de las actitudes en la selección modal durante un Día sin Carro en Bogotá en un contexto universitario

Autores: A Rodríguez-Valencia<sup>1</sup>, C Vinasco<sup>1\*</sup>, D Rosas-Satizábal<sup>1</sup>, C Thigpen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. <sup>2</sup>Lime, San Francisco, CA

Motivar a los usuarios del automóvil a usar opciones de transporte más sostenibles, como la caminata, la bicicleta o el transporte público, proporciona efectos sociales positivos como por ejemplo mayor equidad, mejor calidad de vida y numerosos beneficios en salud. Experimentos naturales, como los días sin carro, son eventos que pueden funcionar generando un cambio en los hábitos de viaje, pues ofrecen una oportunidad para que los individuos evalúen otras alternativas para realizar sus viajes. Este trabajo aporta a la discusión sobre la influencia de las actitudes respecto al transporte en la selección modal a la luz de un experimento natural, como lo es un día sin carro, midiendo sus impactos en el comportamiento de los viajeros. En este sentido, esta investigación se centra en el comportamiento de viaje de los miembros de una comunidad universitaria durante el Día sin Carro en Bogotá, Colombia. El estudio tiene como objetivos describir los patrones de viaje de las personas durante este día; comprender las motivaciones y las barreras de quienes eligen seguir usando el carro; y entender el papel que juegan las actitudes en la elección de modos alternativos. Los datos usados para el análisis fueron recolectados en la Universidad de los Andes en Bogotá a través de dos encuestas; La Encuesta de Movilidad Uniandina, una encuesta diseñada para realizar un diagnóstico de movilidad de la población universitaria (estudiantes, profesores y empleados) en contextos regulares de viaje (2.396 respuestas), y una encuesta tipo panel realizada poco después del Día sin Carro a los mismos individuos para conocer sus comportamientos de viaje durante ese día (585 respuestas). Para comprender el efecto de las actitudes en la elección de modo durante el Día sin Carro, se desarrollaron tres modelos *logit* binomiales. Las variables dependientes de los dos primeros modelos son si las personas usaron la bicicleta o el transporte público para ir a la Universidad. Se estimó un tercer modelo *logit* binomial entre los individuos que habitualmente usan el carro para llegar al campus universitario (ya sea como pasajero o conductor), para explicar por qué aún optaron por usarlo durante la jornada. Se decidió realizar modelos *logit* binomiales debido a que, por la estructura de la encuesta, no se tenía información de cada alternativa de transporte para cada encuestado que permitiera realizar un modelo *logit* multinomial. Este trabajo presenta evidencia empírica que muestra que la influencia de las actitudes en los viajes varía según el modo. Las actitudes capturadas en el estudio tienen una gran influencia en la elección de la bicicleta, un impacto moderado en el uso del automóvil y ningún efecto en el uso del transporte público. Los resultados sugieren que los usuarios de transporte público pueden ser viajeros cautivos, ya que no tienen otras opciones, y que su elección modal también estuvo influenciada por las características sociodemográficas. Si bien este representa uno de los pocos estudios sobre el tema en países en desarrollo, los hallazgos sobre el comportamiento de los viajes fueron similares a los realizados en los países desarrollados.

\*c.vinasco1993@uniandes.edu.co

## Estudio de la distribución modal y desarrollo de políticas de gestión de la demanda para disminuir la dependencia del vehículo privado: el caso del Politécnico de Milán

Autores: D F Sáenz Lozano<sup>1\*</sup>, D M Monroy Lancheros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Los Andes, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia

El propósito de la investigación es identificar e interpretar la dependencia del vehículo privado por parte de la población del Politécnico de Milán en Italia, a pesar de la amplia oferta de medios de transporte de uso público y así proponer estrategias para controlar y disminuir esa dependencia. Para identificar el problema se partió de la interpretación desde el punto de vista territorial. Esto con base en una encuesta desarrollada por el proyecto Città Studi Sustainable Campus en 2015, la cual ha recolectado información de la distribución modal por parte de la población del Politécnico de Milán (9.763 estudiantes y 2.185 trabajadores). Las principales herramientas utilizadas han sido sistemas de información geográfica (SIG) que permiten visualizar y evaluar los hábitos de transporte. Se ha estudiado la relación de los hábitos con la accesibilidad a transporte público y la frecuencia de los viajes a lo largo del periodo académico. A partir del análisis se ha propuesto una serie de Políticas de Gestión de la Demanda de Transporte (TDM) que buscan promover el uso de transporte público, modificando principalmente el uso de vehículo particular, tales como: uso del tren, regulación en el uso de parqueaderos y programas de uso de vehículo compartido. Finalmente se ha estimado el costo de la implementación de las diferentes TDM al considerar diferentes escenarios a partir de estudios previos elaborados por el proyecto Città Studi Sustainable Campus.

---

\*df.saenz272@gmail.com

## Evaluación de efectos del carro compartido en un entorno universitario

Autores: C Vinasco<sup>1</sup>, D Rosas-Satizábal<sup>1\*</sup>, W Simancas<sup>1</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Una de las estrategias propuestas en la literatura para disminuir las externalidades negativas asociadas al uso del carro, como los altos niveles de emisiones por persona o la congestión vehicular, es la promoción del carro compartido para disminuir el número de viajes individuales realizados en vehículos motorizados privados. Es común que estas prácticas ocurran en comunidades como empresas o universidades, que buscan fomentar el transporte sostenible en sus ciudades para disminuir el número de kilómetros recorridos en vehículo privado hacia el mismo destino. Con datos de la Encuesta de Movilidad Uniandina (EMU), una encuesta anual diseñada para realizar un diagnóstico de movilidad de los miembros de la Universidad de los Andes en Bogotá, este estudio evalúa los efectos del carro compartido en la movilidad de dicha universidad. La investigación tiene como objetivos revelar las motivaciones de los conductores respecto a compartir o no su carro; identificar los modos de los cuales provienen los actuales pasajeros de carro compartido y, finalmente, evaluar si variables del viaje, como la distancia, tienen efectos en la decisión de compartir el carro por parte de los conductores. Para cumplir los objetivos de este estudio, se realizaron pruebas de diferencias de medias y modelos *logit* binomiales. Los modelos permitieron entender los factores, características y motivaciones que determinan la decisión de los conductores de compartir o no su vehículo. En estos modelos se incluyeron, por medio de un análisis factorial exploratorio, las actitudes de los conductores de carro frente al transporte. Esto, con el propósito de disminuir las dimensiones de las variables actitudinales al agruparlas en ciertos factores. Como parte de los resultados, se observó que los usuarios de *carpooling* provienen mayoritariamente del transporte público y que mayores distancias de viaje, aumentan la probabilidad de compartir el carro. Paralelamente, se encontró que la generación de ingreso para el pago de parqueaderos es una motivación que tiene un efecto significativo en la decisión de compartir carro; por el contrario, el factor ambiental no es relevante en la explicación de estos comportamientos. Teniendo en cuenta que esta modalidad atrae predominantemente usuarios del transporte público, esta investigación abre campo para plantear el siguiente interrogante: ¿hasta qué punto y de qué manera el carro compartido es una alternativa real para afrontar problemáticas como la congestión? Los resultados pueden ser de utilidad a la hora de entender las dinámicas de esta práctica frente a un transporte público poco atractivo, para desarrollar estrategias específicas para una movilidad sostenible en un entorno universitario.

\*we.simancas10@uniandes.edu.co

## Facing congestion in urban areas: Developing Sustainable Mobility Plans for public and private companies in Bogotá

Autores: L Á Guzmán<sup>1</sup>, J Arellana<sup>2</sup>, V Alvarez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Andes, Colombia. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Colombia

Although Transport Demand Management (TDM) strategies such as the promotion of active and public transport modes, the implementation of parking policies, telecommuting, and flexibility of work schedules have gained some popularity for facing traffic congestion in recent years, there has been a lack of studies reporting on the impact of their implementation in companies located in Global South cities. Work trips contribute the most to congestion during peak hours in urban areas. For that reason, public and private companies can play a relevant part by developing a Sustainable Mobility Plan (SMP) to propose possible TDM strategies to face commuter congestion. This paper evaluates the impacts of implementing SMPs in public and private organizations in the city of Bogotá. The modal share of employee trips after implementing different SMP strategies was evaluated using a stated preference survey. The results of this study suggest that public transport ridership could increase if more reliable service is provided. Additionally, the provision of enterprise bus services could also be a suitable strategy to discourage employees from using a car. Severe increments of parking rates in the company's vicinity led to the highest reduction of private cars use and the highest modal share increase for public transport, carpooling, bicycle, and walking. More studies evaluating the potential success of companies adopting SMPs in the cities of the Global South are needed; however, these plans should contain a combination of TDM strategies rather than considering how policies work separately to increase the possibility of achieving better results.

---

\*avilma@uninorte.edu.co

## Horizontal and vertical equity in Accessibility to job and study opportunities: the case of Barranquilla and Soledad in Colombia

Autores: J Arellana<sup>1\*</sup>, V Alvarez<sup>1</sup>, D Oviedo<sup>2</sup>, L A Guzman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Norte, Colombia. <sup>2</sup>University College London, UK. <sup>3</sup>Universidad de los Andes, Colombia

El desarrollo de las ciudades y la planificación de sus sistemas de transporte deben considerar criterios de equidad horizontal y vertical en el acceso a las oportunidades básicas de todos sus habitantes. Usualmente, las personas con bajo ingreso en ciudades Latinoamericanas enfrentan problemas de accesibilidad debido a las precarias condiciones en la infraestructura vial de las zonas en la que viven, conllevando a que éstos experimenten tiempos de viaje más largos. El propósito del presente documento es analizar la asequibilidad y la inequidad en el acceso a oportunidades de trabajo y estudio considerando diferentes niveles socioeconómicos (nivel de ingreso alto, nivel de ingreso medio y nivel de ingreso bajo) en la ciudad de Barranquilla y el municipio de Soledad. Para cumplir el objetivo del estudio se utilizó la información de las encuestas origen-destino desarrolladas en el año 2011 para el “Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla”. Se analizaron patrones de viajes de la muestra, considerando los viajes realizados en modos motorizados de transporte como automóvil, motocicleta y transporte público. En primer lugar, los resultados muestran que gran parte de las oportunidades laborales y de estudio se concentran en las zonas norte y centro de Barranquilla, así como las rutas de transporte público, que también se concentran mayormente en estas zonas. Se evidencia también la existencia de una brecha entre los grupos de niveles de ingreso alto y medio con los grupos pertenecientes a nivel de ingreso bajo en la zona de estudio, donde los mayores índices de accesibilidad se presentan en las zonas con nivel de ingreso alto y medio, mientras que los más bajos índices se presentan para los niveles de ingreso bajo. Adicionalmente, los índices de asequibilidad de los grupos sugieren que los hogares con nivel de ingreso bajo gastan una proporción mayor de dinero en viajes que el promedio del área estudiada, mientras que los hogares pertenecientes a nivel de ingreso medio y alto gasta menos proporción de sus ingresos que el promedio del área de estudio, y por consiguiente, menos que los hogares con nivel de ingreso bajo. En conclusión, la población de bajos ingresos es la menos beneficiada por la ubicación de oportunidades, la configuración actual del sistema de transporte, y el crecimiento del área metropolitana de Barranquilla. Esta población experimenta mayores tiempos de viajes, lo cual se ve reflejado en altos costos de transporte y por consiguiente, en una proporción mayor de inversión de sus ingresos para poder llevar a cabo sus actividades en otros lugares. Las nuevas inversiones de transporte deben enfocarse en aumentar la accesibilidad de las zonas de más bajos ingresos, con el fin de reducir la inequidad en el área metropolitana de la ciudad.

---

\*avilma@uninorte.edu.co

## Impacto de la gestión de la velocidad en corredores arteriales en Bogotá, Colombia

Autores: C Cardona<sup>1\*</sup>, S López<sup>1</sup>, D Hidalgo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>World Resources Institute, Colombia

En el marco del Plan Distrital de Seguridad Vial de Bogotá, la ciudad está implementando el Programa de Gestión de la Velocidad que, en su plan de acción, incluye la revisión de los límites de velocidad en las vías de la ciudad de manera que se optimice su uso, se adapte al contexto y se disminuyan las heridas graves y fatalidades reportadas. Una de las primeras acciones realizadas por la Secretaría de Movilidad de Bogotá fue cambiar los límites de velocidad desde 60km/h a 50km/h en las vías que concentraban el 25% de las fatalidades y además registraban las más altas velocidades. Es decir, la acción se realizó en los corredores con mayor potencial de reducción de víctimas por siniestros de tránsito. A raíz de este cambio, este estudio busca analizar el impacto de la medida de la reducción del límite de velocidad en 83 kilómetros de la red arterial de Bogotá. Haciendo uso de datos de velocidad recolectados en vías arteriales en los últimos cuatro años, se evaluó el impacto en las velocidades de la medida, desagregado por hora, ubicación y sentido. Asimismo, haciendo uso de los datos de víctimas de siniestros viales georreferenciados de los últimos cinco años disponibles (2014-2018) se analizó el impacto en siniestros reportados, heridas y fatalidades en el tránsito. Los resultados sugieren una disminución significativa en los siniestros con fallecidos reportados mientras que la diferencia no es significativa para el total de siniestros. Además, las velocidades demuestran que estas medidas no tuvieron un impacto significativo en la congestión en horas pico. En contraposición, en las horas de la noche se presentó una leve disminución de la velocidad promedio principalmente por disminuir los excesos de velocidad registrados. Asimismo, la medida fue más efectiva en las ubicaciones donde se han registrado las mayores velocidades y víctimas en el pasado. Por último, la medida fue mayoritariamente efectiva para reducir los siniestros fatales de motociclistas. En conclusión, la medida hasta ahora ha sido un éxito y su impacto puede ser aún mayor cuando se introduzca detección de velocidad electrónica con cámaras salva vidas.

---

\*Camilo.Cardona.5@wri.org

## Impacto del Día sin carro y sin moto en la universidad de Ibagué

Autores: J G Zuluaga Villermo<sup>1\*</sup>, C A Kaffure Ruiz<sup>2</sup>, L F Calderón Gómez<sup>3</sup>, C A Ovalle Arteaga<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Docente del programa de Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia. <sup>2</sup>Docente Universidad del Tolima y Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. <sup>3</sup>Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia. <sup>4</sup>Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia

El estudio parte de la necesidad de evaluar el impacto que genera el Día sin carro y sin moto en la universidad de Ibagué. Para esto se realizaron aforos en los parqueaderos de la universidad 15 días antes, durante el día con restricción y 15 días después. Con estos datos se estimó la contaminación que genera la universidad en términos de CO<sub>2</sub> correspondientes a los viajes generados por el desplazamiento de estudiantes, profesores y trabajadores desde sus hogares hasta el centro educativo. Por otro lado, se compara el cambio modal que tuvo la comunidad universitaria antes, durante y después de este día. Para el estudio se realizó un aforo de vehículos en los parqueaderos durante las horas pico (7 a.m. – 12 m. – 6 p.m.) 15 días antes, durante y 15 días después del día con restricción y se elaboró una base de datos en Excel en donde reposan los análisis con los que fue posible comparar y evaluar el impacto que tiene este día en la universidad. Así mismo se aplicó una encuesta para obtener información sobre el modo de transporte que utiliza cada persona, teniendo como principal objetivo conocer el trayecto que realizan y el modelo del vehículo utilizado, con el fin de determinar la cantidad de Co<sub>2</sub> que se genera. Se observaron los niveles de contaminación que genera la comunidad universitaria durante los días sin restricción y por otro lado una reducción el día con restricción, ya que este día más de 296 personas utilizaron bicicletas. En promedio se observa un aumento significativo en los automóviles, pasando de 7.395 a 8.901 vehículos al día. En el caso de las bicicletas, antes del día con restricción se utilizaron 1.004 y se aumentaron a 1.471 viajes. Por ultimo las de menor aumento fueron las motocicletas (El día antes se parqueaban 6.131 y después 6.435). Por otro lado se observa que después del día con restricción, los vehículos aumentaron del 51 al 53%, las bicicletas pasaron de 7 a 9% y las motocicletas bajaron de 42% a un 38%. Estos resultados son relevantes para futuras investigaciones. Al comparar los resultados obtenidos 15 días antes y 15 días después se observa un aumento en los vehículos no motorizados, destacando un aumento del 2% en el uso de bicicletas después del día con restricción. Esto es importante ya que el Día sin carro y sin moto logra incentivar el uso de movilidad activa en algunas personas que se animan a hacerlo al ver que la ciudad la estimula. La encuesta realizada a la comunidad universitaria estableció una distancia promedio en los viajes que realizan las personas que llegan en sus vehículos a la institución, lo cual permitió elaborar un aproximado de contaminación por CO<sub>2</sub> que se genera diariamente.

\*Juan.zuluaga@unibague.edu.co

## Incidencias del portal de Usme de TransMilenio en el crecimiento urbano vertical de la localidad 5 de Bogotá

Autores: C A Torres Puerto<sup>1</sup>, L D López Buitrago<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá

Desde el concepto de las dinámicas territoriales metropolitanas y en un contexto mundial de desplazamiento de la población hacia las zonas urbanas y crecimiento demográfico, se orquesta la formación de grandes ciudades que crecen cada vez más en número de habitantes y suelo urbanizado. Este es el caso de Bogotá, donde para finales del siglo XX la ciudad ya expandida bajo fenómenos sociales que no favorecían la planeación como pilar del crecimiento urbano, y con alrededor de 6 millones de habitantes, enfrenta las dificultades de una creciente demanda de transporte interno, con las deficiencias asociadas a la falta de planeación. En la desesperada búsqueda de soluciones se postula el sistema TransMilenio como una alternativa que no solo se construye rápido, sino que responde al aumento de la crisis de la congestión. En el marco de la fase I del sistema se concibe y entra en funcionamiento en 2001 el portal Usme, ubicado al norte de la localidad con el mismo nombre, en el extremo sur de la zona urbana de la ciudad. Con la entrada en operación del sistema, que se centró en la movilidad y no en los objetivos del desarrollo urbano, y con un crecimiento anual de la población del 1,7% en los últimos 20 años, se generaron oportunidades de edificación con nuevas viviendas en espacios ahora dotados de un sistema de transporte que los conecta con el resto de la ciudad. En este sentido se pretende identificar las zonas en las que se han desarrollado proyectos de vivienda en propiedad horizontal, indicando un crecimiento vertical de las edificaciones presentes en la localidad de Usme que tienen influencia directa del sistema troncal y de alimentación de TransMilenio. El estudio ubicó estas zonas de crecimiento vertical respecto al portal de Usme y determinó si éste presta servicio directo a sus habitantes. Para tal fin se estableció un área de influencia para cada paradero o estación que pueda prestar un servicio directo o de conexión hacia la troncal caraca de TransMilenio, siguiendo las recomendaciones del Manual de Transporte Público Canadiense (CUTA 1985). Así mismo se evaluaron los tiempos medios de recorrido desde estas zonas hasta la estación cabecera de la localidad. Para el análisis también se revisó la situación socioeconómica de la zona de estudio, para determinar potencialidad de uso de un medio de transporte específico que pueda estar relacionado con determinadas condiciones de la localidad. Así mismo, la evolución de la partición modal entre 2003 y 2015 que permitió evidenciar fenómenos en el cambio de modos de transporte y sus posibles causas. Entendiendo las dinámicas de movilidad y territorio como una relación en doble vía se puede hacer un análisis del comportamiento de la Localidad de Usme, donde la implementación de un sistema de transporte que da cabida a nuevos desarrollos urbanísticos que aumentan la demanda de movilidad, para este caso de estudio se evidenció cómo el desarrollo y el aumento de la población desincentivó el uso del sistema nuevo, trayendo aumento en otros modos.

---

\*ldlopezb@unal.edu.co



## Influencia del transporte aéreo en la conectividad territorial. Caso de Colombia

Autores: O Díaz Olariaga<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

El transporte aéreo desempeña un papel importante en la sociedad globalizada de hoy. Existe una creciente comprensión entre los gobiernos de todo el mundo de que la conectividad aérea es un activo que mejora la competitividad global de las ciudades, regiones y países. El crecimiento de la conectividad disminuye los costos de viaje para los consumidores y las empresas y facilita los contactos y el comercio global. Cada vez hay más pruebas de que el crecimiento de la conectividad aérea estimula la productividad, la inversión extranjera directa, el turismo, etc. en las diferentes regiones de un país. En este contexto, muchos gobiernos formulan políticas públicas en sus industrias (locales) de transporte aéreo para influir / mejorar los resultados de conectividad a nivel regional / territorial, a fin de lograr una cartera de conectividad que satisfaga mejor las necesidades de la sociedad. En Colombia se liberaliza la industria del transporte aéreo a principios de la década de 1990 y se pone en marcha, de forma ininterrumpida hasta el presente, una batería de políticas públicas diseñadas exclusivamente para el sector aéreo. La presente investigación analiza la influencia e impacto del desarrollo de la industria del transporte aéreo colombiano, a través de sus políticas públicas, en la dinámica y evolución de la conectividad territorial en las últimas dos décadas y media. Desde el punto de vista metodológico, y al ser este un trabajo de revisión, el análisis se centra, en primer lugar, en el desarrollo de las políticas públicas del transporte aéreo; y en segundo, en la evaluación del comportamiento de un conjunto de indicadores que reflejan la influencia e impacto del desarrollo de transporte aéreo en la conectividad regional / territorial en Colombia. Los datos para la investigación se obtuvieron de AEROCIVIL, ANI (Gerencia de Aeropuertos) y DANE. Los principales resultados del estudio muestran que las políticas públicas implementadas en el sector del transporte aéreo han influido en la mejora de la conectividad aérea en los territorios / regiones de Colombia, además de haber impactado positivamente en ciertos indicadores socio-económicos (PIB, generación de empleo, soporte a otras industrias relacionadas, etc.). Futuras líneas de investigación derivadas del presente estudio podrían analizar el impacto de las políticas públicas en los diferentes aeropuertos de la red (a nivel de tráfico) y en su entorno (empleo, riqueza, etc. en las ciudades/regiones de influencia).

---

\*OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co

## Iniciativas del transporte de carga urbano para Barranquilla, Colombia

Autores: D Suero<sup>1</sup>, A Brito<sup>2</sup>, G Olivares<sup>2</sup>, Y Polo<sup>2</sup>, J De La Cruz <sup>2</sup>, E Asprilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Docente Universidad Libre, estudiante Doctorado en ingeniería industrial Universidad del Norte.

<sup>2</sup>Universidad Libre de Colombia

A diferencia de países que han enfrentado los problemas de logística urbana del transporte con medidas efectivas y exitosas, en Colombia la gestión administrativa en este campo se ha quedado corta. Tomamos como muestra la ciudad de Barranquilla, específicamente su zona centro, un sector comercial donde se genera gran congestión vehicular por la presencia de vehículos particulares, transporte de carga, servicio público y vendedores ambulantes. Para el trabajo se analizaron las políticas planteadas en “NCFRP: report 33 Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas: A Planning Guide”, teniendo en cuenta cuáles podrían ser las más adecuadas para aplicar en la zona mencionada. Entre ellas se eligieron: crear bahías (estacionamientos junto al andén) para mejorar el cargue y descargue de mercancías, con reserva web de estos espacios, por parquímetro o zonas azules; crear peajes electrónicos para ingresar al centro de Barranquilla, con exoneración a los propietarios, comerciantes, residentes, vehículos no contaminantes y con bajo nivel de ruido; distribución nocturna de mercancía y creación de centros de distribución (CEDIS). Luego se construyó una matriz de decisión para determinar quiénes son los actores que más influyen en la toma de decisiones de las políticas planteadas y se diseñó una encuesta (tamaño de la muestra, 300 personas) para determinar las medidas más aceptadas y qué aspectos influían en éstas. Una vez aplicadas, se determinó el porcentaje de la política más votada y observándose una tendencia hacia la creación de bahías y centros de distribución.

---

\*diego.suerop@unilibre.edu.co; edwinf-asprillar@unilibre.edu.co

## La nueva de alternativa de movilidad, el Carpooling Diagnóstico en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali

Autores: P A Cruz Daraviña<sup>1</sup>, D García<sup>1</sup>, J A Narváez Cordoba<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia

La comunidad universitaria al sur de Cali (Valle del Cauca) carece de un sistema de transporte público eficiente, enfrentándose además a una zona de alta congestión vehicular con niveles de servicio bajo. Para solventar los problemas de movilidad se ha popularizado el Carpooling, que es la práctica donde dos o más personas comparten un automóvil para llegar a un destino común, de tal manera que todos los participantes obtienen un beneficio. Entre las ventajas para los conductores está el ahorro significativo de gastos de gasolina, parqueadero y funcionamiento del vehículo, los cuales son compartidos. A su vez esta práctica fomenta las interacciones interpersonales. Por otro lado, los pasajeros reducen el tiempo empleado en el recorrido en transporte público, a la vez que se incrementa la comodidad en su viaje, además de evitar el estrés que provoca conducir en horas pico y la dificultad de encontrar zonas de parqueo disponible. Dada la importancia que puede llegar a tener la implementación y desarrollo de esta práctica, este estudio tiene como objetivo diagnosticar el desarrollo del *Carpooling* en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, que durante aproximadamente tres años se ha venido implementando de forma espontánea. Se realizaron dos tipos de encuestas a conductores y pasajeros, donde se buscó obtener datos sobre el conocimiento del sistema y cómo se realiza dentro de la institución. Así mismo, conocer el sistema de cobro empleado y el tiempo de viaje hasta la Universidad independientemente del medio de transporte que se use. Los resultados obtenidos muestran la gran importancia que tiene el *Carpooling* en la movilidad y su rápido crecimiento, siendo el “voz a voz” el principal método de promoción, pues con tan solo tres años de desarrollo, es el medio de transporte más usado para ir a la universidad (más de la mitad de la comunidad realiza esta práctica como conductor o pasajero). Entre las razones por las cuales eligen el *Carpooling* frente a otros medios de transporte, están: la comodidad con respecto al transporte público, la economía, el tiempo de recorrido y la seguridad, siendo esta última un factor determinante, pues a pesar de que el usuario no conozca al conductor o al resto de pasajeros, se sienten en confianza por pertenecer a la misma comunidad universitaria. Dentro de las causas del no uso del *Carpooling*, figuran la falta de estructuración del mismo, o la puesta en funcionamiento de una plataforma oficial.

\*javinar98@javerianacali.edu.co

## Localización, asignación y tarificación de estacionamientos en vía, considerando transporte de carga y de pasajeros

Autores: M D Lindeman<sup>1\*</sup>, J Arellana<sup>1</sup>, J Holguín-Veras<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Norte, Colombia. <sup>2</sup>Rensselaer Polytechnic Institute, Estados Unidos

La falta de una planificación de los centros urbanos ha provocado un déficit de áreas de estacionamiento en muchos lugares. Como consecuencia, en zonas de alta atracción de viajes existe una competencia constante por estacionamiento entre vehículos particulares y de transporte de carga. En algunos casos, el uso del espacio para estacionar dentro de las ciudades se basa en una normativa local diseñada a criterio de los planificadores urbanos, en la cual predomina la prohibición del estacionamiento en vía aun cuando los espacios están disponibles, buscando mejorar las condiciones de movilidad. Por otra parte, en algunas zonas sin normatividad, la dinámica del espacio disponible se basa en el uso libre del espacio sin ninguna priorización por tipo de usuario. En ambos casos existe afectación a los intereses económicos o comerciales de las zonas urbanas, especialmente por la presencia de externalidades como la congestión, el ruido y las emisiones contaminante. En esta investigación se propone un modelo integral que permita determinar cuáles y cuántas plazas de estacionamiento en vía se deben asignar a cada tipo de usuario y cuál debería ser la tarifa a cobrar por su uso. El modelo involucra diferentes tipos de usuarios, considerando sus características, tales como, tamaño de espacio requerido, tiempo promedio de utilización del espacio y distancia máxima de caminata esperada al destino final. Además, se considera que se conoce la información de la demanda en la zona y el espacio en vía disponible para ser utilizado como estacionamiento. Así mismo, el modelo busca incluir costos por uso del espacio, el mantenimiento y la operación, el costo de caminata desde el estacionamiento al destino y el de congestión producto de la circulación de los vehículos por ausencia de estacionamiento disponible. El modelo resultante se considera como base para el desarrollo de uno más complejo que pueda acercarse más a la realidad del problema. El modelo de localización, asignación y tarificación de estacionamiento en vía para diferentes tipos de usuario que se plantea, permite la formulación de políticas públicas y sirve como herramienta de apoyo para la toma de decisión de los planificadores urbanos.

---

\*mlindeman@uninorte.edu.co

## Logística de carga urbana: ¿qué piensan los ciudadanos del común?

Autores: J Amaya Leal<sup>1</sup>, J Arellana<sup>2\*</sup>, M Delgado Lindeman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Iowa State University, Estados Unidos. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Colombia

Tradicionalmente los estudios relacionados con la percepción de la logística de carga urbana solo consideran a los receptores y operadores de la carga, dejando de lado a los ciudadanos. Una encuesta de percepción fue diseñada y aplicada a ciudadanos del común para indagar sobre temas relacionados a la logística de carga urbana en la ciudad de Cartagena. En la encuesta se evaluaron aspectos como la importancia de los sistemas de carga urbana, la infraestructura necesaria para las operaciones, algunas externalidades generadas del movimiento de mercancía dentro de la ciudad, y el conocimiento de las regulaciones vigentes. Los resultados muestran que el 77% de los ciudadanos reconocen la importancia de la carga urbana en sus actividades diarias. Al mismo tiempo consideran que los sistemas de carga urbana no funcionan adecuadamente en la ciudad (79%). Respecto a la infraestructura, se evaluó la calidad de las vías y la disponibilidad de zonas para la carga y descarga de mercancía. Sobre el particular, el 89% de los encuestados expresaron no contar con vías lo suficientemente amplias para realizar las actividades logísticas. El 71% consideró que las vías no están en buen estado. Así mismo, el 85% consideró que no existen espacios adecuados para la carga y descarga de mercancía. Por otra parte, los ciudadanos son conscientes de algunas externalidades asociadas al transporte de mercancía tales como el daño de la vía (79%), daño al medio ambiente producto del ruido y la contaminación (90%), la congestión (62%) y la interferencia de las actividades de carga y descarga en el espacio para el peatón (89%). Finalmente, solo el 32% de los ciudadanos encuestados manifestó conocer las leyes para el movimiento de mercancía en la ciudad, de los cuales, sólo el 43% reconoce que estas leyes hacen que el transporte de mercancía sea eficiente. Los resultados sugieren que a pesar de que los ciudadanos conocen la importancia de esta actividad, prefieren que las actividades de carga y descarga se realicen en lugares y horarios que no interfieran sus actividades, debido a las externalidades que esta genera. Es decir, prefieren no interactuar con las actividades de logística urbana. Adicionalmente, a pesar que los ciudadanos son conscientes de que la carga y descarga genera externalidades y de que la infraestructura donde se efectúa es inadecuada, muestran una falta de interés y conocimiento de las leyes vigentes relacionadas con el tema.

---

\*jarellana@uninorte.edu.co

## Los motocarros como transporte público complementario. Propuesta de ajuste a la regulación en Colombia

Autores: E A Velandia Durán<sup>1\*</sup>, J Riveros<sup>2</sup>, L Á Girón<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Salle. <sup>2</sup>Agencia Nacional de Seguridad Vial. <sup>3</sup>Universidad Nacional

Los motocarros son uno de los vehículos más populares en las ciudades de la India y la empresa Bajaj es un referente mundial en su producción. Para el año 1995, salió de sus instalaciones su vehículo número 10 millones y para ese año vendió cerca de un millón de unidades. Hoy se estima que produce cerca de 4 millones de motocarros en India (Bajaj México, 2018) y ha expandido su mercado a otros países, incluyendo a Colombia. Hoy, ciudades de Camboya, Nepal, Perú, Guatemala, Portugal, Italia, Nicaragua, Brasil, México, Pakistán, China, Honduras, Cuba y España, utilizan los motocarros (tuk-tuk, auto-rickshaw, three wheelers) como vehículos para transporte público individual – taxi, vehículos última milla, servicios turísticos e incluso como vehículos utilitarios de carga liviana. En Colombia, este vehículo se emplea para transporte de personas en ciudades como Soledad, Soacha, Leticia, Palmira, Guatapé, Barichara, Montería y Melgar. En el país, el Decreto 4125 de 2008 reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor mixto en motocarro para ciudades de hasta 50 mil habitantes. Esta normatividad define consideraciones de homologación del vehículo, requisitos de habilitación de empresas, consideraciones, estudios capacidad transportadora, seguros, color de vehículos, tarjeta de operación y sanciones. Como se muestra, la reglamentación ha superado la década y al revisar las tendencias internacionales (seguridad y emisiones) se encontró que es necesario una revisión del servicio, tipologías y consideraciones de uso. Desde el componente de emisiones se observa una tendencia a emplear CNG en países asiáticos y el uso de tracción eléctrica en países de Europa Occidental y Estados Unidos. Con el reciente estudio se identifica la necesidad de evaluar criterios de seguridad del vehículo (choque, volcamiento), limitar la velocidad a menos de 40 km/hora, aumentar el diámetro de las llantas para aumentar estabilidad y revisar la tipología de motores buscando el uso de equipos con alta eficiencia energética 4 tiempos e incluso una línea de electrificación de estos vehículos. Es importante mencionar que AUTECO es una empresa nacional que ensambla motocarros pero al mismo tiempo ensambla motos y bicicletas eléctricas e importa camiones ligeros eléctricos. Bajo este hecho, el trabajo encuentra que bajo señales claras de política pública e incentivos a la producción de estas tipologías, podría darse una nueva tendencia de vehículos eléctricos. Soledad es un caso relevante en el país en cuanto a regulación por colores del servicio y agremiación de conductores. Por último, el estudio identifica la necesidad de elaborar un estudio de choque y volcamiento para aumentar la seguridad del vehículo, entendiendo que la norma colombiana se basa en reglamentación externa y programas de capacitación a conductores y la revisión del tipo de licencia reconociendo la prestación de servicio público. Bajo esta misma consideración, el vehículo debe ser sometido a la revisión técnico-mecánica en periodos de dos años y su uso en zonas turísticas restringidas (cascos históricos urbanos) debe ser exclusivamente en modo eléctrico. La propuesta de ajuste busca aumentar la seguridad vial, reducir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad del servicio, incluso convertirse en una opción a la moto de dos ruedas como alternativa de trabajo en algunas regiones.

\*evelandiad@unisalle.edu.co; ingeaved@gmail.com

## Metodología para el diseño de servicios troncales y expresos del Sistema BRT (MIO) en Cali - Colombia

Autores: F Ortiz Rubiano<sup>1\*</sup>, M C Jiménez Riaño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Metro Cali S.A. – Sistema Integrado de Transporte Masivo MIO, Cali – Colombia

El diseño de servicios troncales y expresos en Sistemas BRT presenta un gran desafío para los planeadores de los entes gestores, por la complejidad de la estructura de este tipo de servicios, que se encuentran integrados con servicios de alimentación y pretroncales. Este trabajo presenta la metodología y las herramientas desarrolladas por Metro Cali S.A., ente gestor del Sistema Integrado de Transporte Masivo – Masivo Integrado de Occidente (SITM-MIO) de la ciudad de Cali – Colombia, dentro de sus procesos de planeación táctica, motivado por la necesidad de mejorar el análisis de datos de la red troncal para la mejora en el diseño y oferta de las rutas troncales y expresas. La metodología que presenta este trabajo fue desarrollada para el diseño de rutas troncales y expresas del SITM-MIO e implementada en 2016, ésta contiene los pasos e indicadores a seguir para lograr que el diseño de servicios troncales y expresos del MIO reduzca, con respecto al escenario inicial, el número de transbordos, aumente la velocidad y, por tanto, disminuya el tiempo a bordo de los vehículos, controlando el incremento en los tiempos de espera y los costos en kilómetros y flota. Como parte del desarrollo del proyecto se generaron una serie de herramientas de análisis en Excel, a partir del procesamiento de los datos obtenidos de la operación diaria del SITM-MIO (i.e. validaciones de usuarios con el uso del medio de pago), para la toma de decisiones en torno a los parámetros operacionales (i.e. rutas, paradas, trazado, flota requerida, kilómetros) de los servicios, igualmente fue construido un modelo simplificado de la red troncal en EMME para la obtención de indicadores del usuario (e.g. tiempos de espera y de viaje, transferencias); ambos tipos de herramientas son utilizadas de manera complementaria e iterativa dentro del desarrollo de la metodología. Los resultados de la propuesta de diseño de servicios que se implementó muestran que el número de transbordos para las franjas analizadas se reduce en un 12%. En cuanto al tiempo a bordo de los vehículos hay una reducción de 1.5%, mostrando que además de transbordar menos, se viaja más rápido. Como se esperaba, el tiempo de la primera espera tuvo un aumento del 8.7%, el cual se debe a que, al ofertar servicios más directos, los usuarios deberán esperar un poco más para acceder al servicio, a cambio de tener menos transbordos y demorarse menos a bordo del vehículo. En total el costo generalizado de viaje se redujo en 0.7% y los costos de operación en 1.7%. Los resultados obtenidos de la implementación de la metodología muestran las bondades de la misma, convirtiéndola en un mecanismo que fortalece técnicamente la planeación táctica del SITM-MIO, permitiéndole a Metro Cali S.A. realizar modificaciones a su servicio troncal y expreso de manera técnica y objetiva a través de la evaluación de los indicadores que representan el servicio.

---

\*fortiz@metrocali.gov.co

## Modelación de la demanda de vehículos comerciales alimentados con fuentes de energía limpias

Autores: R Ramos<sup>1\*</sup>, J Galvan<sup>2</sup>, V Cantillo<sup>3</sup>, J Arellana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Transporte y Logística, Chile.

<sup>2</sup>Secretaría de Movilidad de Barranquilla, Colombia. <sup>3</sup>Universidad del Norte, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Colombia

Las consecuencias del cambio climático y los efectos de la contaminación del aire sobre la salud, han motivado a muchos gobiernos a implementar planes de reducción de emisiones de gases efecto invernadero y de contaminantes locales del aire como el CO, SO<sub>2</sub>, el NO<sub>2</sub> y el material particulado. El transporte es uno de los principales generadores de polución. Se estima que el 13.1% del total de gases efecto invernadero es generado por el transporte de pasajeros y carga, mientras que el 45% del NO<sub>2</sub> y el 75% del material particulado son generados por vehículos pesados Diesel (buses y camiones). La necesidad de fomentar el uso de tecnologías más limpias para buses y camiones por parte de los gobiernos, requiere del estudio de la demanda de estas soluciones. Para esto, diseñamos y aplicamos una encuesta de preferencias declaradas (PD) incluyendo variables de costos de adquisición y operación, disponibilidad de estaciones de recarga, potencia y autonomía de los vehículos. En el experimento, el encuestado debe elegir entre un conjunto de alternativas conformada por vehículos con tecnologías diésel, gas natural, energía eléctrica e híbrido. Adicionalmente, se indagó por las actitudes o posturas sobre problemas medioambientales y sobre diferentes políticas de subsidio a combustibles más limpios. La PD fue aplicada a personas y gerentes de empresas propietarias de vehículos de transporte público de pasajeros y de carga en las principales ciudades de Colombia. Estimamos un modelo híbrido de elección discreta incluyendo, además de las variables presentadas en la PD, variables latentes relacionadas con las actitudes de los individuos respecto al medio ambiente, y a políticas gubernamentales de subsidio a combustibles más limpios. Encontramos que las variables más significativas son el costo de compra y el costo por consumo de combustible. Además, las interacciones entre los costos y las variables latentes resultaron significativas, revelando que los propietarios con mayor preocupación ambiental y mayor aceptación a subsidios a combustibles limpios ponderan menos los costos monetarios, dando mayor importancia a la potencia y autonomía de los vehículos. Los resultados obtenidos señalan que, para poder fomentar la compra de buses y camiones con tecnologías limpias, es necesario una política pública que busque reducir tanto los costos de adquisición de los vehículos como los costos de operación.

---

\*rros4@uc.cl



## Modelos de elección de ruta/servicio en transporte público considerando diferentes fuentes de datos y variables de percepción

Autores: M Figueroa Loaiza<sup>1\*</sup>, J Arellana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Costa, Colombia. <sup>2</sup>Universidad del Norte, Colombia

Comprender los factores que afectan las elecciones de modo y ruta podría ayudar a las agencias locales y de tránsito a mejorar los servicios de transporte público con el fin de hacerlos más atractivos en relación con otros modos de transporte privado (motocicletas, automóviles y otros). En Colombia, a pesar de la proliferación de sistemas BRT en las grandes ciudades y la necesidad latente de incrementar los niveles de demanda, la elección de ruta en transporte público no ha sido estudiada en profundidad. Esta investigación, a partir de un caso de estudio, analiza los factores que consideran los usuarios a la hora de elegir la ruta/servicio para realizar sus viajes. El caso de estudio seleccionado es la elección entre transporte público colectivo (TPC) y diversas rutas troncales del sistema BRT que presentan superposición entre sí en la ciudad de Pereira (Colombia). Para este análisis se recolectaron encuestas con componentes de preferencias reveladas (PR), preferencias declaradas (PD) y cuestionarios de percepción, aplicadas dentro de estaciones del sistema BRT y en zonas donde las rutas del TPC y el sistema masivo compiten. A partir de la formulación y estimación de modelos híbridos de elección discreta y combinando los diferentes tipos de datos, se obtuvo como resultado que las variables tiempo de viaje, tiempo de espera, tarifa, ocupación y número de robos dentro del sistema, influyen significativamente en la elección de ruta/servicio de las personas encuestadas. Adicionalmente, la percepción de seguridad del usuario ante el sistema impacta significativamente la elección de ruta/servicio de las personas. Los modelos sugieren valores subjetivos del tiempo de viaje de alrededor de \$27.4 COP / min, y del tiempo de espera de \$78.6 COP / min. En cuanto a la ocupación, cuando el autobús llega a su capacidad, las probabilidades de que el usuario decida tomar el servicio son hasta 2 veces más bajas que cuando el autobús está parcialmente ocupado. Los resultados sugieren la presencia de heterogeneidad respecto a la frecuencia de uso de los servicios de transporte público y edad en la percepción de seguridad en cuanto a robos y a la ocupación dentro de los vehículos. Adicionalmente, la instalación de cámaras de seguridad en paradas y estaciones de los sistemas de transporte público mejora la percepción de seguridad de las personas, y por tanto puede aumentar los niveles de demanda de los servicios de transporte público que usan estas estaciones.

---

\*mfiguero12@cuc.edu.co

## Modelos zonales de predicción de colisiones para una movilidad segura desde un enfoque proactivo, caso Medellín

Autores: H Barrera-Jiménez<sup>1\*</sup>, V G Valencia-Alaix<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de maestría, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Colombia  
Estudiante investigador visitante, Universidad de Columbia Británica, Canadá.

<sup>2</sup>Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Colombia

La importancia de la seguridad vial en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el mismo concepto de sostenibilidad han evolucionado al considerarse temas de interés y complejidad interdisciplinar. El estudio de esta problemática debe partir de estrategias conjuntas con la planificación del desarrollo urbano (espacial, económico, social, etc.), sin embargo, el enfoque espacial propuesto desde la ingeniería ha sido, tradicionalmente micro. Los Modelos de Predicción de Colisiones se han enfocado usualmente en una visión sesgada del espacio y normalmente su alcance es el de un elemento específico del sistema en red de la movilidad, siendo una intersección, una glorieta o un tramo de vía, el objeto de estudio. El entendimiento de la ciudad ha sido relegado, y si es que se ha considerado, se interpreta solo como la suma de las partes, condición contraria al pensamiento sistémico. Para evaluar la sistematicidad del problema de accidentalidad como un asunto urbano y no solo de ingeniería de sitio, los Modelos Zonales de Predicción de Colisiones ofrecen una alternativa más eficiente en términos de costos, enfoque y resultados, al tiempo que su función y resultados permiten la implementación de visiones más estratégicas que operativas y la integración de variables más allá que las del diseño geométrico de la infraestructura. En el estudio se desarrollaron Modelos Zonales de Predicción de Colisiones para el caso de la zona urbana de Medellín, en este caso identificando hasta 52 configuraciones de predicción de colisiones en términos de severidad y locaciones zonales infraestructurales, con hasta 39 variables explicativas en términos de exposición, factores sociodemográficos, demanda y gestión de transporte y oferta infraestructural para cada uno de esos escenarios. Las fuentes de la información de entrada son variadas: desde bases de datos oficiales de accidentalidad, información geográfica de diferentes ámbitos y naturalezas como el OpenData Alcaldía de Medellín, Sistemas de Información Geográfica, etc. Los resultados obtenidos permiten identificar zonas propensas a la accidentalidad más allá de variables micro, y el uso de variables de planificación abre la puerta para proponer estrategias de intervención urbana para mejorar la seguridad vial de un sitio existente o llevar a un desarrollo urbano a su mejor condición de movilidad antes de su ejecución. Esta categorización de colisiones con efectos y causas zonales facilita además dirigir más eficientemente los recursos de recuperación del espacio y de establecimiento de mejores prácticas desde la planeación de la movilidad.

---

\*hbarrer@unal.edu.co

## Patrones de movilidad de caminantes en Bogotá y su relación con el territorio

Autores: J R Peña Bastidas<sup>1\*</sup>, L Á Guzmán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (Grupo SUR), Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia

El crecimiento poblacional de las ciudades latinoamericanas en los últimos años ha generado déficits de movilidad y accesibilidad que han impactado principalmente a los hogares de bajos ingresos. Esto se debe en gran medida a la estructura urbana, la ubicación de los centros de empleo y la configuración de la red de transporte. Este estudio desarrolla un modelo econométrico que estima los patrones de distancia de caminata en Bogotá, con características sociodemográficas (género, estrato, ocupación, entre otras) y adicionalmente tiene en cuenta la mezcla de usos de suelo alrededor del origen del viaje. La base de datos utilizada fue de la encuesta de movilidad de Bogotá del año 2015, donde se reconoce una limitación en la estimación de los trayectos de caminata en una sola etapa de viaje (por lo general para llegar al punto de conexión con el modo principal de transporte); sin embargo, el modelo es valioso en la estimación de los viajes completamente realizados a pie entre un par Origen-Destino. Los coeficientes del modelo de caminata indican que los hombres entre 23 y 56 años, que trabajan o estudian y que pertenecen a un hogar de estrato medio, en un área con baja mezcla de usos de suelo, tienden a caminar en promedio mayores distancias que el resto de las personas clasificadas en otras categorías. Adicionalmente se desarrolló un caso de estudio en el cual se utilizó un modelo de ocupación territorial (MOT), para obtener diferentes escenarios de mezcla de usos de suelo en Bogotá. El objetivo es estudiar el efecto en las distancias de caminata al cambiar la configuración y mezcla de los usos del suelo. Los resultados muestran como restricciones a ciertos usos, implican distancias de caminata hasta 12% más largas.

---

\*jr.pena@uniandes.edu.co

## Problemáticas para la prestación del transporte especial. Caso de estudio, transporte escolar público

Autores: L A Carreño Sierra<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Especialista en Tránsito, Diseño y Seguridad Vial  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia

Una de las condiciones para garantizar el acceso a la educación en Colombia es garantizar que el alumno llegue de manera segura, ágil y rápida al centro educativo asignado. Propuestas encaminadas desde el Ministerio de Educación, pasando por las secretarías del área y finalizando en las instituciones educativas buscan de alguna manera garantizar ese objetivo sin que esto le genere costos adicionales a la familia y no sea determinante a la hora de enviar a sus hijos al colegio. El presente trabajo expondrá los problemas que se han presentado a la hora de prestar el servicio a los alumnos y sobre todo las dificultades en la contratación y la estimación de los costos por cada alumno, tomando como referencia el servicio de transporte en el Distrito Capital. El objetivo es encontrar las fallas en el sistema de prestación de servicio, en la organización de las empresas de transporte especial y en el sistema de contratación e interventoría de los contratos de transporte especial escolar. Así mismo, dar puntos clave y específicos que puedan contribuir para un mejor sistema de prestación, contratación, optimización del sistema y seguridad de los usuarios. Para cumplir los objetivos se cuenta con información relevante y conocimientos relacionados con de la prestación del servicio de transporte especial escolar, dicha información permitirá identificar los procedimientos realizados para la estimación de recorridos y zonas de ascenso y descenso de pasajeros, la metodología para la estimación del modelo de costos, el sistema de prestación desde el punto de vista del transportador y de la normatividad nacional en el tema. En primer lugar se espera evidenciar las fallas desde la planeación del sistema desde las Secretarías de Educación al no articular temas de movilidad con entidades concededoras del sector; en segundo lugar, se espera presentar una metodología sencilla para la estimación del modelo de costos que beneficie tanto al fisco como a los prestadores del servicio, adicionalmente, los atributos mínimos para la prestación del servicio en términos de características de la flota y metodología para la planificación de rutas. En tercer lugar, presentar recomendaciones mínimas para la contratación del servicio y el rol de la interventoría para el mejoramiento del sistema y, finalmente, los beneficios para la comunidad escolar atendida.

---

\*luacarrenosi@unal.edu.co

## Recomendaciones para el mejoramiento de planes de movilidad interna de campus universitarios suburbanos en el contexto colombiano

Autores: A L Zárate Muñoz<sup>1\*</sup>, M F Ramírez Bernal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia.

Los campus universitarios de tipo suburbano son muy comunes en ciudades colombianas. Estos campus están en permanente desarrollo y expansión. Son lugares donde frecuentemente la multimodalidad de transporte está presente, en donde el modo predominante son los peatones. Los desplazamientos internos se realizan sobre caminos y vías vehiculares. Al analizar el espacio estudiado se pueden conocer las interacciones de los diferentes usuarios (según sus respectivos modos de transporte), para así definir puntos de conflictos existentes y potenciales. Con esta información se ha reconocido una problemática de seguridad vial. Se ha concluido que no existe la señalización pertinente o socialización adecuada para minimizar los efectos de dichos puntos de conflicto, o simplemente no existen corredores de trayectoria directa entre puntos de atracción dentro del campus. Esto hace que los peatones hagan uso indebido de vías vehiculares, generando conflictos adicionales en las vías; poniendo en peligro sus vidas. La recopilación de literatura ha concluido que un entorno más amigable, una señalización adecuada e incluyente, y corredores más sencillos o de trayectoria directa, hacen que el usuario mejore su comportamiento. Esto, a su vez, contribuirá a mejorar la percepción del entorno y la calidad de vida de los miembros de la comunidad universitaria. Este proyecto propone estrategias y recomendaciones para mejorar la movilidad multimodal interna en campus universitarios. La metodología desarrollada realiza una compilación y análisis de documentos bibliográficos de estudios urbanos aplicados en ciudades extranjeras (a Colombia), con características comunes, acercándolos a la realidad local. Se realiza también una colección de información a nivel nacional, con el objetivo de definir parámetros más cercanos a la cotidianidad de las ciudades. Estas búsquedas se basaron en documentos académicos oficiales de campus universitarios que definieron dichos parámetros. En estos documentos oficiales se encuentra información con respecto a los planes de desarrollo y movilidad interna particular a cada campus. En algunos casos, durante el proceso de recopilación de la información nacional, fue necesario complementar las búsquedas con entrevistas a personal autorizado y con acceso a ella, puesto que no existían registros escritos. A partir de estas búsquedas, y basados en comparaciones uno-a-uno entre los casos de estudio, se seleccionaron variables que permiten cuantificar multimodalidad interna, accesibilidad, distancia y tiempo recorridas, entorno urbano, señalización, y percepción de seguridad en su correspondiente campus universitario. Como conclusión, usando una lista de chequeo con las variables seleccionadas, se evalúa el entorno urbano como herramienta que favorece la toma de decisiones seguras de los usuarios (peatón, biciusuario, conductor) en cuanto a la movilidad dentro de campus, y no simplemente como un medio de desplazamiento. Como resultado, se ofrece un conjunto de recomendaciones que obedecen criterios de inclusión, seguridad vial, optimización de desplazamientos internos (en cuanto se acorten distancias recorridas y tiempos), mejora del entorno urbano, y la oferta de servicios para las respectivas comunidades académicas. Finalmente, los resultados de este proyecto serán útiles para directivos y administradores de campus universitarios y tomadores de decisión en relacionadas con infraestructura de comunidades académicas.

---

\*angie.zarate@mail.escuelaing.edu.co

## Revisión de la metodología de análisis del impacto socio económico y de calidad en la movilidad, en el proceso de implantación de una parada ferroviaria en ciudades de características urbanas similares a ciudades latinoamericanas

Autores: A T Ángel Chaparro<sup>1\*</sup>, N Rodríguez Ussa<sup>1</sup>, M F Ramírez Bernal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia

Los sistemas férreos han contribuido al desarrollo económico y social de las ciudades. Estos sistemas ofrecen distintas ventajas respecto a otros modos de transporte como la reducción de los tiempos de viaje de los usuarios, bajos índices de accidentalidad, impacto ambiental positivo y menores costos de operación, contribuyendo además a la conexión entre el centro urbano y su periferia. Numerosos estudios sobre transporte férreo coinciden en señalar al ferrocarril como un vehículo sostenible y seguro, más que otros modos de transporte. En Latinoamérica, en cuanto al transporte de pasajeros, los ferrocarriles suburbanos pasan a ser prioritarios en las grandes ciudades como brazo alimentador de otros modos de transporte. Esto, con efectos de desincentivar el uso del automóvil particular en largos recorridos, y optimizar los impactos ambientales que genera la motorización individual. Por otro lado, la falta de acceso a transporte asequible y eficiente genera exclusión social, e impide la accesibilidad al empleo y la educación, los servicios de salud y los mercados para los grupos de bajos ingresos. La motivación de este proyecto es social y ambiental. Aquí se analizaron y compararon los criterios de decisión en la definición de paradas respecto a metodologías utilizadas en ciudades con características similares a las ciudades latinoamericanas de mayor población. En algunos casos, diversas limitantes impiden la introducción satisfactoria del modo en la ciudad. Sus paradas existentes no contaron con ningún tipo de planificación o diseño, se utilizó la infraestructura existente y solamente se contemplaron algunos parámetros de seguridad vial y demanda para su definición. Por otro lado, en ciudades como Tokio (Japón), Región de Campania y Bolonia, en Italia, la densidad y las distancias de los recorridos son comparables con algunas latinoamericanas. En estas ciudades se han desarrollado metodologías para la implementación de paradas férreas contemplando variables de tipo económico, social y ambiental. Estas metodologías analizan las variables en conjunto, teniendo como fin establecer la opción de punto de parada más eficiente para la ciudad. Con la recopilación bibliográfica se compararon y seleccionaron variables, teniendo en cuenta características urbanas, económicas, sociales y de transporte, propias de ciudades latinoamericanas. El objetivo a mediano plazo de este proyecto es desarrollar una serie de recomendaciones que aporten a la implementación del modo férreo en ciudades latinoamericanas en crecimiento. A manera de conclusión, estas recomendaciones esperan facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes, para hacer del tren una alternativa adicional como modo de transporte suburbano y así mismo mejorar la calidad de vida de la ciudadanía.

---

\*angie.angel@mail.escuelaing.edu.co

## Propuesta metodológica para la evaluación de medidas de gestión de la demanda

Autores: G Infante Malagón<sup>1\*</sup>, C E Ortíz Prieto<sup>1</sup>, L E González Sanguino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cal y Mayor - Colombia

Durante las últimas décadas las principales ciudades de Latinoamérica tienen en la congestión una de las mayores problemáticas sociales que compromete la calidad de vida de sus habitantes y su competitividad, aumentando no solamente los tiempos de desplazamientos, sino sus externalidades asociadas: contaminación, ruido, accidentalidad y pérdida de productividad. Surgiendo una necesidad de cambiar y mejorar estas condiciones, sin embargo, en muchas ocasiones se concentran en desarrollar una medida sin previa evaluación de alternativas que permitan una selección de la alternativa idónea a las condiciones propias de su entorno. En muchos casos se pretenden aplicar medidas efectivas en otras ciudades, como el cobro por congestión, pero sin evaluar la zona apropiada de implementación en la ciudad. En consecuencia, la medida terminará siendo poco o nada efectiva y rechazada política y socialmente. Dentro de este trabajo se hace un recuento de los pasos necesarios para la estimación de impactos a la movilidad, la accidentalidad, la economía y el medio ambiente previo a su implementación. Entendiendo que es necesario un cambio y evaluar medidas tradicionales como el pico y placa en ciudades colombianas, se evalúan alternativas como un área de cobro por congestión, medidas que actualmente no han sido implementadas en el país o en otras ciudades latinoamericanas. A partir de la información existente, como encuestas de movilidad, series históricas de parque automotor y/o accidentalidad, modelos de transporte, se desarrolla un escenario base que será comparado con la realización de escenarios futuros resultantes de la recopilación de información primaria, ejercicio de modelos de elección discreta que busquen establecer comportamientos y probabilidades de los actores viales seleccionados a analizar dentro de nuestros escenarios a implementar. Una vez realizado este ejercicio, se evalúa el modelo de elección de ruta para poder medir los impactos en los kilómetros recorridos en la ciudad, los cuales serán la herramienta de medición de los impactos en las siguientes etapas del proyecto. A continuación, usando modelos econométricos, estadísticos y ambientales, en función de la variación en kilómetros recorridos en cada uno de los escenarios propuestos en comparación de la situación base, se evalúan las variaciones de actividades económicas, las dinámicas del transporte, accidentalidad y la generación de contaminantes, como herramientas de medición los impactos derivados de la implementación de estas medidas en toda la ciudad. Resultando una matriz de escenarios cuyas variables sean definidas previamente y permitan entender los impactos positivos y/o negativos de las medidas evaluadas para finalmente seleccionar la o las apropiadas a desarrollar en una etapa de detalle. Dicha propuesta metodológica fue evaluada para la ciudad de Medellín como producto de una consultoría realizada con la Secretaría de Movilidad, de manera que se busca ejemplificar los pasos a seguir y presentar algunas conclusiones de los resultados obtenidos, brindando una serie de recomendaciones de medidas aplicadas en el país como el pico y placa, así como propuestas de cambio para aquellas que desean iniciar un proceso hacia una movilidad más sostenible y amigable.

---

\*ginfante@calymayor.com.mx

## Transformaciones urbanísticas en el área de influencia de las variantes de la red nacional de carreteras

Autores: L E Acosta Medina<sup>1\*</sup>, C A Ruiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Autor, colombiano. <sup>2</sup>Director, colombiano

Los contratos de concesión se empezaron a implementar en Colombia en 1994 con el fin de atender las necesidades de la red nacional de carreteras y mejorar los tiempos de viaje entre los centros poblados y los centros de producción y puertos. Como solución a la congestión en pasos urbanos, se planteó la construcción de variantes. La normatividad establece las fajas de retiro obligatorio, donde no se pueden desarrollar obras, permitiendo únicamente la construcción de accesos, garantizando la operación de las vías. Sin embargo, una vez estas han sido puestas al servicio se viene presentando un cambio en los usos del suelo en su zona de influencia, a través de nuevos desarrollos urbanísticos, que afectan las condiciones de operación de estas vías. En el trabajo se han verificado algunas variantes, determinando el área ocupada por nuevos desarrollos urbanísticos desde la construcción. Se describen las soluciones de acceso y salida a estos nuevos desarrollos y la solución de los viajes generados a través de información secundaria. Así, el objetivo que se propone es: “caracterizar el comportamiento en los cambios de usos del suelo en el área de influencia de las variantes en operación de la red nacional de carreteras en la Sabana de Bogotá, con el fin de evaluar el efecto que generan sobre las condiciones de operación los nuevos desarrollos urbanísticos”. La selección del área sobre la cual se analizarán los cambios de uso, se realizó con la información disponible en Google Earth, teniendo en cuenta la normatividad e indicando los criterios utilizados. Una vez se determinó la zona, se revisó el cambio en las áreas ocupadas por desarrollos urbanísticos hasta la fecha más reciente donde existe información. El resultado permite conocer el cambio en el área ocupada en dichas franjas. En la zona seleccionada para la variante de Cajicá se han venido desarrollando principalmente proyectos de vivienda. Desde el 2011 el porcentaje de área ocupada pasó de 11,3% a 21,2%. Para la variante de Cota, desde el año 2011 a la fecha, el porcentaje pasó de 0,0 % a 35,14%, y para la variante de Madrid el porcentaje pasó de 9,8% al 36,6%, con un mayor uso industrial. En las tres variantes se presenta afectación en la operación por los desarrollos urbanísticos. Las variantes de Cajicá, Cota y Madrid han causado la formación de nuevos desarrollos residenciales, industriales y logísticos, incrementando la ocupación del suelo con una alta tasa de crecimiento. Estos desarrollos han impactado las condiciones de operación de las variantes, afectando la circulación de los vehículos de largo recorrido.

---

\*luacostam@unal.edu.co



## Transporte ilegal en sectores en condición socioeconómica media alta en Bogotá D.C: del transporte ilegal al intercambio modal alternativo

Autores: A F Espinel Ortega<sup>1\*</sup>, M J Cardozo Chauz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ing. Civil, Estudiante Maestría en Ingeniería-Transporte, Universidad Nacional de Colombia. <sup>2</sup>Profesor Universidad Nacional de Colombia

En Bogotá D.C. se ha utilizado el transporte ilegal como alternativa de intercambio modal para acceder al Sistema Integrado de Transporte Masivo – SITP. Esta forma de transporte era propia de sectores que carecían de servicio formal, de difícil acceso o de bajo nivel socioeconómico y se ha extendido a zonas en condición socioeconómica media alta, estratos 4 y 5 según la jerarquización de los niveles de riqueza o pobreza en Colombia. El objetivo es plantear una propuesta metodológica para determinar las preferencias que motivan a los usuarios de estrato socioeconómico medio alto a emplear modos de transporte ilegal para acceder al SITP, con el fin de plantear alternativas que reduzcan el uso de transporte ilegal. Esta metodología es el resultado de un estudio de caso en la estación BRT Mazurén, sector noroccidental Bogotá D.C., que se desarrolló en cinco etapas: 1) diagnóstico del área de estudio; 2) recolección de información primaria; 3) caracterización de la demanda de transporte ilegal aplicando encuestas de preferencias reveladas, 4) evaluación de opciones de cambio modal aplicando encuestas de preferencias declaradas y 5) propuestas de alternativas de transporte sostenible. En el diagnóstico del sector se identificaron aspectos de la movilidad, sociales, geográficos, económicos y ambientales. En la recolección de información primaria, para facilitar el trabajo con los usuarios, se utilizaron herramientas tecnológicas como cámaras de video para la realización de aforos y tabletas para las encuestas. De las pruebas piloto realizadas con los grupos focales, se obtuvieron pautas para estructurar las preguntas en las encuestas de preferencias reveladas y declaradas, el orden de las preguntas, número máximo, método para aplicarlas, además de la forma de contratación y minimización de riesgos laborales para el personal que estará en campo. En la caracterización de la demanda, las encuestas de preferencias reveladas determinaron tres variables de mayor importancia: tiempo de espera, tiempo de viaje y costo. Los principales modos ilegales presentes en el sector son el vehículo particular por puestos con 34.89% de los usuarios, el servicio especial que ofrece transporte público en busetas tipo minivan con el 25.83% y el bicitaxi con el 46.12%. En la evaluación de opciones de cambio modal se estructuraron opciones hipotéticas, con una encuesta de preferencias declaradas en dos partes. La primera con opciones de transporte alternativo y la segunda con ocho opciones aplicando un diseño factorial de combinación de atributos y niveles que incluyen elección entre las variables tiempo de espera, tiempo de viaje y costo. Finalmente, se estructuró un modelo de elección discreta tipo *Logit* para estimar los parámetros de utilidad y con ellos la probabilidad de cambio modal de los usuarios. La metodología propuesta permite analizar la ilegalidad para planificar y generar políticas de transporte, alternativas de solución particulares para cada sector de acuerdo con las preferencias de los usuarios y con la dinámica de la movilidad, generando la integración del viaje en sus diferentes etapas. Se presentan alternativas de intercambio modal sostenibles en el corto, mediano y largo plazo para reducir el uso de transporte ilegal.

\*afespinel@unal.edu.co



# **Seguridad vial**

---



## ¿Sirve de algo usar casco en bicicleta? Análisis para Bogotá

Autores: L M Quiñones<sup>1\*</sup>, C Pardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Despacio, Colombia

El uso del casco en bicicleta genera un debate complejo en varios contextos, del cual Bogotá no se ha escapado. Este trabajo presenta la discusión conceptual alrededor de la efectividad del casco y su relevancia dentro de las políticas públicas de transporte, y también, a partir de un análisis estadístico de siniestros en Bogotá, valora si el uso de casco en los ciclistas tiene un efecto protector real en caso de sufrir un siniestro. Este tema es de gran relevancia actualmente, pues está directamente relacionado con la promoción del uso de la bicicleta, que es uno de los objetivos principales de las políticas de transporte tanto a nivel nacional como a nivel local. Por esta razón, las regulaciones asociadas al uso de la bicicleta cobran gran importancia, y deben evaluarse a profundidad los efectos que tienen tanto sobre el uso de la misma, como sobre la seguridad de los ciclistas. A pesar de su importancia, el tema de los cascos es difícil de discutir, puesto que no hay datos concluyentes y, adicionalmente, hay posiciones dogmáticas que dificultan llevar a cabo un análisis imparcial y objetivo. Según esto, este trabajo se concentra en responder dos de las preguntas sobre el uso del casco y su efecto individual en un caso de choque, y el uso del casco y el comportamiento asociado de parte del usuario. Con base en la revisión de literatura y los análisis estadísticos llevados a cabo, se identificó que no hay una relación clara entre el uso de casco y la disminución de la gravedad en siniestros con ciclistas y, por el contrario, el análisis sugiere que quienes usan casco tienden a estar involucrados en siniestros de mayor gravedad. Esto requiere un análisis más profundo, pero implica que la exigencia del uso del casco no traería grandes beneficios en cuanto a seguridad vial y, en cambio, sí podría desincentivar el uso de la bicicleta. Por esta razón, es necesario que las políticas de seguridad vial para ciclo-usuarios tengan un enfoque integral y no se orienten exclusivamente hacia la auto-protección, sino que se tengan en cuenta otros factores de riesgo tales como la velocidad en las vías y la calidad de la ciclo-infraestructura.

---

\*lina@despacio.org

## Análisis comparativo de modelos lineales y no lineales para la estimación de la velocidad operacional en curvas horizontales

Autores: V R Castillo<sup>1\*</sup>, C A Calero <sup>1</sup>, C A Gaviria<sup>2</sup>, D Ijaji<sup>2</sup>, J Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Profesor Universidad del Cauca. <sup>2</sup>Profesor Universidad Militar Nueva Granada.  
<sup>3</sup>Estudiante Universidad del Cauca

La consistencia de diseño geométrico permite valorar el trazado de una carretera a partir de las expectativas de los conductores. La hipótesis de este estudio es que los modelos lineales no generan una estimación adecuada de la velocidad, dado que existe dependencia de la variable independiente a través de la curva. El objetivo de este trabajo es comparar la certeza de los modelos lineales y no lineales en la estimación de la velocidad operacional en vías rurales de dos carriles con dos direcciones. En el presente estudio se utilizará Datos en Panel y se compararán con un modelo lineal. La muestra incluye la velocidad a flujo libre de 22,020 vehículos medida en cinco puntos de 38 curvas horizontales mitad de entretangencia de entrada y salida, (PC), (MC) y (PT) en vías rurales de dos carriles de dos direcciones en Puerto Rico. Se escogieron tramos de vía, catalogados como rurales o carreteras. En estos tramos no se restringió ninguna variable de tipo geométrico, para evaluar su efecto sobre la variable dependiente. Las velocidades registradas fueron admitidas solo a flujo libre. Estos datos se trataron de tal manera que se eliminaron los valores atípicos utilizando el método de Boxplot y se garantizó la normalidad con los diferentes test como Smirnov – Kolmogorov. El diseño investigativo consta de cinco etapas, la primera es la aceptación de los datos donde se analiza la normalidad, la segunda es la estructuración de los datos, de tal manera que se configure el Panel, en la tercera se seleccionan las variables independientes que más influyen en la variable dependiente, la cuarta consta de analizar los datos en el Panel, la quinta consiste en analizar el modelo arrojado comparándolo con uno obtenido linealmente y concluir. Las variables independientes que más influyen en la velocidad de operación se determinaron de dos maneras: la primera mediante una revisión bibliográfica de los diferentes modelos creados para la estimación de la velocidad de operación y la segunda manera mediante la aplicación de la técnica Best Subsets. Introduciendo las variables seleccionadas se obtuvo un R<sup>2</sup> de 0.83, el cual muestra que las variables velocidad de diseño inferida (km/h), radio (m), ángulo de deflexión (radianes) y una constante describen bien el modelo. Al comparar el modelo de datos en panel con el modelo lineal, se observa similitud en los valores de R<sup>2</sup>, dando como resultado que el modelo en datos en panel es una herramienta adecuada para las estimaciones de modelos estado – espacio y útiles en ingeniería de vías, dado que éste se ajusta mejor a las caídas abruptas de velocidad operacional en las curvas horizontales, mientras que el modelo lineal, sigue una tendencia al crecimiento con una diferencia promedio del 2.2%, esta característica de los modelos es fundamental para la consistencia de diseño geométrico dado que identifica puntos potenciales en los que la seguridad para el usuario pudiera ser comprometida. El estudio deja como punto de partida el análisis de datos de velocidad para estudios de consistencia en Colombia.

\*renancastillo@unicauca.edu.co

## Análisis de la relación espacial entre la morbimortalidad de peatones por siniestros de tránsito y los puentes peatonales en la ciudad de Santiago de Cali

Autores: A F Hoyos Tejada<sup>1</sup>, B E Paz Restrepo<sup>1</sup>, C Jaramillo Molina<sup>1\*</sup>, J Murillo Hoyos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Colombia

En Santiago de Cali los peatones son uno de los grupos más vulnerables en siniestros de tránsito. Existen zonas destinadas para que los peatones transiten cómodamente y eviten ser atropellados por un vehículo, una de las estructuras más usadas para peatones son los puentes peatonales. En este contexto, se efectúa un análisis espacial entre la morbimortalidad de peatones debido a siniestros de tránsito (2007-2013) y la existencia de puentes peatonales en el área urbana. Se realizó un análisis estadístico descriptivo de las variables asociadas a morbimortalidad de peatones como lo son: edad de la víctima, sexo, fecha y hora de ocurrencia del siniestro, y asociadas a la infraestructura de puentes peatonales como lo son: material predominante, luz estructural, longitud y obstáculo que cruza. Posteriormente, se geocodificaron los registros de siniestros peatonales para efectuar el análisis exploratorio de datos espaciales, estimar la correlación entre morbimortalidad de peatones y la existencia de infraestructura mediante el índice de Moran univariado y bivariado, y para realizar un análisis de proximidad de los siniestros viales que involucran peatones y ocurren dentro de áreas de influencia alrededor de los puentes peatonales definidas a partir de buffers de 100, 200 y 300 m. Entre los resultados para el periodo estudiado se destaca que el 70% de los peatones fallecidos fueron hombres y el rango de edad con mayor concentración de peatones fallecidos es entre 70-79 años (20%). En el caso de los puentes peatonales, los materiales predominantes son el concreto (48%) y el acero (49%) y aproximadamente el 83% de los puentes cruzan canales en medio de vías de alta jerarquía sobre las cuales los peatones quedan desprovistos de infraestructura que los proteja. Los resultados del Índice de Moran bivariado muestran que no hay correlación directa entre la existencia de puentes peatonales y la ocurrencia de siniestros de tránsito con peatones, sin embargo, se presenta formación de clústeres en diferentes zonas de la ciudad, mostrando zonas problemáticas de concentración de eventos y de infraestructura, como también alta concentración de eventos y ausencia de infraestructura. En el análisis de proximidad se evidenció que el 55% de los peatones fallecidos en el periodo de estudio se encontraban a una distancia menor a 300 metros de un puente peatonal, y al acercarse a 100 metros de la infraestructura peatonal se encuentran alrededor del 20% de los eventos mortales registrados, confirmando así la cercanía de los eventos a los puentes peatonales. Estos resultados dan elementos a los tomadores de decisión para considerar en política pública la instalación de puentes peatonales como un elemento que proteja a los usuarios más vulnerables de la vía.

\*ciro.jaramillo@correounivalle.edu.co

## Análisis de las variables geométricas y operacionales en la asignación de las velocidades de diseño en terreno ondulado

Autores: C E Oñate<sup>1\*</sup>, C A Calero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesor Universidad del Cauca

Según Organización Mundial de la Salud, en el país el 54% de accidentes fatales se presentan por el uso de vehículo, accidentalidad que es provocada por excesos de velocidad (Valbuena Cortés, 2011). Esta falta de seguridad vial puede ligarse a problemas de consistencia en el diseño geométrico, dado que éstas se encuentran altamente correlacionadas; vías con inconsistencias en el diseño geométrico generan cambios abruptos de la velocidad que pueden desencadenar choques (Polus & Mattar-Habid, 2004). El proceso de la asignación de las velocidades de diseño en el Manual de Diseño Geométrico Colombiano (MDGC) pretende atender la consistencia en una etapa temprana del diseño. El MDGC aclara que ésta metodología se realizó a partir de estudios desarrollados en países con idiosincrasia similar a la colombiana, por lo que no representa la realidad del comportamiento de los conductores en Colombia, por tanto, es necesario establecer los parámetros que llevan a obtener una asignación de velocidades que atienda la realidad del país. La hipótesis del estudio es: el MDGC genera vías en las que la consistencia de diseño geométrico no es adecuada, dado que no se tiene en cuenta las particularidades de los conductores en las vías colombianas en el proceso de la asignación de la velocidad de diseño de los elementos en los alineamientos. El objetivo del estudio es definir si las variables implementadas, evalúan la calidad del diseño geométrico de las carreteras desde el punto de vista de los conductores en Colombia. Se definen las variables independientes como todos los elementos geométricos de vía, y las dependientes como los cambios de velocidad presentados dentro de los elementos de vía. Para esto, se incluyeron 46 curvas dentro de un mismo tramo que cumplen representatividad por su variabilidad geométrica dentro de terreno ondulado; el rango de radio de curvatura varió entre 40 y 500 metros, con longitudes de entretangencia anteriores entre 40 y 400 metros y ángulos de deflexión entre 7° y 95°. La toma de velocidades se realizó con un receptor GPS cartográfico. Se incluyeron 1.380 datos de velocidad de los usuarios circulando a flujo libre, la velocidad operacional fue determinada en cinco puntos para cada curva: en la mitad de la entretangencia de entrada y salida, y el principio (PC), mitad (MC) y final (PT). Al analizar los datos se observó que la velocidad operacional disminuye cuando la distancia de parada (Dp) a la entretangencia siguiente es menor a 100 metros, aumentó cuando (Dp) fue mayor a 100 metros y entretangencia mayor a 400 metros, no hubo cambio de velocidad cuando la distancia de parada fue mayor a 100 metros con entretangencia anterior menor a 400. Como conclusión, se determinó diferencia de comportamientos con lo que deduce el MDGC, que analiza longitud de entretangencia anterior y ángulo de deflexión, con los resultados obtenidos en la investigación. El MDGC utiliza variables que no evalúan la calidad del diseño geométrico desde el punto de vista de los conductores.

\*carloveduardo@unicauca.edu.co



## Caracterización de la accidentalidad vial en Bogotá, Colombia, a partir del empleo de modelos geoestadísticos (Periodo 2012 y 2015)

Autores: A M Castro Roberto<sup>1</sup>, S M González Palacios<sup>1</sup>, W E Vargas Vargas<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de maestría en Infraestructura Vial – Universidad Santo Tomas – Colombia.

<sup>2</sup>Docente de Planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas,  
Docente Cátedra Universidad Nacional de Colombia - Colombia

Una de las principales problemáticas en los países en vía de desarrollo está asociada con la movilidad en las ciudades, la cual se expresa en elevados tiempos de viaje y con tendencia a incrementar, y cuya consecuencia recae directamente en mayores niveles de congestión y accidentalidad. Este segundo término es de gran importancia para este estudio dadas sus implicaciones de orden vital, por ser una de las principales causas de mortalidad en todo el mundo. Dado lo anterior, surge la necesidad de evaluar esas repercusiones a la movilidad, a la seguridad vial y a la sociedad en general, desde la perspectiva ingenieril. Este documento se centra en un análisis de accidentalidad vial en la ciudad de Bogotá D.C., para el periodo 2012 - 2015, mediante el empleo de métodos geoestadísticos, los cuales permiten realizar un estudio detallado de datos posicionados espacialmente o georreferenciados, facilitando el reconocimiento de zonas de alta concentración de eventos, la identificación de tendencias y de patrones de distribución de los datos y la elaboración de modelos de predicción de superficies. Entre los métodos geoestadísticos utilizados se encuentran: hotspots (puntos calientes), análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), y el método de predicción por distancia inversa (IDW). Para la estimación de los puntos calientes se clasificó y depuro la información georreferenciada obtenida en las bases de datos de siniestros viales de la Secretaría Distrital de Movilidad, agrupando los puntos de siniestros en cinco rangos, de muy bajo a muy alto para los límites inferior y superior respectivamente, los cuales se plasmaron gráficamente en un mapa. Respecto al AEDE se llevó a cabo el análisis del patrón de distribución de los datos por medio de los índices de Morans y Clustering alto/bajo, con el propósito de conocer si el fenómeno de accidentalidad es resultado de procesos aleatorios o no, y así mismo determinar la configuración de la concentración de los datos. Finalmente, con la técnica IDW se generó un modelo de predicción de los eventos. Una vez analizados todos los procesos, se procedió a realizar la selección de los puntos a estudiar cruzando los resultados de hotspots e IDW, para buscar aquellas zonas donde coincidieran la mayor concentración de eventos con los lugares donde se presentaron las predicciones, identificándose las siguientes intersecciones: Avenida Cali con Avenida Villavicencio, Avenida Primero de Mayo con Avenida Carrera 3 Este, Avenida Villavicencio con Avenida Carrera 51 y Avenida Carrera 80 con Avenida Primero de Mayo. Adicionalmente, se obtuvo una zonificación de la accidentalidad para la ciudad, donde se tuvieron en cuenta factores como sectores con mayor incidencia, severidad de los siniestros, zonas de predicción y estado de la malla vial. Este proceso provee resultados valiosos no solo para futuras investigaciones, sino para la toma de decisiones de las entidades competentes en temas de seguridad vial.

\*wvargas@udistrital.edu.co

## Cobertura y atención de los sistemas APH como componente de estudio de la siniestralidad vial en Bogotá. Caso de estudio: Hospital Occidente de Kennedy

Autores: F J Sandoval Ávila<sup>1\*</sup>, L A Bulla-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vías y Transporte, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Gran parte de los esfuerzos en seguridad vial se ha concentrado en la prevención directa de los siniestros, como eventos evitables. Entre 2013 y 2017 la siniestralidad vial dejó en Bogotá 2.358 víctimas fatales y 74.389 lesionados, situación que posiciona la cadena asistencial, una vez ocurrido el siniestro, como un elemento de vital importancia. Cerca del 20% de los despachos del Centro Regulador de Urgencias y Emergencias es destinado a la atención de “Accidentes de tránsito”, siendo esta la segunda causa de despachos en la ciudad. No obstante, la respuesta de los servicios de Atención Pre Hospitalaria aún presenta muchas dificultades y falencias. En 2015, 102 personas fallecieron durante la prestación de servicios de urgencias, es decir el 19% de las víctimas mortales de ese año por siniestros viales. Este fenómeno puede verse afectado por: 1) El nivel de trauma de la víctima. 2) El tiempo de respuesta y traslado del servicio de Atención Pre Hospitalaria y 3) La competencia de la atención prestada por los servicios médicos. El propósito esta investigación es determinar aquellas áreas de la ciudad donde se presenta una alta frecuencia de siniestros viales graves, con heridos o víctimas fatales, que hayan sido trasladados al Hospital Occidente de Kennedy, cuyo tiempo de viaje sea superior a la media y a lo recomendado internacionalmente. La literatura médica considera que un inadecuado y/o inoportuno tiempo de atención reduce la posibilidad de supervivencia de las víctimas; luego, hay zonas en Bogotá que pueden ser incluso más críticas en términos de supervivencia a un accidente de tránsito que otras. La identificación de estas zonas, utilizando como criterio adicional la cobertura y atención de los servicios de Atención Pre Hospitalaria, puede ser usada como un criterio para priorizar intervenciones que lleven a una más contundente disminución de la morbimortalidad vial. Empleando un modelo de simulación macroscópica en PTV VISUM, que responda a una cobertura cercana al 80% de los traslados por accidentes de tránsito al Hospital Occidente de Kennedy, se modeló bajo condiciones críticas de movilidad (en la hora pico de las 6 am), resultado del análisis espacio temporal de la siniestralidad vial y los traslados efectuados a dicho hospital entre los años 2013 y 2017. De los 9.811 traslados el 64.21% fueron hombres y solo el 1.23% fallecieron por traslado, para un total de 121 casos, de los cuales 90 fueron hombres (74.38%) y 31 mujeres (23.97%). A partir del modelo se encontró que el tiempo medio de traslado donde hubo deceso del paciente fue de 37.9 minutos contra 45.8 minutos para aquellos que sobreviven al traslado. En lo que respecta a tiempos de viajes al hospital, solo el 19.17 % (23 casos) de los fallecidos trasladados estaban dentro del rango de 20 minutos al hospital, mientras que el 7.94% (761 casos) se encontraban dentro del mismo rango. A partir de un mapa de calor se hace evidente la concentración de eventos entre los 20 y 35 minutos por lo que es posible generar puntos de evaluación usando la atención pre hospitalaria como criterio adicional frente a estudios y planes de intervención en seguridad vial.

\*fjsandovala@unal.edu.co

## Enfoque sistémico para la evaluación preventiva de la seguridad vial en el bicitaxismo

Autores: J F Restrepo González<sup>1\*</sup>, L A Bulla-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vías y Transporte, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Esta investigación comprende la formulación y aplicación de una metodología para la evaluación preventiva de la seguridad vial por operación del bicitaxismo en Bogotá (Colombia), bajo un enfoque sistémico enmarcado en los cinco pilares del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011 – 2021. La evaluación es preventiva debido a que la ciudad no cuenta con registro de siniestros con bicitaxis. La metodología comprendió la caracterización de la operación del bicitaxismo y las motivaciones de su aparición, definición de lugares y periodo de estudio. Se preseleccionaron 50 puntos de oferta, de los cuales se estudiaron 10, por su operación riesgosa percibida mediante videos. Finalmente se analizaron Madelena, Patio Bonito y Portal de Suba, dada su alta relación oferta/demanda en días típicos. La evaluación de la seguridad vial se hizo por pilar, así: gestión institucional (línea de tiempo sobre normatividad nacional y local), vehículo (inspección a 74 bicitaxis, Resolución 3256 de 2018 y NTC 5286 de 2014), comportamiento humano (estudio comportamental a 360 conductores de bicitaxis, en el que se evaluó el individuo, su protección y comportamiento con relación a la infraestructura y la señalización), infraestructura (inspección de seguridad vial para determinar la incidencia de los hallazgos en la seguridad en relación con el bicitaxismo) y atención y rehabilitación de víctimas (diseño y aplicación de encuesta a representantes de cooperativas de bicitaxis sobre entrenamiento del conductor, responsabilidad ante siniestros, asistencia a víctimas y participación institucional). Los resultados por pilar permitieron identificar que institucionalmente, desde 2004, se han dado pasos para la reglamentación de vehículos no motorizados hasta que, en 2018, el Ministerio de Transporte reglamentó y autorizó la prestación del servicio público de transporte de pasajeros. En más del 50% de los vehículos se registró la carencia de elementos de seguridad para ocupantes, deficiencias estructurales de iluminación, retro reflectividad, espejos y pitos, ya sea por mal estado o por ausencia. Del conductor se evidenció su imprudencia, conducción temeraria, poco uso de elementos de seguridad, poca atención y cumplimiento a las señales y normas de tránsito y situaciones de alto riesgo que provocan la necesidad de acciones evasivas por parte de otros usuarios. En la infraestructura se identificaron deficiencias, afectando la operación y seguridad de algunos usuarios, así como el uso inadecuado de ciclorrutas que, en conjunto con el mobiliario urbano y otros elementos, generan riesgo a los usuarios vulnerables. En cuanto a atención y rehabilitación de víctimas, los conductores en su mayoría no cuentan con capacitaciones, pero en caso de existir situaciones de accidentalidad hay responsabilidad por parte de ellos y de organismos de emergencia. Se concluye que el bicitaxismo cumple parcialmente con los cinco pilares, dado que se requieren: adecuaciones a los vehículos para garantizar la seguridad de sus ocupantes; reducción de velocidades de operación; modificación de algunos elementos en la infraestructura que mitigue parte del riesgo; así como capacitación a conductores en procedimientos en caso de accidente y en una conducción más responsable e incluyente.

\*jfrempog@unal.edu.co

## Estimación de la relación espacial entre los accidentes peatonales y la infraestructura vial y usos del suelo en Santiago de Cali

Autores: D A Garzón Angarita<sup>1</sup>, J Murillo Hoyos<sup>1\*</sup>, C Jaramillo Molina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Colombia

Los accidentes peatonales representan el 22% del total de muertes por accidentes de tránsito a nivel global, según la Organización Mundial para la Salud. Santiago de Cali es una de las ciudades con mayor número de accidentes peatonales en Colombia y uno de los principales factores asociados a este fenómeno podría ser la infraestructura vial. En este contexto se plantea el análisis de la relación espacial entre los accidentes peatonales y la infraestructura vial con el fin de que las autoridades puedan priorizar zonas de intervención y optimización de recursos que ayuden a mitigar este fenómeno. Con el propósito de identificar las zonas con mayor accidentalidad de peatones, se caracterizaron los accidentes peatonales a partir de la geocodificación y agregaron a nivel de barrio (unidad de análisis) los registros contenidos en la base de datos de accidentes de la ciudad en el periodo 2008-2013. Posteriormente, se identificaron los factores referentes a la infraestructura vial: patrones de red vial agregados a partir de los índices de integración global y centralidad entre redes; factor operacional, obtenido mediante un modelo de velocidades para cada barrio; facilidades del transporte y los usos del suelo, agregados mediante geoprocesos de intersección y conteo con las unidades de análisis. Finalmente, se implementó un modelo de regresión de *Poisson* geográficamente ponderado (GWPR), el cual describe la relación entre los accidentes peatonales (variable dependiente) y los factores referentes a la infraestructura vial (variables independientes) para cada barrio de la ciudad. Como resultados se obtuvo que los barrios del centro de la ciudad son los que mayor ocurrencia de accidentes peatonales presentaron durante el periodo analizado, además, según el modelo GWPR los factores que se relacionan significativamente con los accidentes peatonales son la centralidad entre redes y el uso de suelo mixto. El primero se relaciona de forma negativa y el segundo de forma positiva, es decir que los barrios con altos niveles de accidentes peatonales tienden a poseer un patrón de red vial de tipo grilla (centralidad entre redes bajo) y altos valores de uso de suelo mixto, como los barrios del centro de la ciudad. En contraste con los barrios que poseen bajos niveles de accidentes peatonales, los cuales tienden a poseer un patrón de red vial de tipo irregular (centralidad entre redes alto) y bajos niveles de uso de suelo mixto, como los barrios del occidente. En conclusión, se puede afirmar que existe una relación significativa entre algunos de los factores de la infraestructura vial de la ciudad y los accidentes peatonales, ya que se representó en un 66% este fenómeno, sin embargo, la sobre-dispersión de los datos es una limitación del modelo y recomendación para futuros estudios. Además, se deben tener en cuenta otras variables entre ellas las asociadas al comportamiento de los conductores y el estado de los vehículos.

---

\*jackeline.murillo@correounivalle.edu.co

## Estudio de velocidades específicas de curvas horizontales en terreno plano

Autores: J ATacué<sup>1\*</sup>, C A Calero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesor Universidad del Cauca

Las lesiones causadas por accidentes de tránsito son un problema mundial con alto impacto social, económico, y principalmente en salud pública. Es necesario concertar esfuerzos para una prevención eficaz y sostenible, integrando políticas que ayuden a mitigar el número de traumatismos y muertes. Una de las posibles formas es a través del diseño geométrico, cuyo concepto se ha extendido al punto de considerar: *i*) consistencia en el diseño, *ii*) diseño geométrico lateral con zonas libres, *iii*) incorporación de obstáculos y medio ambiente, y *iv*) seguridad vial. Una disminución de seguridad vial se correlaciona con problemas asociados a la consistencia en el trazado, y se expresa mediante variaciones de velocidad entre elementos sucesivos de una carretera (entretangencias y curvas horizontales), que pueden originar maniobras erráticas que desencadenan en choques. El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia (MDGC) encamina la consistencia de diseño mediante la asignación de velocidades por tramo homogéneo ( $V_{TR}$ ) y para cada elemento geométrico en los alineamientos horizontal y vertical (velocidades específicas). Esta metodología fue desarrollada a partir de estudios de velocidad realizados en países con idiosincrasia similar a la colombiana, y no ha sido ajustada al comportamiento de un conductor al transitar en carreteras del país. El objetivo del estudio es verificar la aplicabilidad de la asignación de velocidad para carreteras de dos carriles en terreno plano. La toma de datos se llevó a cabo durante el día, en condiciones meteorológicas de clima templado y pavimento seco; los sujetos incluidos en el estudio se desplazaban en condiciones de flujo libre. La velocidad fue obtenida por metodología de vehículo flotante mediante GPS cartográfico con precisión de 0.1 m. La toma de datos se realizó en la vía Panamericana sector El Bordo – Galíndez (Cauca). La muestra incluye conductores entre 20 y 50 años, sin distinción de género y buenas condiciones de salud. Se analizaron velocidades de 50 curvas horizontales agrupadas por casos de estudio según la metodología para asignación de velocidades descrita en el MDGC. Respecto a las condiciones geométricas, se establecieron radios de curvatura entre 57 m y 1.678 m, con ángulos de deflexión entre 2° y 66°, y entretangencias horizontales entre 13 m y 1.310 m. Al analizar los datos se observó que la metodología de asignación de velocidades del MDGC no considera parámetros que generan variaciones de velocidad. En el caso 1 de la metodología, la velocidad varía de 0 km/h a 5 km/h entre elementos sucesivos, si la longitud de entretangencia es menor a 150 m; sin embargo, cuando la entretangencia es menor a 50 m o el ángulo de deflexión es menor a 45° se encontraron variaciones de 5 km/h a 10 km/h. Para el caso 2 se encontraron variaciones de 5 km/h a 10 km/h con entretangencias entre 200 m y 270 m. En el caso 4 existen variaciones mayores a 10 km/h cuando la entretangencia es mayor a 400 m y el ángulo de deflexión es menor a 15°. Finalmente, en el caso 5 las variaciones son mayores a 10 km/h si la entretangencia es mayor a 700 m con externa mayor a 7 m. Seguir el proceso de asignación de velocidades específicas para curvas horizontales con la metodología del MDGC puede generar problemas de consistencia en proyectos nuevos, disminución de seguridad y posibles choques.

\*jhonalextece@unicauca.edu.co

## Estudio de la motocicleta como vehículo de trabajo en el sector productivo de Bogotá

Autores: E A Velandia Durán<sup>1\*</sup>, N Ariza Morales<sup>1</sup>, J M Guarnizo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Colombia

La investigación buscó describir el uso de la motocicleta en el sector productivo, como mensajería y domicilios en Bogotá. Para este trabajo se realizó un acercamiento a empresas que utilizan la motocicleta en sus procesos para conocer las prácticas que se están llevando a cabo con relación al uso de este vehículo; lo mismo que indicadores relacionados con accidentalidad, calidad de vida del trabajador, políticas de responsabilidad social empresarial. Conocer los usos reales de la motocicleta como herramienta de trabajo en una población vulnerable que presta servicios a empresas de cualquier nivel es importante para establecer la validez de las políticas de seguridad vial y mejorar la normatividad en pro de la seguridad vial, el ambiente y la movilidad. Estudios previos en la UniSalle han mostrado que cerca de la tercera parte de los motociclistas utilizan este vehículo como su medio de trabajo. Por otra parte, se evidencia el desconocimiento del Código Nacional de Tránsito y un alto porcentaje de la auto-enseñanza en la conducción. En este contexto, se identificó a diferentes empresas que no capacitan en conducción, no dotan a los conductores de elementos de seguridad, no exigen parámetros de calidad de los vehículos y desarrollan políticas de contratación en contravía de la seguridad vial. En el estudio se visitaron 36 empresas y pequeños negocios que utilizan mensajeros en motocicleta y bicicletas. Por otra parte, se complementó el trabajo con encuestas a 100 motociclistas. Se encontró que 15 de las 36 empresas no brindan capacitación a los trabajadores en seguridad vial. En las empresas encuestadas se identificó que 22 suministran la indumentaria a sus operarios como el reflectivo, guantes, pantalón, rodillera, botas e impermeable. Cabe resaltar por medio de recomendaciones de seguimiento y control que estas no cumplen con los estándares de calidad estipulados por la normativa NTC 4533, Secretaría Distrital de Movilidad y en la mayoría usan casco no certificados que no cumplen estándares. En las grandes empresas están en proceso de implementación del plan estratégico de seguridad vial y su realidad no es 100% de cumplimiento. Se evidenció el desarrollo de capacitaciones, registro de accidentes e infracciones, pero no hay un seguimiento a disminuir tasas con identificar los puntos críticos, aviso a las autoridades sobre dichos puntos, verificación de las motocicletas constantemente e implementar indumentaria de seguridad profesional. Si el tema es preocupante en las grandes empresas, lo es aún mayor en los pequeños negocios. En conclusión, la motocicleta tiene un rol importante en la sociedad y mueve la economía generando empleo para miles de familias capitalinas, por consiguiente, es importante asumir que dicho sector está creciendo aceleradamente donde se debe adquirir una responsabilidad entre la empresa, el motociclista y el estado para garantizar la seguridad en la vía. Igualmente es importante realizar campañas que generen una posición positiva de la motocicleta con respecto a los vehículos puesto que en el estudio se encontró que la tasa de accidentalidad causada por terceros es unas de las comunes. Si este tema es preocupante, la proliferación de aplicaciones con servicios en motos y bicis en las principales ciudades evidencian la necesidad de trabajar la seguridad vial para evitar fatalidades y lesionados en las vías, con impactos en familias, el sistema de salud y la economía nacional.

\*evelandiad@unisalle.edu.co; ingeavd@gmail.com



## Evaluación del impacto de la disminución de la velocidad en la siniestralidad vial. Caso de estudio: vía principal de Bogotá

Autores: L Á Guzmán<sup>1\*</sup>, J P Camargo<sup>1</sup>, C S Cepeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

En la actualidad existe una tendencia mundial a disminuir el límite de velocidad en corredores urbanos con la intención de reducir la siniestralidad, lo cual es un punto esencial del proyecto de seguridad vial VISION CERO. En el marco de su implementación en Bogotá, en diciembre de 2018 se redujo la velocidad máxima permitida de 60km/h a 50km/h (-16.7%) en cinco corredores viales principales de la ciudad. La literatura sugiere que un corredor en el cual sea posible la ocurrencia de un incidente con impactos laterales no debe tener una velocidad máxima permitida mayor a 50km/h. Las cifras oficiales durante el mes de enero de 2019 (primer mes completo de implementación de la medida) informan un aumento durante el mismo periodo en 2018 de los incidentes viales de 19.8%. Sin embargo, no se ha realizado ninguna evaluación de impacto que permita identificar la inferencia causal de esta política pública en la siniestralidad vial. Se propone un modelo cuasi experimental de Control Sintético (SC) en cinco vías principales, que fueron escogidas por su similitud como corredores de transporte de carga (Calle 13, Av. Agoberto Mejía, Calle 170, Av. Villavicencio y Av. Primero de Mayo), el cual fue realizado con el fin de tener un contra-factual de esta medida sobre un corredor vial principal de transporte de carga (Av. Ciudad de Cali), el cual será nuestra unidad tratada. Los datos utilizados como predictores para los seis corredores son: velocidad promedio (diaria, diaria hora pico y diaria hora valle), ocurrencia de siniestros viales, volumen horario de máxima demanda y factor hora pico. Esta información fue suministrada por la Secretaria Distrital de Movilidad Bogotá. SC es una técnica utilizada para estimar los efectos de un tratamiento específico sobre una muestra de tamaño pequeño. Esta metodología empírica consta de ponderar diferentes unidades no tratadas, en este caso cinco vías con el límite de 60km/h, con el objetivo de obtener un control artificial que se ajusta en el periodo de pretratamiento a la unidad tratada, en este caso la Av. Ciudad de Cali. Una vez realizado este control, a partir de los valores post-tratamiento se puede proyectar la ponderación y utilizarse como contra-factual de la unidad tratada. Este análisis fue realizado para la velocidad promedio diaria y los incidentes normalizados en la distancia de cada tramo (incidente/km), con la intención de aislar los efectos de las diferencias en la longitud de los tramos. Los resultados de esta investigación muestran cómo la reducción en la velocidad promedio diaria en 6.79%, evidenció la inferencia causal en una reducción de 25.44% en los siniestros viales normalizados. En conclusión, la presente investigación permite justificar la disminución de los límites de velocidad como una política pública eficaz para la reducción de la siniestralidad vial.

\*la.guzman@uniandes.edu.co

## Límite seguro de velocidad urbana

Autores: L Castro Gómez<sup>1\*</sup>, S M Rojas Giraldo<sup>1</sup>, J M Gómez Sierra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Analista de Planeación, Sistemas Inteligentes en Red, Colombia.

<sup>2</sup>Coordinador de Ingeniería y Movilidad, Sistemas Inteligentes en Red, Colombia.

La Autopista Norte, vía urbana de la ciudad de Medellín, es una de las tres vías con mayor ocurrencia de siniestros viales con víctimas dentro del entorno urbano. Esta vía se caracteriza por un alto flujo vehicular con frecuente exceso de velocidad donde predominan los usos residenciales y comerciales. La combinación de estos factores se encuentra asociado directamente al incremento de fatalidades en siniestros viales. En este trabajo se recomendó un límite de velocidad adecuado, considerando factores de seguridad vial, parámetros operativos de la circulación vehicular y peatonal y el entorno de la vía. Se utilizó la metodología desarrollada por el Fondo de Prevención Vial para el cálculo de la velocidad límite en las vías urbanas colombianas, la cual tiene como fundamento principal la seguridad del peatón en un entorno vial y urbano, definiendo los límites de velocidad de las vías urbanas en función de tres factores esenciales: los usuarios, la vía y el entorno o actividad urbana. El factor usuarios hace referencia a quien está próximo a la vía y quien usualmente es el que se afecta en el momento de un siniestro. El factor vía se valora en cuanto a su geometría y condiciones de circulación. Por último, el factor entorno considera el contexto en el cual se encuentre inscrita la vía y este se afecta por la velocidad con que deben circular los vehículos, por tal motivo se consideran tanto elementos físicos como no tangibles del entorno. Adicionalmente, se aplicó el modelo potencial de velocidad para estimar el impacto del cambio de velocidad límite en las cifras de siniestros viales. El estudio arrojó que la velocidad límite recomendada para la Autopista Norte es 50 km/h, lo cual equivale a una reducción del 38% respecto a la velocidad límite actual de 80 km/h, y con esta reducción se espera la disminución de 14% en siniestros viales solo daños, 26% de los siniestros viales con víctimas y 49% de fallecidos. La reducción de la velocidad afecta directamente el tiempo de viaje en la zona de estudio, incrementándolo en 20%, equivalente a 50 segundos, sin embargo, cabe resaltar que no necesariamente una reducción de la velocidad implica una disminución de la capacidad, ya que se puede lograr una distribución de la velocidad más homogénea entre los vehículos y mantener la distancia inter-vehicular constante, de manera que se llegue a la velocidad óptima para una capacidad máxima, que en vías congestionadas como la Autopista Norte se acerca mucho a esta capacidad.

---

\*lcastro@sistemasinteligentesenred.com.co



## Lineamientos de inspección de seguridad vial en entornos escolares para el desarrollo de un plan de seguridad vial en su componente de infraestructura para las Instituciones Educativas Oficiales Municipales IEOM (Preescolar, básica y Media). Estudio de caso: Municipio de Chía

Autores: Y C Parra Gómez<sup>1\*</sup>, M C Villamizar Roperó<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de maestría en Tránsito y Transporte, Programa de Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. <sup>2</sup>Directora de la especialización en Diseño, Construcción y Conservación de Vías, Programa de Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia.

La tasa media de mortalidad por lesiones de tránsito de nuestros países es de 19.2, de los cuales 7 países tienen tasas por encima de esta media. En promedio, los países de la región gastan entre 1% y 3% de su Producto Interno Bruto por esta causa. En edades escolares los traumatismos causados por el tránsito se convierten en uno de los principales escenarios a trabajar, toda vez que esta se encuentra como la principal causa de muerte entre los 15 y 19 años, y la segunda causa entre los 10 y 14 años. El estudio de caso inicia con el análisis de la base de datos de las Instituciones Educativas Oficiales IEO, la totalidad de estudiantes y la evolución de las IEO. Posteriormente se presentan los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana 4595, de marzo de 2006, expedida por el Ministerio de Educación Nacional para establecer el cumplimiento de los requisitos de las áreas escolares. La distribución de los accidentes y la descripción de la malla vial permiten identificar la magnitud del problema de choques que existen en el municipio. Un análisis más amplio de las IEO permite identificar un ejemplo crítico para mostrar las diferentes problemáticas que surgen en cuanto a la seguridad vial. Este procedimiento se apoya en un análisis de representación gráfica y un análisis de riesgo. Como primera medida, dentro de la metodología se recopilan los datos de la IEO caso de estudio San José María Escrive de Balaguer – Sese Principal. En segundo lugar, se realizó la inspección a detalle de la IEO, para determinar las condiciones en las que se encuentra en materia de seguridad vial, donde se observan cuáles son las condiciones actuales, con el fin de facilitar el diseño y aplicación de la auditoria de seguridad vial. Finalmente se realizó una auditoria para identificar los factores de riesgo donde se identificaron las falencias en relación a la seguridad vial y los factores de riesgo presentes en la IEO San José María Escrive de Balaguer – Sese Principal. Entre las conclusiones del caso se encuentra que el 26% y 18% de los estudiantes de este colegio se movilizan a pie y en bicicleta, respectivamente, y representan la población más vulnerable. Superan la tasa de los transportados en ruta escolar (38%). Esto muestra la importancia de priorizar la adecuada infraestructura para estos medios de transporte. Por esta razón se sugiere como medida de corto plazo la implementación de un circuito de vías ciclo – adaptadas identificadas en la guía de ciclo – infraestructura para ciudades colombianas, reglamentado mediante la Resolución 3258 del 3 de agosto de 2018 por el Ministerio de Transporte. Para nuestro caso de estudio se adoptaría la banda ciclopreferente, lo que aumentaría en 2,4 km la infraestructura para ciclistas, la cual se puede implementar con el uso de la misma infraestructura actual, unidireccional y señalizándola mediante una línea discontinua.

\*yohana.parra@mail.escuelaing.ed.co

## Modelación *logit* binaria de la severidad de los accidentes de tráfico en las vías rurales del Atlántico, Colombia

Autores: J Bolívar Redondo<sup>1\*</sup>, L Llerena Sierra<sup>2</sup>, A Arévalo Támara<sup>3</sup>, M Orozco-Fontalvo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Norte, Colombia. <sup>2</sup>Universidad de la Costa, Colombia.  
<sup>3</sup>Universidad Católica de Colombia. <sup>4</sup>Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

Los accidentes de tránsito generan miles de muertes y lesiones cada año alrededor del mundo. Debido al impacto social y económico de los accidentes, se ha prestado especial atención a su análisis y prevención. Este estudio busca identificar los factores significativos que afectan la severidad de los accidentes en las vías rurales del departamento del Atlántico, en Colombia. Estas vías conectan la ciudad de Barranquilla con las poblaciones aledañas y el sur del país, atravesando diferentes asentamientos urbanos a lo largo del departamento, debido a esto existen zonas de conflicto entre los diferentes usuarios y en distintos escenarios. Para este estudio se utiliza el registro de accidentes de tres años (2014 a 2016) que sólo incluye lesionados y fallecidos en siniestros viales del departamento, inicialmente se depura, georreferencia y realiza un análisis espacial de la información. El análisis por densidad de Kernel fue utilizado para crear mapas de calor por medio de Sistemas de Información Geográfica, para identificar las zonas críticas. Una vez identificadas, se realizaron recorridos de campo para recolectar información vinculada a características geométricas y el entorno de la vía, que corresponden a factores que han demostrado ser útiles para explicar la severidad de los accidentes de tránsito. Por esta razón, variables como la operación de las vías de interés, la presencia de barreras de contención, presencia de animales, ancho del carril, iluminación artificial, presencia de objetos fijos, entre otros, fueron usadas para la modelación estadística. Modelos de regresión logística binaria fueron aplicados para explicar la severidad de los accidentes (muertes y lesiones). Los resultados destacan que la participación de motocicletas incrementa la probabilidad de muerte en 2.41 veces en comparación a si no estuviese involucrada, mientras, que los peatones tienen una probabilidad del 88.98% de fallecer al verse involucrados en un accidente de tránsito. También se encontró que la probabilidad de fallecer para los implicados es 2.81 veces mayor si el accidente ocurre en diciembre a que si ocurre en otro mes, además, la probabilidad de muerte aumenta 2.75 veces con la presencia de barreras de contención, si se compara con una situación donde no estuvieran. Asimismo, se encuentra que la presencia de árboles, postes, ciclistas y cuando personas mayores de 60 años están involucrados en accidentes de tráfico, incrementan las probabilidades de sufrir lesiones fatales, mientras que los accidentes que ocurren en horas de la noche, la presencia de iluminación artificial, intersecciones semaforizadas y el número de curvas horizontales incrementan las probabilidades de sufrir lesiones no fatales. A partir de los resultados de este estudio se sugiere el mantenimiento adecuado de las zonas laterales, el especial cuidado de la terminación de las barreras de contención y la protección de los objetos fijos allí encontrados como medidas de bajo costo con el objetivo de reducir la severidad de las lesiones, las cuales se espera sean implementadas por el Instituto de Tránsito del Atlántico.

---

\*bolivarjorgem@gmail.com

## Plan de Gestión de Velocidad de Bogotá: documento base

Autores: J P Bocarejo<sup>1</sup>, S Martínez<sup>1</sup>, C Díaz<sup>1</sup>, J González<sup>1</sup>, G López<sup>1</sup>, H Cruz<sup>1</sup>, E Guzmán<sup>1</sup>, A Forero<sup>1</sup>, N Tinjacá<sup>2</sup>, J Rivera<sup>2</sup>, O González<sup>2</sup>, C Álvarez<sup>2</sup>, D Vargas<sup>2</sup>, C Adriaola-Steil<sup>3</sup>, D Hidalgo<sup>3</sup>, N Lleras<sup>3\*</sup>, S López<sup>3</sup>, C Cardona<sup>3</sup>, A Eriksson<sup>4</sup>, C Berglund<sup>5</sup>, D Pijetlovic<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Secretaría Distrital de Movilidad, Bogotá DC, Colombia. <sup>2</sup>Iniciativa Global Bloomberg de Seguridad Vial BIGRS, Colombia. <sup>3</sup>Centro WRI Ross para Ciudades Sostenibles, Estados Unidos-Colombia. <sup>4</sup>Dirección de Transporte de Dinamarca. <sup>5</sup>SWECO, Suecia

La Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) de Bogotá adoptó la Visión Cero como elemento guía del Plan Distrital de Seguridad Vial y del Motociclista 2017-2026, dentro del cual se destaca el Programa de Gestión de Velocidad (PGV). Este programa se enfoca en la velocidad como principal factor de riesgo de lesiones graves y muertes. La velocidad aumenta la probabilidad de colisión ya que disminuye la percepción del entorno, incrementa la distancia recorrida para que un conductor reaccione y aumenta la distancia requerida para detener completamente un vehículo. La velocidad también agudiza las consecuencias de un siniestro vial pues aumenta la fuerza de impacto, lo que intensifica la gravedad de las lesiones, especialmente para niños y ancianos. Una reducción de 15% en velocidad reduce en 20% los siniestros con heridos y 45% los siniestros con fatalidades. Para la formulación del PGV se hizo una revisión de literatura sobre siniestralidad vial y velocidad, y sobre límites de velocidad y su relación con el flujo vehicular. Con la participación personal de la SDM y de asesores externos, se realizó la formulación del plan y se preparó el documento base, que tuvo varias rondas de revisión internas y externas. Como resultado, en el documento base del PGV se formulan lineamientos para establecer límites de velocidad seguros, no sólo de acuerdo con la geometría vial sino considerando el entorno y uso de la vía. Así mismo recomiendan medidas de infraestructura, tecnología y control para el cumplimiento de los límites que se establezcan, formula estrategias de comunicación y gestión social y propone indicadores de desempeño y procedimientos para priorización de acciones. El documento base, y en especial la metodología para definición de límites de velocidad seguros de acuerdo con el entorno y uso de la vía, es útil como modelo para programas similares en otras ciudades con el objetivo de salvar vidas y reducir lesiones graves en el tránsito urbano. Esta ponencia presenta los principales contenidos del documento base del PGV.

---

\*nnatalia.ller.5@wri.org

## Priorización de infraestructura segura en corredores urbanos para usuarios vulnerables: evaluación multicriterio

Autores: Y A Montenegro Salazar<sup>1\*</sup>, L A Bulla-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sección Académica de Vías y Transporte, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

La priorización de infraestructura vial en Bogotá debe ser un asunto de suma importancia, dada la alta inversión, el impacto en la movilidad y el desarrollo de la ciudad. Sin embargo, esta priorización suele no considerar factores que permitan mitigar la siniestralidad vial en usuarios vulnerables que, a su vez, puede estar asociada con la infraestructura insegura. El escenario colombiano muestra como los usuarios más vulnerables a los motociclistas, según el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. En Bogotá, según datos de la Secretaría Distrital de Movilidad, los peatones representan el 50% del total de fallecidos en 2017, seguidos de los motociclistas y los ciclistas, representando el 28% y 11% de los fallecidos, respectivamente. En total, los usuarios vulnerables se acercan al 90% de las víctimas de los siniestros viales. Esta investigación comprende una propuesta de priorización de infraestructura a partir de una evaluación multicriterio, aplicando el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*), para prevalecer corredores arteriales que están en proceso de modificaciones de infraestructura en la capital. Para la aplicación propuesta se toman como alternativas proyectos viales que cumplen condiciones previamente definidas: contar con infraestructura actual existente, no tener ningún proyecto de corredor troncal (proyectado o existente) y encontrarse en etapa de estudios y diseños. La metodología comprende inicialmente la construcción de la jerarquía del modelo, donde se establecen los subcriterios e indicadores para tres criterios definidos: socioeconómicos y espaciales, seguridad vial y movilidad, de tal forma que se cumpla del objetivo de la evaluación. Posteriormente se realiza la revisión de la existencia y disponibilidad de la información para calcular los indicadores de todas las alternativas. Luego se priorizan los indicadores en dos escenarios: dando igual peso a cada indicador considerado y empleando la escala de Thomas Saaty, en la cual se define, para cada indicador, un parámetro cualitativo (alto, medio, bajo) y su correspondiente correlativo numérico (5,3 y 1 respectivamente), de manera que se puntúen con valores más altos a las condiciones más críticas según corresponda. Los resultados muestran en primera instancia que el indicador de velocidad no fue incluido en el análisis por falta de información para todas las alternativas. De igual forma se infiere que realizar o no la priorización de indicadores puede afectar radicalmente la toma de decisiones, dado que, al comparar los resultados de los dos escenarios planteados, el escalafón de las alternativas muestra que el corredor vial priorizado cambia. Adicionalmente, se observa que, al incluir los indicadores de seguridad vial como un factor relevante en la priorización, ésta refleja modificaciones en la evaluación desarrollada. En consecuencia, el sustento de la evaluación multicriterio radica en la priorización de indicadores, que debe enfocarse en reducir la dispersión de los juicios en la evaluación, como en el caso de Saaty. Esta metodología busca generar cambios de paradigmas en el diseño y la construcción de infraestructura que consideren efectivamente la seguridad vial de usuarios vulnerables como un factor fundamental en su desarrollo, donde aspectos como la velocidad sean relevantes a la hora de tomar decisiones.

\*yamontenegros@unal.edu.co

## Razones para el uso o no uso del carril exclusivo de motos. Caso experimental en Barranquilla

Autores: G Coronell Molina<sup>1\*</sup>, V Cantillo<sup>1</sup>, J Arellana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Norte, Colombia

En las últimas décadas se ha generado un fuerte aumento en el uso de la motocicleta como modo de transporte, siendo los países en vía de desarrollo los mayores usuarios de esta alternativa. En Colombia en los últimos años se registra que el número de motos nuevas supera a cualquier otra categoría de vehículos. Con este aumento también se ha incrementado la tasa de accidentes en los que participa este modo de transporte, alcanzando un porcentaje cercano al 50% del total de muertos y heridos en accidente en carretera. Entre las acciones para disminuir la tasa de accidentalidad, una de las estrategias implementadas es la introducción de carriles exclusivos (moto vía). En este artículo se pretende evaluar los factores que inciden en el uso o no uso de carriles exclusivos para motos, analizando un caso particular de 7,7 km de motovía en la ciudad de Barranquilla. El corredor se encuentra ubicado en la vía Circunvalar, arteria primaria perimetral de alta movilidad y de gran importancia para la conexión regional de la ciudad. Para el análisis, además de información primaria tomada de la infraestructura vial existente, se realizaron aforos vehiculares y encuesta a conductores de motocicletas, en una sección ubicada sobre el corredor de la motovía. Con la información recopilada se busca identificar las variables que mayor influencia tienen en la elección o no uso de este carril. Las variables estudiadas consideran características de los encuestados, motivo de viaje, ocupación, uso de elementos de seguridad, frecuencia del uso del carril exclusivo y razones de no uso. Con la información recopilada se utilizaron modelos de elección discreta tipo *logit* para identificar las variables de decisión de mayor importancia. El modelo indica que las variables significativas en el uso de la motovía están relacionadas una con el uso correcto de implementos de seguridad y otra con la edad del conductor entre 26 y 40 años. El coeficiente asociado a la primera variable, señala que si el individuo percibe un mayor nivel de seguridad, es más arriesgado y transita por los carriles de uso mixto junto a autos y buses. El resultado de signo positivo asociado a la segunda variable, indica que este grupo de usuarios tienden a usar más el carril exclusivo en comparación a usuarios en otro grupo según edad. El estudio muestra de forma general que el nivel de uso de la motovía es bajo (sólo el 14% de los motociclistas aforados), que la principal razón de no uso del carril es por la invasión de otros vehículos, incluyendo servicio público, tracción animal y el uso como estacionamiento. Se recomienda extender el carril exclusivo en toda la extensión de la Circunvalar y la adopción de un marco regulatorio, obligando a su uso a los motociclistas, ya que hoy en día es optativo y el usuario no se siente seguro.

---

\*gcoronell@uninorte.edu.co

## Relación entre las velocidades de diseño, operación y de señalización en vías rurales de dos carriles

Autores: F A Navarrete<sup>1</sup>, O E Ramos<sup>1</sup>, A Rosas<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Estudiante Ingeniería Civil, Universidad del Cauca. <sup>2</sup>Profesor Universidad del Cauca

La velocidad es una de las variables que se considera en el proceso del diseño geométrico de carreteras, donde se busca la consistencia del trazado para obtener la comodidad y seguridad para el conductor. En la literatura se han definido las velocidades de diseño, operación y límite rotulada, considerando que si el diseño es adecuado y se ha seguido a cabalidad la normativa para las carreteras colombianas, estas velocidades deberán ser acordes entre sí y los usuarios circularán a velocidades eficientes y con las condiciones de seguridad adecuadas. Observar disparidades entre estas puede generar problemas de seguridad vial, por tanto, es necesario identificar posibles inconsistencias en las velocidades de diseño, utilizadas y permitidas, según el diseño geométrico de un tramo de carretera primaria de especificaciones estándar. Y con el objeto de responder preguntas como: ¿Las señales verticales de velocidad están correctamente ubicadas en el tramo estudiado? ¿Las señales verticales de velocidad guían adecuadamente a los usuarios? Se realizó el estudio de comparación de estas velocidades en un tramo de la carretera Popayán-Totoró en el Departamento del Cauca, vía primaria en terreno montañoso de doble sentido, con buenas especificaciones, en buen estado y de tránsito mediano; con un total de 8 km. El tramo consta de 35 curvas horizontales analizadas en ambos sentidos, con radios entre 41 y 300 de metros y hasta 160° de deflexión, con entretangencias cortas menores a 300 metros de longitud. El trabajo se realizó a partir de los datos procesados para el proyecto de investigación “Determinación de la velocidad específica en curvas horizontales en terreno montañoso”, en el que se tomaron las velocidades de operación con un receptor GPS cartográfico que se ubicó sobre un vehículo tipo conducido por diferentes conductores bajo condiciones de flujo libre, registrando en cada recorrido las coordenadas de la trayectoria por segundo y que posteriormente se procesaron obteniendo su velocidad. Consecutivamente se encontró la velocidad en el inicio y final de los tramos rectos y curvos, con los cuales se determinó *la velocidad de operación promedio* de todos los conductores en cada elemento del trazado. Para determinar la *velocidad límite rotulada* se georreferenció cada señal vertical existente en el tramo de estudio. *La velocidad de diseño* se determinó con la geometría de la carretera y la asignación de velocidades según el manual de diseño del INVIAS. Con estas tres velocidades obtenidas se realizó una comparación mediante perfiles de velocidad (Abscisas  $V_s$  Velocidades), identificando en el punto de inicio y final de cada curva el valor de cada velocidad. A partir de los perfiles se observó que la velocidad de operación mantiene un valor superior con respecto a la de diseño y la rotulada, pero relativamente constante (concepto armonía de velocidad según Eric Donell). Se concluye que las velocidades de diseño y las señales verticales son cautelosas con respecto a las de operación. Se detectó que las señales que denotan disminución de velocidad por situaciones distintas a la geometría como el cruce de zonas escolares, no son realmente acatadas por los conductores.

\*aropa@unicauca.edu.co

# **Tránsito y accesibilidad del transporte**

---





## Accesibilidad de la bicicleta como medio de transporte a puestos de trabajo y estudio: análisis de equidad según distintos perfiles socioeconómicos

Autores: D Rosas-Satizábal<sup>1</sup>, L Á Guzmán<sup>1</sup>, D Oviedo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. <sup>2</sup>Development Planning Unit, University College London, Londres, UK

La bicicleta es un modo de transporte asequible que ha aumentado su participación en la partición modal de viajes obligatorios y no obligatorios en varias ciudades del mundo. Al ser un vehículo de fácil acceso y uso para usuarios en todos los niveles de ingreso podría contribuir a disminuir las brechas de desigualdad en accesibilidad, particularmente en ciudades en desarrollo. La localización de las oportunidades y su interacción con la red de transporte determinan la facilidad de alcanzar los destinos deseados. En ciudades en desarrollo hay evidencia que muestra diferencias en accesibilidad entre diferentes grupos de ingreso (transporte público y privado), las cuales tienen implicaciones en el bienestar de las personas. Sin embargo, la mayoría de las políticas de transporte derivadas de análisis de accesibilidad están orientadas hacia los modos motorizados. En este contexto, esta investigación evalúa la distribución de accesibilidad a destinos de trabajo y estudio asociado al uso de la bicicleta entre distintos grupos de usuarios en Bogotá. La fuente de datos utilizada fue la última encuesta de movilidad disponible en la ciudad (2015), de donde se obtuvo una muestra de 1.451 viajes en bicicleta por motivo trabajo o estudio con origen el hogar. Además del origen, el destino y el tiempo percibido del viaje, la encuesta suministró datos sobre las características personales (edad, género, nivel educativo y ocupación) y del hogar (estrato socioeconómico, tamaño y disponibilidad de vehículos) de los usuarios. Se realizó un proceso de clusterización mixto (k-prototypes) para identificar grupos estadísticamente diferentes, empleando los atributos de la persona, el hogar y el viaje. Se calibró un parámetro de impedancia (de accesibilidad) usando el tiempo de viaje para cada clúster en la red disponible (ciclorrutas, malla vial, puentes peatonales y red vial intermunicipal). Con la función de accesibilidad calibrada se calculó la accesibilidad potencial por zonas a puestos de trabajo y estudio para cada clúster. Los resultados sugieren que la accesibilidad a oportunidades de estudio y trabajo de personas de bajos ingresos es significativamente menor, comparada con quienes tienen en promedio más bicicletas y motos en el hogar y, además, que terminaron estudios de primaria. Por otro lado, la accesibilidad de los ciclistas de mayores ingresos es significativamente mayor, dado que recorren menores distancias y se localizan más cerca de las oportunidades de empleo. El estudio evidencia que aún entre las personas que usan la bicicleta como medio de transporte existen desigualdades sociales y económicas, cuestionando el discurso de equidad recurrente en la promoción y las políticas orientadas a la bicicleta.

---

\*dr.rosas10@uniandes.edu.co

## Análisis de accesibilidad a la provisión de ciclo-parqueaderos en equipamientos colectivos de Santiago de Cali

Autores: J Gallego Méndez<sup>1\*</sup>, J C Gallego Padilla<sup>1</sup>, J Murillo Hoyos<sup>1</sup>, C Jaramillo Molina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Colombia

La disponibilidad de sitios de parqueo de bicicletas cómodos y seguros tanto en el origen como en el destino de los viajes es una condición imprescindible para la promoción del uso de la bicicleta como modo alternativo de transporte. Santiago de Cali es una ciudad altamente atractiva para la utilización de bicicleta como modo de transporte, la misma representa el 5,4% de la partición modal de los viajes realizados, de un total de 162.211, según la encuesta de movilidad del año 2015. Con el propósito de fortalecer este modo de transporte se ha iniciado una estrategia de promoción en la implementación de ciclo-infraestructura que permita parquear este tipo de vehículos en el interior de las instalaciones de los equipamientos de interés colectivo. Este estudio caracterizó y analizó la provisión de unidades de estacionamiento de los ciclo-parqueaderos ubicados en equipamientos colectivos de escala regional y urbana de Santiago de Cali, estudiando las áreas de influencia directa e indirectas, de acuerdo con los umbrales sugeridos para el tránsito en bicicleta a nivel internacional. En el marco del concepto de movilidad sostenible se realizó un diagnóstico espacial para la infraestructura de transporte en bicicleta, incluyendo componentes de diseño y disposición del mobiliario con relación a la vocación de servicio de los equipamientos, a través de trabajo en campo. Se espacializaron las variables y se estudiaron los comportamientos de la componente de accesibilidad potencial y equidad espacial a partir de índices locales y globales que relacionan variables físicas de infraestructura en contraste con las distancias a la localización de los barrios que contienen los servicios, junto con las variables socioeconómicas de la población asociada. Se llevó a cabo un análisis exploratorio de datos espaciales con el propósito de estimar agrupaciones locales, dada la contigüidad de barrios con capacidad de prestación de servicios, por medio del índice de agrupación espacial LISA. Se identificaron diferencias territoriales por zonificación de la trama urbana, revelando necesidades de provisión altas en población con necesidades de transporte equivalentes. Se evidenció una alta concentración de mobiliario en servicios ubicados sobre el corredor longitudinal norte-sur de la ciudad frente a la baja provisión en los extremos oriental y occidental. Se compararon los resultados obtenidos para el año 2018 (línea base) con los resultados en el escenario que considera la inclusión de nuevos programas de provisión de mobiliario en la ciudad para el año 2030. El estudio permitió encontrar concentraciones en provisión en sectores con mayor acceso a facilidades urbanas y estratos socioeconómicos altos, mientras que evidencia grandes necesidades de cobertura de servicios para sectores más alejados y menos favorecidos económicamente, respecto al primer grupo. Se reconoció la utilidad de la metodología empleada en el contexto de la información obtenida y su potencial al uso frente al ingreso de nueva información asociada, dada la sensibilidad al cambio presentada.

---

\*jorge.gallego@correounivalle.edu.co

## Análisis del impacto sobre la conectividad vial de las carreteras de cuarta generación concesionadas en Colombia

Autores: M González Trujillo<sup>1</sup>, A Montealegre Chaves<sup>1</sup>, D Rodríguez Mariaca<sup>1\*</sup>, C Jaramillo Molina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Colombia

El déficit de infraestructura en Colombia restringe su desarrollo, motivo por el cual se ha planteado el mejoramiento de la infraestructura vial del cual hace parte el programa de carreteras de cuarta generación concesionadas (4G), con el propósito de mejorar la competitividad del país y enfrentar los retos del comercio global. El objetivo del presente estudio es la evaluación de este programa bajo la perspectiva de la accesibilidad. La metodología utilizada empleó medidas basadas en infraestructura y localización, estimadas por medio de un software de Sistema de Información Geográfica (GIS). Se evaluaron seis indicadores de conectividad y accesibilidad: presencia/ausencia, densidad, factor de ruta integral, eficiencia de la red, localización y potencial económico. Estos se estimaron bajo dos escenarios: el actual, que contiene la red vial primaria nacional, y el de Carreteras 4G, que contempla tres de los proyectos de dicho programa, correspondientes a las autopistas para la prosperidad, primera y segunda ola. Con apoyo de estadística descriptiva e inferencial se caracterizó física y operacionalmente la red de carreteras y el transporte de carga, se evaluó la accesibilidad territorial y se analizó la sensibilidad de ésta para reconocer las diferencias entre el escenario base y el proyectado con los proyectos de carreteras 4G. Se presenta evidencia de mejoras en los niveles de accesibilidad en el escenario de implementación de las 4G, el indicador de Presencia/Ausencia muestra un aumento de kilómetros de la red vial, lo cual implica mejora en los valores del indicador de densidad. Por su parte, el indicador de factor de ruta Integral revela que la mayoría de las vías del país tienen un diseño geométrico irregular. El indicador de eficiencia de la red evidencia un cambio notable en la mayor parte del territorio en cuanto a la eficacia del desplazamiento, debido a la calidad de las mejoras en infraestructura. El indicador de localización presenta mejoras de accesibilidad en términos de distancias de desplazamiento de hasta 29.65%. Por último, el indicador de potencial económico reafirma el triángulo de oro, conformado por Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca, como el punto de destino con mayor grado de atracción de viajes. En general, todos los indicadores revelan que el impacto de la conectividad vial en las carreteras de cuarta generación concesionadas es significativo y genera cambios en los niveles de accesibilidad nodal y conectividad de la red de transporte, concentrando sus valores más altos en la zona central del país, expandiéndose gradualmente hacia sus alrededores, generando lo que se conoce como efectos de desbordamiento. Sin embargo, las zonas periféricas no alcanzan a ser beneficiadas en gran medida por estos proyectos, lo que les impide gozar de niveles deseables de accesibilidad con el resto del territorio. Esto evidenciaría que las zonas que presentan un nivel más alto de mejora no son precisamente las que partían de niveles bajos de accesibilidad.

\*diego.rodriguez.mariaca@correounivalle.edu.co.

## Aplicaciones móviles para el acceso al transporte público: caso de estudio del MOOVIT en Cartagena

Autores: C Campillo Jiménez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia

En los últimos años Cartagena ha recibido un alto nivel de atención en temas asociados a la movilidad urbana, especialmente desde la implementación de Transcaribe en el año 2015 como sistema integral de transporte masivo (SITM). Con la puesta en marcha del SITM se planteaba la eliminación de rutas que durante décadas estuvieron activas, pero con el paso de los años y el incremento del parque automotor contribuyeron al colapso de la malla vial de la ciudad. Esta eliminación de rutas se ha dado fuera de los plazos iniciales ya que ha enfrentado retos económicos y sociales, lo que ha tenido impacto tanto en el comportamiento de los usuarios, en cuanto a su percepción sobre la movilidad urbana, como en los conductores. La implementación del Transcaribe es una apuesta que se hace para crear una ciudad más sostenible en transporte urbano, no obstante, es fundamental que la población reconozca y entienda la dinámica de las distintas rutas con las que cuenta el sistema con el fin de facilitar su desplazamiento. La forma más sencilla de comprender las rutas de los BRT es a través de aplicaciones móviles (apps); escenario donde Moovit cuenta con la mayor participación en el mercado, presente en más de 2.200 ciudades y con más de 170 millones de usuarios. El app se nutre con la información de los usuarios mediante tecnología de geolocalización de los dispositivos móviles de donde extrae datos como la velocidad del vehículo y su ubicación geográfica, al tiempo que genera información sobre el estado del tráfico de la ciudad. En este sentido, en 2018 la Universidad Tecnológica de Bolívar, en colaboración con Moovit, desarrolló el primer Moovit University program de Colombia. En este programa se recolectó información de transporte público formal en el Área Metropolitana de Cartagena, usando la herramienta propietaria Moovit Editor, operada por estudiantes de la universidad, dando como resultado la validación de 34 rutas alternas a las líneas del Transcaribe. El mapeo permitió crear una guía donde miles de usuarios pueden acceder a la información sobre rutas o líneas, y sus conexiones, reduciendo potencialmente los tiempos de espera, además de generar alertas sobre cierres de vías o cambios de ruta. Sin embargo, la app no pudo ser sincronizada con el sistema GPS interno de todos los buses de la ciudad, por lo que aún no se obtiene tiempos reales que contribuirían a obtener los tiempos de espera real. Conseguir esto, aumentaría significativamente la precisión de la información presentada en el App, fundamental para la movilidad de cartageneros y turistas. De igual forma, generaría información sobre la demanda de las rutas y líneas que podrían incorporarse en un plan de mejoras del servicio.

---

\*ccampillo@utb.edu.co

## Cálculo de penalidades por giro en los modelos de accesibilidad. Caso de estudio: Manizales, Colombia

Autores: S Cardona<sup>1\*</sup>, D A Escobarr<sup>1</sup>, C A Moncada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Civil. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Los modelos de oferta del transporte, como la accesibilidad territorial, han sido utilizados a lo largo de los años como método de planificación urbana y del transporte en diversas ciudades del mundo. En este sentido es indispensable acercar lo más posible a la realidad estos modelos para tomar mejores decisiones. Los modelos de accesibilidad territorial utilizan la red de infraestructura vial y las velocidades promedio para calcular los tiempos de viaje. Utilizando el algoritmo de caminos mínimos de Dijkstra se puede encontrar la ruta mínima en la red vial donde se incluyen las penalidades por giro globales ya que hipotéticamente los vehículos utilizan más tiempo al momento de realizar estas maniobras. En la ciudad de Manizales estas penalidades por giro han sido determinadas de manera subjetiva en el año 2011, en 69 segundos para el giro a la izquierda y 60 segundos para el giro a la derecha, y han sido utilizadas en diversas investigaciones de accesibilidad territorial en los últimos años. Este trabajo busca actualizar estas penalidades por giro de manera empírica, registrando videos en 20 intersecciones según un orden de priorización descrito, para su posterior análisis, donde se toma el tiempo que gastan los vehículos (automóviles, camiones, buses y motocicletas) para girar a izquierda y derecha. Posteriormente se hace un análisis estadístico que determinará las nuevas penalidades por giro a utilizar en los modelos de accesibilidad territorial para la ciudad de Manizales. Entre los principales resultados se obtuvo que los tiempos promedio registrados para el giro a la izquierda y el giro a la derecha fueron de 34 segundos y 29 segundos respectivamente. Esta disminución en las penalidades por giro, que alcanza un 50% respecto a las penalidades utilizadas en la zona de estudio para análisis previos, representa un factor fundamental a la hora de ejecutar el algoritmo de caminos mínimos. Finalmente, el cálculo y estimación de este dato con una mayor precisión generará que el cálculo de la accesibilidad territorial se acerque más a las condiciones reales de movilidad que se buscan analizar.

---

\*scardonau@unal.edu.co

## Capacidad teórica en escaleras a partir de la caracterización de variables macroscópicas

Autores: J J Villamarín Monroy<sup>1\*</sup>, F A Guío Burgos<sup>1</sup>, D E Dueñas Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Colombia

Al ser la movilidad peatonal un componente muy amplio dentro de la ingeniería de tránsito, en algunas ocasiones no se realizan investigaciones que estén centradas en estudiar las infraestructuras peatonales que tienen como finalidad ofrecerles a las personas que realizan sus desplazamientos caminando un sistema continuo de movilidad. Aunque los puentes peatonales presentan algunas desventajas como aumentar las distancias y tiempos de viaje, ser una infraestructura no inclusiva y afectar el entorno y paisaje de las ciudades, en varias oportunidades son la única alternativa que puede garantizar un paso seguro y continuo de peatones, ya sea para acceder a un sistema masivo de transporte, cruzar un valle, ser la opción más económica para unir dos puntos donde la sección transversal de una vía vehicular es amplia con velocidades operativas y de diseño muy altas. Por lo anterior, esta investigación tiene como objetivo principal establecer la capacidad de las escaleras de un puente peatonal mediante la caracterización y relación que existe entre las variables macroscópicas del flujo peatonal, así como determinar los parámetros operativos en este tipo de infraestructuras. Para determinar la capacidad teórica en escaleras se tomó como infraestructura peatonal estudio el puente que tiene la mayor demanda en la ciudad de Tunja. Dicha capacidad se determinó mediante la caracterización de las variables volumen, velocidad y densidad, y a partir de la relación existente entre dichas variables se obtuvo la capacidad teórica, así como los parámetros operativos más relevantes. La toma de información se realizó durante el periodo donde se presenta un flujo bidireccional, de manera que se evaluara el comportamiento peatonal en la condición más crítica. Como resultado más importante de la investigación se obtuvo que la capacidad teórica de las escaleras, caso estudio puentes peatonales, es de 1.800 peat/h/m. Adicionalmente se determinó que la velocidad a flujo libre es de 40.6 m/min, la densidad de congestionamiento de 2.48 peatones/m<sup>2</sup> y que el flujo máximo es de 30 peatones/min. Con la determinación de la capacidad en este tipo de infraestructura se podrán evaluar las estructuras que sirven para acceder a los sistemas masivos de transporte y poder plantear una metodología que permita establecer el nivel de servicio en escaleras y modificar, de ser necesario, el dimensionamiento y diseño de las mismas en los puentes peatonales. En relación con los parámetros operativos determinados en esta investigación, en el caso de la velocidad a flujo libre, se estableció que, con respecto a la velocidad calculada en una estación del metro de New York por John Fruin, la encontrada en esta investigación es un 44% más alta, un 33% mayor con respecto a la velocidad a flujo libre determinada por Weidemann y un 4% menor a la calculada en una estación de metro en Japón. En relación con la densidad de congestionamiento, la determinada en la presente investigación es de 2.48 personas/m<sup>2</sup>, mientras que la establecida por John Fruin es de 7.37 personas/m<sup>2</sup> y de 5.40 personas/m<sup>2</sup> determinada por Weidemann.

\*jonatan.villamarin@uptc.edu.co

## Caracterización de personas con discapacidad dentro del sistema de transporte público en Santiago de Cali

Autores: N Martínez Montero<sup>1\*</sup>, A Henao Cortes<sup>1</sup>, L F Cataño Mainieri<sup>1</sup>, L F Macea Mercado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante Javeriana, Cali, Colombia. <sup>2</sup>Profesor titular Javerianas, Cali, Colombia

Con el ánimo de plantear estrategias de inclusión en el sistema de transporte de la ciudad de Cali, se planteó una investigación con personas con discapacidad, enfocando en las barreras presentadas para el desarrollo de una vida autónoma e independiente. Mediante la aplicación de encuestas a las comunas 10, 17, 19 y 22, donde el estrato social predominante es 3, 4, 5 y 6 respectivamente (se tuvieron en cuenta variables como la condición física, geográfica, económica, tiempo de viaje, entre otras), se logra identificar las dificultades que presenta el transporte público. Con una muestra de 234 personas con discapacidad encuestadas se identifica que el 77.8% de ellas se movilizan todos los días, 16.2% algunas veces a la semana y solo un 6% lo hacen algunas veces al mes, motivados por razones como el estudio, el trabajo y actividades culturales y deportivas, considerando también el factor de incomodidad o problemas para acceder al sistema de transporte mencionado anteriormente. Teniendo en cuenta el gran porcentaje de personas movilizadas y que el modo más frecuente es la caminata o rodar, seguido por el sistema MIO, como también que el mayor porcentaje de personas con discapacidad se encuentra en las comunas de menor estrato, se evidencia que unas de las barreras con indicadores más altos y que afectan mucho más la movilidad son aquellas presentadas como peatón, superando a otros modos como el vehículo particular, bus o buseta pública, taxi, entre otras. Otra de las barreras es la hora pico, puesto que la gran cantidad de personas movilizándose en la calle o en el transporte público dificulta enormemente el paso de las personas con discapacidad. Entre las barreras más comunes se encuentran: superar problemas de pavimento, dificultad para cruzar las calles debido a la ausencia de señales de tránsito, desplazarse por andenes estrechos o con gran cantidad de obstáculos y dificultad para subir o bajar de la acera. Esta investigación permite plantear soluciones socioeconómicas, geográficas e infraestructura, enfocadas en el mejoramiento de la accesibilidad al transporte público existente, y aún más relevante es la necesidad de garantizar el desplazamiento fácil, seguro y autónomo para personas con discapacidad por los andenes de la ciudad, generando igualdad.

---

\*natamartinezmontero@javerianacali.edu.co



## Comparación de los patrones de viaje de dos poblaciones de bajos ingresos en la periferia de Bogotá – Aplicación de metodologías de estimación de coeficientes de forma desagregada

Autores: D Castaño<sup>1\*</sup>, L Á Guzmán<sup>1</sup>, C S Cepeda<sup>1</sup>, J R Peña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Los déficits de movilidad y accesibilidad en las ciudades en desarrollo tienden a estar correlacionados con bajos ingresos y localización periférica. En Bogotá, estos patrones de localización se ven agravados por las topografías desafiantes en áreas montañosas y la informalidad en la vivienda, lo cual limita la disponibilidad de infraestructura local y la accesibilidad a las oportunidades que brinda la ciudad. La estructura socio espacial y económica de Bogotá, marcada por una alta concentración de actividades económicas, tiene fuertes y negativos efectos distributivos, que pueden producir mayores riesgos de exclusión social para los grupos de ingresos más bajos. Este estudio explora la relación entre la pobreza, la exclusión y los patrones de viaje a nivel local en poblaciones vulnerables con el fin de conocer sus diferencias. La información utilizada se obtuvo del estudio del impacto del TransMiCable, en donde se recolectaron 2,062 encuestas en 54 barrios de las localidades de Ciudad Bolívar y San Cristóbal, dos zonas vulnerables en la ciudad con características socioeconómicas y de movilidad similares. Se investigan los factores determinantes de las variables de comportamiento del viaje, la ubicación residencial y cómo influyen en el acceso al trabajo y a las oportunidades de ocio. Se realizan tres diferentes análisis para el estudio, teniendo en cuenta cómo variables sociodemográficas y del entorno físico pueden afectar el número de viajes a la semana. En el primer análisis se aplica una metodología de cálculo de coeficientes por mínimos cuadrados ordinarios, esto implica asumir que la muestra pertenece a un solo grupo. En un segundo análisis se identifican las variaciones entre las dos poblaciones al introducir una variable que identifica a los habitantes de cada población. Finalmente, en el tercer análisis se prueba un método de estimación de coeficientes a nivel micro mediante una regresión geográficamente ponderada (GWR). La presentación de resultados se visualiza a través de mapas de calor que resaltan las variables que tienen mayor peso en las áreas encuestadas. En los resultados iniciales de caracterización de ambas poblaciones se encontró que, en Ciudad Bolívar la edad promedio de los encuestados es 44.3 años, el 53.6% de los hogares tienen ingresos menores a un salario mínimo (781.242 COP) y el 86% percibe inseguridad en el barrio. En contraste, los encuestados de San Cristóbal presentan una edad promedio de 42.8 años, el 59% de los hogares tienen ingresos entre uno y dos salarios mínimos (781.242 – 1.562.484 COP) y el 84% percibe inseguridad en el barrio. En cuanto a la producción de viajes, los encuestados de Ciudad Bolívar realizan en promedio 10 viajes a la semana con origen en su hogar, mientras que en San Cristóbal el promedio es de 8 viajes. Este estudio, mediante la aplicación de técnicas desagregadas de estimación de coeficientes, contribuye a soportar la toma de decisiones con bases técnicas, permitiendo que los programas sociales sean más focalizados y efectivos a la hora de promover mejores niveles de equidad.

\*d.castanoh@uniandes.edu.co



## Comparación de penalidades por giro en modelos de accesibilidad. Caso de estudio: Manizales, Colombia

Autores: S Cardona<sup>1\*</sup>, D A Escobar<sup>1</sup>, J A Montoya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Departamento de Ingeniería Civil

Los modelos del transporte han tomado gran relevancia en las últimas décadas debido a utilización en la toma de grandes decisiones en temas relacionados a planificación urbana, sistemas de transporte y ordenamiento territorial. En este sentido, los modelos de oferta, como la accesibilidad media global, buscan en gran medida acercarse más a la realidad con el fin de lograr representarla de la mejor manera posible. La accesibilidad media global usa el tiempo medio de viaje y la red vial de infraestructura para medir la oferta de la misma, cuantificando los tiempos promedio de viaje entre todos los nodos de la red, obteniendo las curvas isócronas de cobertura. En este artículo se comparan los resultados de accesibilidad media global para la ciudad de Manizales-Colombia utilizando penalizaciones por giro, resultado de dos metodologías diferentes. La primera, determinó las penalidades por giro de forma subjetiva en 1,15 minutos para el giro a izquierda y 1 minuto para el giro a la derecha. La segunda, producto de una metodología propuesta en una tesis de maestría donde se tomaron los tiempos de giro de los vehículos en 20 intersecciones viales de la ciudad de estudio, resultando 0,57 minutos para el giro a la izquierda y 0,48 minutos para el giro a la derecha. En este caso, las penalidades por giro se incluyen de manera global en el algoritmo de caminos mínimos afectando el tiempo de viaje de los vehículos motorizados tales como vehículos privados, motocicletas, buses y camiones. Finalmente se utiliza el gradiente de ahorro para obtener las diferencias en los tiempos medios de viaje calculados para los escenarios descritos anteriormente. Como conclusiones, se tiene que las penalidades por giro calculadas a través de la segunda metodología resultaron menores respecto a las dadas anteriormente de manera subjetiva, por lo que las curvas isócronas de accesibilidad media global y los tiempos promedio de viaje para este caso fueron más bajos que en el caso de los cálculos realizados con penalidades por giro subjetivas. Las diferencias encontradas entre ambos escenarios indican la importancia de las penalidades por giro como variable en la metodología de cálculo de la accesibilidad media global por lo que su correcta medición es fundamental para acercar los modelos de transporte a la realidad de la movilidad en las ciudades.

---

\*scardonau@unal.edu.co

## Evaluación de la accesibilidad al sistema de recaudo del sistema BRT Transmetro

Autores: M Orozco-Fontalvo<sup>1\*</sup>, L A Cantillo<sup>2</sup>, S Raveau<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. <sup>2</sup>Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

La accesibilidad a los sistemas de transporte juega un papel vital en la demanda de los mismos, por lo tanto, garantizarla no sólo mejora la calidad de vida de los usuarios, sino que puede mejorar el recaudo de tarifas del sistema. El sistema BRT Transmetro de la ciudad de Barranquilla, Colombia, opera actualmente con una demanda inferior a la esperada y en consecuencia presenta problemas financieros. Esta investigación generó modelos de accesibilidad al sistema de recaudo de Transmetro con el fin de determinar las variables que influyen en el recaudo de cada uno de los puntos habilitados en la zona de alimentación del sistema, así como la relación entre la demanda de los paraderos y el recaudo. Para esto, se utilizaron bases de datos con información de demanda, tipologías de punto de recaudo, rutas, ubicación de paraderos, entre otras y se generó un SIG. Para definir la cobertura o zona de influencia real de cada paradero del sistema se realizaron diagramas de Voronoi y al contrastarlos con los diferentes puntos de recaudo se observó que muchos se encuentran fuera de estos, obligando a los usuarios a realizar recorridos negativos para acceder al sistema. Los modelos obtenidos permiten confirmar hipótesis previas, como que en la ciudad de Barranquilla los usuarios del sistema hacen sus recargas en las horas de la mañana, la tipología del punto de recaudo influye en la cantidad de usuarios que lo utilizan, la distancia entre los paraderos y los puntos de recaudo es inversamente proporcional a la demanda. Por último, se tiene que a mayor cantidad de rutas TPC que circulen dentro del área de influencia (Voronoi) del paradero menor será la demanda del mismo, demostrando que existe un claro problema de competencia entre los servicios.

---

\*Mauricio.orozco@unimilitar.edu.co

## Evaluación del desempeño de red urbana con múltiples cruces peatonales a media cuadra

Autores: D Paris<sup>1\*</sup>, R Unda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Consultor de Steer, Colombia

Es común que en las redes de transporte urbano haya puntos donde las “líneas de deseo” de los peatones no coincidan con una intersección vehicular. En muchos casos esas situaciones no se solucionan y terminan en la modificación de las líneas de deseo (aumentando la dificultad para cruzar y el tiempo de desplazamiento de los peatones), o en situaciones de exposición y accidentalidad vial (peatones que buscan una brecha entre el tráfico vehicular para cruzar). La instalación de cruces peatonales a media cuadra puedan dar solución al problema anterior, pero su instalación implica una intersección adicional que únicamente cumple la función de detener el tráfico vehicular para permitir que los peatones puedan cruzar. Aunque los cruces peatonales a media cuadra son elementos de redes donde el flujo ya es interrumpido (contextos urbanos) y pueden aumentar la facilidad para cruzar y la seguridad, también pueden tener efectos negativos en las demoras del tráfico y la capacidad vehicular. Este es un caso de *trade-off* entre modos que merece ser analizado con medidas de desempeño multimodal. El objetivo del estudio es evaluar de forma multimodal una red urbana con diferentes combinaciones de demanda y niveles de restricción al flujo peatonal (más o menos posibilidades para cruzar, e.g. cruces peatonales a media cuadra). En primer lugar, se hizo una revisión de literatura en la que se indagó sobre las posibles medidas de desempeño a utilizar y la mejor forma para desarrollar los experimentos. Tras esto, utilizando herramientas de microsimulación, se estimaron las demoras para vehículos y peatones en una red teórica y se evaluó de forma global cada escenario con medidas de desempeño multimodal. Finalmente, se realizó un análisis de resultados, donde se compararon las medidas de cada escenario y se sacaron las conclusiones pertinentes. Se encontró que el desempeño de las alternativas depende del flujo vehicular y peatonal y de la repartición de tiempo de verde, por lo que se hace necesario analizar cada caso específico de forma independiente, pero siempre teniendo en cuenta el aspecto multimodal de las intersecciones urbanas. También se encontró que la evaluación multimodal es la forma más equitativa para tomar decisiones sobre el diseño urbano, buscando la forma más eficiente de repartir el tiempo de verde y teniendo en cuenta a todos los actores viales de la misma manera.

---

\*d.paris10@uniandes.edu.co

## Evaluación del tránsito en el tramo de la avenida Ciudad de Cali entre Avenida de Las Américas y La calle 13, con la micromodelación de la alternativa de un tren ligero

Autores: P Joyas Campiño<sup>1\*</sup>, N Cifuentes Ospina<sup>1</sup>, H Carvajal Osorio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad la Gran Colombia, Colombia

El crecimiento urbano de la ciudad de Bogotá en la última década y las propuestas del gobierno distrital en la mejora de la movilidad en la ciudad, a partir de la disminución de los tiempos de viajes y el empleo de nuevos modos y medios de transporte que buscan incentivar el no uso del vehículo particular, hace que realicen estudios en puntos críticos con dificultades en el tránsito. El desarrollo de la investigación, pretende mostrar las diferentes alternativas de solución al problema del transporte a partir de la implementación del tren ligero, en el tramo de la avenida Ciudad de Cali entre Avenida de Las Américas y la calle 13 en Bogotá, haciendo uso de la micromodelación, donde se evidencia en la zona flujos de vehículos de carga, buses de transporte urbano y particulares con volúmenes muy altos que influyen en la congestión del sector. Todos los factores mencionados son objeto de estudio para identificar los problemas en la movilidad, los cuales deben ser analizados en cada intersección con el fin de determinar los puntos de conflicto que afectan el flujo libre vehicular. La metodología empleada para el estudio se ejecutó a partir de visitas de campo para la caracterización vial, toma de aforos vehiculares, peatonales y encuestas realizadas a los habitantes que usan el transporte público. Posteriormente se simuló su estado actual en VISSIM para obtener la calidad del servicio en cada intersección. La implementación del tren ligero se modeló en VISSIM a partir de los parámetros técnicos de la vía como: anchos de calzada, cruces peatonales y vehiculares de todo el tramo, composición vehicular (sin buses) y ciclos semafóricos. Se buscó detectar el impacto que genere la implementación del tren en la zona, y se simularon varias alternativas para generar la mejor solución que permita mayor movilidad en la zona en forma segura para los usuarios del sistema. Igualmente, el estudio tuvo en cuenta a los peatones que son los más vulnerables en un análisis de tránsito y para dar solución a las horas de máxima demanda donde se manejan más de 2.000 personas en horas pico, se planteó un modelo alternativo en VISSIM, de tal forma que minimice los conflictos en seguridad y movilidad del tren ligero. El nuevo sistema aportará al ambiente por su sistema amigable, además los tiempos de viaje en el tramo mejorarán para los usuarios del mismo.

---

\*Ingcivilpatty@gmail.com

## Evaluación de proyectos de vivienda gratuita en Colombia aplicando el método Housing + Transportation. Una mirada desde la accesibilidad y el transporte

Autores: A J Sanabria Madero<sup>1\*</sup>, S C Mangones Matos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia

El gobierno nacional, durante el periodo 2010-2014, ejecutó un programa para la construcción y entrega de 100.000 viviendas gratuitas, en concordancia con sus metas del Plan Nacional de Desarrollo “Prosperidad para todos”. Esta política pública buscó disminuir el déficit de vivienda para población vulnerable, tales como familias desplazadas por el conflicto armado en Colombia y familias con alto riesgo ante amenazas naturales. Sin embargo, el reto de todo proyecto de vivienda está en ofrecer unidades con alta accesibilidad para la población residente y que sigan siendo costeables para el estado. Hasta donde se conoce, la literatura en Colombia se ha enfocado en hacer evaluación de políticas de vivienda desde la calidad arquitectónica y urbanística de los proyectos; sin embargo, el análisis sobre qué tan accesibles son estos proyectos no se ha realizado en trabajos anteriores. Para los beneficiarios de estos proyectos, la accesibilidad a las oportunidades de desarrollo socioeconómico es tan importante como la solución a su problema de habitacional. Los altos costos de transporte y la baja accesibilidad representan una sobrecarga en los hogares, ya que, después de los costos de vivienda, los costos de transporte absorben la mayor parte de los ingresos de los hogares. Por lo anterior, en el desarrollo de este trabajo se discute la accesibilidad de los Proyectos de Vivienda Gratuita del Plan de Gobierno 2010-2014, ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), utilizando el método del índice *H+T*, planteado por el *Center For Neighborhood Technology* (CNT), que representa en porcentaje los costos de vivienda y de transporte sobre los ingresos del hogar. Se calculó el índice para cinco proyectos de vivienda del AMVA utilizando información secundaria para el valor del tiempo, costo fijos y variables de diferentes modos de transporte, consumo y costo de los servicios públicos. Además, se utilizó un SIG para calcular los tiempos y distancias desde y hacia las viviendas, desde y hacia las principales zonas atractoras de viajes en el AMVA. Los resultados de este trabajo muestran que, para los beneficiarios del proyecto, los costos de vivienda no sobrepasan el 13% de los ingresos promedio de los hogares, sin embargo, los costos de transporte superan el 15%, llegando a rangos entre 20% y el 30%. Con esto, y de acuerdo con las clasificaciones del Índice *H+T* este ejercicio reporta que las zonas en las que están estos Proyectos son clasificadas cómo no son accesibles, mostrando que en algunos casos la implementación de política de vivienda podría no resultar en los beneficios económicos y sociales que se espera. Finalmente, el trabajo discute algunas diferencias entre los resultados del índice calculado para cada proyecto.

---

\*ajsanabriam@unal.edu.co

## Mapping the unmapped transit network of Bogotá, Colombia

Autores: E Goldwyn<sup>1\*</sup>, C E Vergel-Tovar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>New York University, New York City, US, <sup>2</sup>Universidad del Rosario, Colombia

New tools have enabled “civic hackers” and transportation researchers to map previously unmapped transit networks that have been historically the purview of locals and insiders. These new datasets and maps show the extent of these systems while also enumerating basic operating characteristics, such as travel speed, route distance, frequency, and fare data. In this paper, we detail our process of visualizing Bogotá's entire transit network, both the centrally-planned system of buses and the decentralized network of jitneys. By seeing the entire network, we argue that we can disentangle the development patterns of the city and monitor who has access to reliable transit, a key plank in United Nations' Sustainable Development Goals. Since this type of work is still in its infancy, it is critical that researchers go out into the field and add more examples of how to do this work and share their process so different methodologies can be tested in different types of cities. In Bogotá, we, researchers from NYU's Marron Institute of Urban Management worked with researchers and students from the Universidad del Rosario and the civic mapping community in Bogotá, used smartphones, cloud-based data management systems, and mapmaking software to bring Bogotá's unmapped transit network out of the shadows and put it on an equal footing with the established network of buses.

---

\*elg229@nyu.edu

## Movilidad accesible e incluyente en Santiago de Cali

Autores: N Martínez Montero<sup>1</sup>, A Henao Cortes<sup>1\*</sup>, L F Cataño Mainieri<sup>1</sup>, L F Macea Mercado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante Javeriana, Cali, Colombia. <sup>2</sup>Profesor titular Javeriana, Cali, Colombia

Tras analizar los sistemas de transporte y plantear una solución que mejore la calidad de vida de los ciudadanos en condición de discapacidad en la ciudad de Cali, desde una perspectiva de inclusión social, se encontró una serie de externalidades negativas como la congestión, el aumento de las tasas de motorización, los cuales brindan grandes retos de modelación y planificación en el transporte. Estos efectos negativos se agrupan en cuatro dimensiones las cuales son necesidades básicas para subsanar a partir de la planificación en términos de movilidad. En este orden de ideas las anteriores dimensiones son: económica, ambiental, social y salud, las cuales tienen mayor significación en países en vía de desarrollo, donde la exclusión social por la falta de acceso a los sistemas de transporte es un problema aún no resuelto. Lo anterior tiene una gran complejidad dentro de los sistemas de transporte. Hay exclusión física, geográfica, de acceso a las instalaciones de transporte, económica, asociada al tiempo disponible para viajar, al temor asociado con la inseguridad y la gestión del espacio público que privilegia a ciertos grupos sociales. Por ello, se plantea identificar las mayores problemáticas que tienen las personas con discapacidad dentro del sistema de transporte, a partir de varios procesos con el modelo de Regresión Lineal Múltiple, teniendo como materia prima una base de datos con alrededor de 240 personas bajo esta condición de segregación. Estos modelos brindan la capacidad de entender qué variables tienen mayor peso dentro de esta minoría y a su vez la correlación que existe entre otras variables de menor categoría, pero que explican el comportamiento y percepción de este grupo en particular frente al sistema de transporte Masivo Integrado de Occidente (MIO). Dentro de los hallazgos relevantes se observan las grandes deficiencias que hay en materia de accesibilidad al transporte público para las personas con discapacidad, sustentado en los bajos indicadores de accesibilidad espacial y temporal encontrados en el análisis de la base de datos, lo que conlleva requerimientos de intervenciones consecuentes al mejoramiento en la planificación operacional del transporte público. De igual manera, dentro del análisis evidenciamos que la caminata es la opción preferida por la población, lo cual implica la necesidad de suministrar políticas públicas que garanticen facilidad, seguridad, confiabilidad y autonomía para estas personas en el desplazamiento por las aceras de toda la ciudad, puesto que cierto porcentaje de la población expresa dificultades durante el trayecto como peatón.

---

\*ahenao5@javerianacali.edu.co

## Optimización de la capacidad en glorietas semaforizadas

Autores: V G Valencia-Alaix<sup>1\*</sup>, G Cabrera Lara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín).

<sup>2</sup>Estudiante, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín).

La congestión vehicular genera una diversidad de externalidades negativas entre las que se cuenta la pérdida de tiempo por las demoras, detenciones y velocidades bajas generadas y consecuente con esto el consumo excesivo de combustible y emisiones de gases contaminantes e inseguridad vial, entre otras, aumentando los problemas sociales que bajan la calidad de vida y la competitividad de la comunidad en general. Diversos esfuerzos se dedican a mitigar la congestión correspondiendo con distintas clases de infraestructura vial. Al ser las intersecciones urbanas las que más situaciones críticas involucran, concentran la atención para la búsqueda de mejores condiciones de operación y mitigar las consecuencias de la congestión. En esta oportunidad la atención se centra en una pregunta que surge cuando en una ciudad con limitaciones de crecimiento de infraestructura se desea optimizar la existente, como ha sido el caso de Medellín, donde se busca la optimización de la capacidad en intersecciones como las glorietas cambiando su sistema de control del tránsito con señales de ceda el paso a semáforos. La base hipotética considera que instalar semáforos en una glorieta supone un cambio grande en el control del tránsito pasando de reglas de prioridad indicadas a los conductores mediante señales, donde la decisión de ingresar a la intersección recae principalmente en el juicio del conductor, a la prioridad de paso según indicaciones luminosas claras, donde la decisión de entrar a la intersección no requiere análisis complejos por parte del conductor. Este cambio conlleva el mejor aprovechamiento de brechas en la corriente principal debido a la concentración de la demanda en grupos de vehículos cuando se controla el tránsito con semáforos, mejorando la capacidad de la intersección. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar las variables que influyen en la optimización de la capacidad de una intersección tipo glorieta cuando se controla con semáforos. El análisis se realiza mediante simulación macroscópica la coordinación de semáforos y con simulación microscópica otros tipos de semáforos y el desempeño operacional de los diversos escenarios para lograr el objetivo, donde se estudian algunas intersecciones tipo glorieta de Medellín para determinar las características geométricas y de tránsito que optimizan la capacidad cuando se cambia el sistema de control del tránsito a semáforos. Los resultados de las simulaciones permiten establecer directrices y reglas que orientan al analista de tránsito en la toma de mejores decisiones para la gestión de la infraestructura vial, al establecer que la capacidad de una intersección tipo glorieta aumenta cuando se controla el tránsito con semáforos, teniendo en cuenta características como el diámetro de la glorieta, número de carriles en la vía circular, número de accesos, composición vehicular y tipo de semáforos.

---

\*vgvalenc@unal.edu.co



## Propuesta metodológica para la evaluación de niveles de servicio peatonal en estaciones de transporte masivo. Caso del SITM-MIO de Cali

Autores: P A Cruz Daraviña<sup>1</sup>, C E Bastidas Betancourt<sup>1\*</sup>, S J Cerón Muñoz<sup>1</sup>,  
V Abonia Balanta<sup>1</sup>, A T Castañeda Moyano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia

El Sistema Integral de Transporte Masivo MIO de Cali atiende diariamente gran parte de la demanda de transporte, presentando altos niveles de congestión peatonal en las estaciones terminales de transferencia. Este estudio busca diagnosticar el servicio peatonal de acuerdo con los principios de seguridad y sostenibilidad establecidos por la legislación. Sin embargo, en la actualidad no existe una metodología para establecer los niveles de servicio en este tipo de estaciones. Una nueva metodología podría basarse en manuales que evalúan el Nivel de Servicio Peatonal como el *Highway Capacity Manual, HCM (2016)*, el *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte*, Alcaldía Mayor de Bogotá, (2005) y el *Manual de la Compañía de Caminos Férreos Franceses, SNCF*. Las metodologías nacionales e internacionales consultadas resultan un punto de partida necesario para iniciar una exploración metodológica. Sin embargo, estos criterios de evaluación deben ser adaptados a nuestro contexto local, que puede posteriormente ser homologadas a ciudades de las características y la talla de Santiago de Cali. Por lo tanto, este proyecto propone una nueva metodología donde se establezcan niveles de servicio peatonal principalmente en horas pico, en una visión integral de la movilidad peatonal que incluye: 1. Densidades peatonales en plataformas de abordaje dentro de estaciones. 2. Densidades en isletas y separadores viales alrededor de la estación. 3. Flujos en los corredores de acceso, salidas y corredores alimentadores peatonales. 4. Colas de espera en rutas alimentadoras y zonas de recarga. 5. Tiempos de ascenso y descenso de los buses. 6. Tiempos de acceso por torniquetes. 7. Encuesta de origen y destino peatonal. Los niveles de servicio en las zonas críticas en la mayoría de los casos son insuficientes, los usuarios deben esperar más para poder ingresar a la estación, interfiriendo en la fluidez del tránsito de pasajeros en la entrada. Así mismo, los pasillos de acceso a las paradas o puntos de espera del sistema masivo, principalmente los que conectan con rutas troncales, no tienen las dimensiones adecuadas para permitir el tránsito continuo y las personas deben disminuir su velocidad o hacer paradas repentinas para poder llegar a su destino. Se plantea una reestructuración de los espacios, para aprovechar las zonas donde hay presencia de obstrucciones y reubicación a lugares con menor demanda de usuarios, generando un mayor espacio para el flujo de peatones. En los casos donde sea necesario, se plantea la localización de nuevos vagones y accesos por ejes viales alternativos. Se debe fomentar además la recarga virtual o en puntos diferentes a las estaciones para disminuir las filas. En todo caso, la acumulación de usuarios en las paradas dependerá además del tiempo que tardan las rutas en llegar a la estación. Si hay déficit o problemas en el tráfico de los padrones o alimentadores con mayor flujo de pasajeros la acumulación de personas en la estación seguirá aumentando.

---

\*caedb2000@outlook.com



# **Transporte multimodal y logística de mercancías**

---



## A game theory approach for shippers and carriers considering Urban Consolidation Centers

Autores: C A González-Calderón<sup>1</sup>, J A Jaramillo-Jiménez<sup>2\*</sup>, N I Díez-Ruiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor Universidad Nacional de Colombia. <sup>2</sup>Graduate Research Assistant Universidad Nacional de Colombia

Urban Consolidation Centers (UCC) —a current alternative to organize freight distribution dynamics in a city facing congestion and environmental issues— are used based on the stakeholder's decisions about the benefits they could or could not receive. Different shippers and carriers' context behaviors — between variables such as economic, industrial, competition and environmental— influence the choice of using UCC. The complexity of this interaction requires a deeply understanding of the possible results in order to manage UCC performance. The authors used game theory to analyze stakeholder's perspective about using UCC in different scenarios. In doing so, they studied different strategies in order to deal with competitive situations where the outcome of a participant's choice of action depends strongly on the decisions of other participants. Thus, the main purpose of this paper is to apply game theory to a Colombian context by addressing a game to freight responsible guilds in Medellín (e.g., members of the Asociación Nacional de Empresarios de Colombia—ANDI, Federación Nacional de Comerciantes—FENALCO) regarding some of the market possibilities in which they are constantly involved. Thus, in order to achieve the set objective, a game theory algorithm is developed through z-Tree software (Zurich Toolbox for Readymade Economic Experiments) by running four scenarios which pretend to represent stakeholder's reality. The first game describes the base case where shippers and carriers deliver the cargo in an urban area without UCC by using direct links to the receivers; in this case, payoff depends only on the route fixed cost. On the other hand, the remaining three scenarios include the UCC facility, although competition is managed in different ways; the second one has not shipper's competition. Then, the probability of losing customers is zero and the payoff could be favorable according to the number of carriers picking the UCC option. Unlike the second scenario, both third and fourth scenarios do have competition where losing customers is likely when UCC is used. The third scenario gives the information about the probability of losing customers to the players challenging them to enhance the profit considering that market features are known by all stakeholders. Finally, the fourth scenario does not provide knowledge about the mentioned probability, what means this is the most reliable approach to reality. Running those scenarios allow to describe properly the market dynamics, and how supply-demand relationship is developed based on the different stakeholder's choices. Furthermore, it is also expected to find which of the stakeholders has the control within the market and which is the rolled played by each participant. The results of the research could shade some light to implement policies that bring benefits for the UCCs usage, considering that some of them have been an effective solution to city congestion and environmental problems in European and Asian countries.

---

\*joajaramilloji@unal.edu.co

## Caso de aplicación de la técnica de análisis de componentes principales en el estudio del desempeño logístico de la altillanura colombiana

Autores: A M Cruz Ochoa<sup>1\*</sup>, L Lyons<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de maestría en Ingeniería – Transporte, Facultad de Ingeniería – Sede Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <sup>2</sup>Profesora asociada, Líder del grupo de investigación en Logística para el Transporte Sostenible y la Seguridad – Translogyt, Facultad de Ingeniería – Sede Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

El estudio del desempeño logístico comprende la evaluación de la eficiencia y eficacia de las diferentes dimensiones que lo definen, y puede realizarse a través de métricas y medidas individuales o mediante un sistema general de desempeño<sup>[1]</sup>; su estimación se obtiene de medidas directas sobre los procesos de los diferentes eslabones de la cadena logística de los productos, y no es común el uso de indicadores compuestos que las reduzcan a un único valor. Por otro lado, en niveles estratégicos y de planeación territorial, el estudio del desempeño logístico se encuentra en una escala superior de toma de decisiones para el cual se hace necesario el desarrollo de herramientas que simplifiquen la complejidad y multidimensionalidad de la actividad logística a través de medidas que capturen la mayoría de las dimensiones del desempeño logístico tanto en el corto como en el largo plazo<sup>[2]</sup>. En este contexto, la investigación realizada tuvo como objetivo estudiar la viabilidad de la aplicación de la técnica matemática de análisis de componentes principales (ACP) como método previo a la determinación de un índice de desempeño logístico para el estudio de cadenas logísticas de productos agrícolas en Colombia, tomando como caso de estudio la región de la altillanura colombiana. Para el caso de estudio se utilizó una base de datos generada a partir de una encuesta específica para esta investigación, se realizaron múltiples iteraciones con la metodología ACP, logrando explicar más del 60% de su variabilidad en el primer componente principal. Este resultado permite corroborar la aceptación de la hipótesis formulada inicialmente en la que se planteó la viabilidad de usar el ACP, con base en el antecedente existente del Banco Mundial que utilizó esta técnica en la estimación del Índice de Desempeño Logístico a nivel mundial. A partir de estos resultados se concluye que la técnica matemática ACP es útil para el análisis del desempeño logístico con enfoque en la cadena logística y, además, sustenta la etapa siguiente mediante la cual se definirá un Índice de Desempeño Logístico específico para la región estudiada, lo cual puede ser replicable a cualquier otra región involucrando en el análisis empresas locales de estas.

---

[1]Caplice, C., & Sheffi, Y. (1995). The International Journal of Logistics Magement, 6(1), 61–74. [2]Chow, G. et al. (1994). International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 24(1), 17–28.

---

\*amcruzo@unal.edu.co

## Freight generation zones development in cities

Autores: L Sierra-Betancur<sup>1\*</sup>, R Quintero-Giraldo<sup>2</sup>, F J Mafla-Hernández<sup>2</sup>,  
C A González-Calderón<sup>3</sup>, J J Posada-Henao<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Economist – Graduate Research Assistant – Colombia.

<sup>2</sup>Graduate Research Assistant – Colombia. <sup>3</sup>Associate Professor – Colombia

When freight transportation is not including in the territorial planning, the negative externalities increase. In some cases, it is possible to plan a freight zone but in other cases the constant develops of cities create zones where planners would not imagine. Therefore, public, private and academy sector must to formulate some strategies or initiatives to reduce the negative effects that freight has in the area. This research defines what are Large Urban Freight Zonal Generators (LUFZGs) e.g., industrial and commercial zones. It is possible define a LUFZGs as an area inside the cities where an establishment or industry agglomeration send or receive a considerable amount of freight trips e.g., Fifth Avenue in New York, Bond Street in London. This is different to a large freight traffic generator that is commonly associated to a punctual or specific point in a map e.g., The Empire State Building, Macy's store in Union Square, IKEA in Richmond, BC. Moreover, this paper estimates the production and attraction of freight trips in LUFZGs. To do that, authors estimated econometric models of production and attraction of freight trips according to associated variables to the economic sector, establishment type, and commodity. In addition, the authors analyze the main variables that are related with LUFZGs in freight generation and freight trip generation. Data are based on the 2018 freight transportation study conducted in the Medellin Metropolitan Area. To define what a Freight Zone is, the authors identified geographic concentrations of establishments or economic sectors, that analyzed as individuals, could be not classified as Large Freight Generators. Based on these analyses, the authors proposed a freight zoning system for the Medellin Metropolitan Area. The study found 87 LUFZGs in Medellin Metropolitan Area, which is composed by 10 municipalities. In most of the cases LUFZGs are located on main streets of the city. In addition, the authors found a direct relationship among congestion problems, economic development, establishments location, large freight generators and freight zones.

---

\*csierrab@unal.edu.co

## La bicicleta como aporte a la eficiencia logística del transporte de carga en la última milla

Autores: G Arcila-Mena<sup>1\*</sup>, C A González-Calderón<sup>2</sup>, J J Posada-Henao<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduate Research Assistant, Colombia. <sup>2</sup>Associate Professor, Colombia. <sup>3</sup>Associate Professor, Colombia

Las ciudades que están en búsqueda del desarrollo económico tienen el gran reto de transportar mercancías de forma más eficiente aumentando la productividad y disminuyendo las externalidades negativas, y las bicicletas de carga podrían ser una buena estrategia para esto. Distribuir la carga de una forma más eficiente en cuanto a tiempos, reducción de costos y contaminación es la premisa por la cual se dirige esta investigación debido al reto de desarrollarse principalmente en zonas urbanas. De acuerdo con lo anterior el objetivo es estimar modelos econométricos que permitan predecir la producción y atracción de entregas de última milla que puedan ser transportados en bicicletas de carga en un área metropolitana, por lo que se hace necesario determinar cuáles son las variables más importantes para la estimación de la producción y atracción de entregas de última milla, calcular los beneficios ambientales y económicos, y proponer políticas del uso de bicicletas de carga para la distribución de mercancías en la última milla basados en un estudio de caso. Para alcanzar los dichos objetivos se plantean tres variables, una de ellas son los modelos de producción y atracción de viajes de carga, que basados en los modelos de regresión se logran representar los viajes que se realizan en la ciudad de Medellín utilizando la bicicleta como modo de transporte de carga. La segunda variable son las entregas de última milla ya que por tratarse de ser el último paso en la cadena de suministro de transporte, y desarrollarse principalmente en zonas urbanas, son las más ineficientes y costosas, debido a que se encuentran en zonas de alta congestión, dificultad de parqueo entre otras. Y la tercera variable son las áreas de mercado que están delimitadas por los costos de transporte, lo cual es relativo debido a que cuando se busca la menor tarifa de transporte siempre habrá una opción más barata que el resto, sin embargo, no sirve de nada si ese transporte llega tarde o simplemente no cumple cuando el cliente lo necesita. Teniendo en cuenta estas variables, es posible evaluar modelos que permitan determinar si las bicicletas de carga son una alternativa aplicable para el transporte de mercancías en la ciudad de Medellín. La investigación muestra diferentes aspectos a tener en cuenta. El principal es el modelo que represente el reparto de mercancías en bicicleta. El segundo es el cálculo de los beneficios ambientales y económicos que pueden lograrse si es implementada la bicicleta como modo de transporte para mercancías; y tercero, poder plantear políticas que puedan aportar a la reglamentación nacional del uso de la bicicleta como modo de transporte de mercancías. El desarrollo de la investigación podrá concluir si el uso de la bicicleta como modo de transporte de mercancías es una alternativa aplicable a la ciudad de Medellín, identificando las zonas y las bicicletas óptimas para desarrollar el reparto o recolección de carga en la última milla.

---

\*guillermoarcilam@unal.edu.co



## Medida de desempeño (indicador) multimodal de la operación de intersecciones semaforizadas

Autores: R Unda<sup>1\*</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consultor de Steer, Colombia. <sup>2</sup>Profesor de la Universidad de los Andes, Colombia

Las intersecciones semaforizadas son elementos característicos y esenciales de las redes de transporte urbano porque permiten el cruce e intercambio seguro y eficiente de automóviles, bicicletas y peatones. En teoría, una intersección multimodal debería estar diseñada (en geometría y en tiempos del semáforo) de acuerdo con las necesidades de todos los usuarios, independientemente de su modo de transporte. Sin embargo, lo común es que el diseño, la evaluación y el análisis de las intersecciones se haga priorizando los flujos vehiculares. Las intersecciones y su operación se deben entender cada vez mejor para desarrollar metodologías y herramientas más coherentes con los objetivos del paradigma sostenible del transporte. El objetivo del estudio es proponer, aplicar y analizar una medida de desempeño (indicador) de la operación de intersecciones semaforizadas, que sea coherente con el paradigma del transporte sostenible. Eso significa que debe contar con las siguientes características: (1) multimodalidad: que incluya todos los modos que utilizan la intersección; (2) universalidad (común): que asigne el mismo nivel de importancia a todos los usuarios, independientemente de su modo de transporte; (3) comparabilidad: que permita comparar entre modos, (4) individualidad: que sea calculado basándose en individuos (usuarios), en lugar de vehículos; y (5) transparencia: que el resultado obtenido sea producto de un procedimiento claro, conocido y fundamentado. Primero, se hizo una revisión bibliográfica y se estudiaron las guías y manuales de diseño y capacidad internacionales y locales para conocer los antecedentes y el estado del arte. Luego, utilizando herramientas de microsimulación se evaluó la primera medida de desempeño propuesta (el *Total Average Delay*) en dos ejercicios teóricos de intersecciones semaforizadas. Posteriormente, con información suministrada por la autoridad de transporte de Bogotá, se aplicó el indicador anterior y, adicionalmente, se desarrolló una segunda medida de desempeño (el *Equity Index Ratio*), en un caso práctico. Se encontró que existe una dicotomía entre eficiencia y equidad en la evaluación operacional multimodal de intersecciones y por eso se proponen dos medidas de desempeño (indicadores) multimodal: el *Total Average Delay* (TAD) como medida de eficiencia relativa y el *Equity Index Ratio* (EIR) como medida de equidad absoluta. Los indicadores planteados son medidas con fundamento teórico y práctico debido a que pueden ser aplicados para medir de forma global la calidad del servicio prestada por una intersección semaforizada. La demora es percibida por todos los usuarios, independientemente de su destino, su tiempo de viaje total, el propósito del viaje y el modo de transporte. Utilizando el TAD se puede estimar el desempeño operacional global de una intersección y de ese modo evaluar escenarios de diseño geométrico y semafórico para encontrar un “óptimo” que beneficie a la mayoría de los usuarios. Por otro lado, el EIR permite medir la equidad entre modos, entendida como una situación en que el valor esperado de demora de un usuario no depende del modo que utiliza. El TAD y el EIR son medidas multimodales y globales de intersecciones semaforizadas. Juntos, son mediciones útiles y aplicables para comparar diferentes opciones de diseño geométrico y semafórico desde una perspectiva multimodal.

\*jr.unda10@uniandes.edu.co

## Road toll influence in the freight transport cost

Autores: C Valencia-Cárdenas<sup>1\*</sup>, C A González-Calderón<sup>2</sup>, J J Posada-Henao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering Universidad Nacional de Colombia at Medellín

The road tolls play an important role in the financial road development in countries. The presence of tolls plays a role in reduction of travel times and better road conditions, which are very important for freight transportation. In Colombia, according to the law 787 de 2002, the differential toll rates have to be established based on the proportion to the distances traveled, the characteristics of the vehicles and their respective operating costs. These tolls increase the trucking cost to transport commodities between urban areas—places where the goods are mainly sold and consumed—, thus if the toll fee increases for trucks so the price of the commodity does too. In this sense, the purpose of this paper is to analyze the influence of road tolls in the final price of goods that are sold in urban areas. The Ministry of Transportation of Colombia conducts every year a national freight origin-destination survey providing total tons and truck trips for different commodities. Besides this, they developed an information system to estimate efficient costs for trucks (SICE-TAC). The system analyzes the operational costs for small, medium and large trucks, considering fixed, variable, and additional costs, including road tolls. According to the survey, the authors found 335 commodities transported between the cities analyzed by the SICE-TAC. These commodities were classified in different groups based on the Standard of Classification of Transported Goods. The number of trips (and tons) transporting different commodities was obtained from the freight survey. With this information, the authors estimated the average costs of transporting the commodities between the Colombian cities (e.g., cost per transported ton) and the percentage of the cost that road tolls represent in each route, including the numbers of tolls per road and the annual fee increase. The selling cost of each commodity was obtained from the private sector, and it was compared to the transportation cost of the commodity (estimated by regression analyses considering transportation costs as dependent variable and distance traveled and the presence of tolls in the Colombian roads as independent variables). Based on this, the authors found the impact of road tolls in the transportation cost for different goods and thus, in their selling price. The results show that road tolls play a role in the freight transportation costs and then in the final price of the goods in urban areas. The influence of road tolls in the final price of goods is presented for different groups of commodities. The findings of this research are of great relevance for transportation economics because the estimated models show the influence of road tolls in the transportation costs for different vehicle trucks types and commodities transported and sold in urban areas. The results of the study will contribute to the search of initiatives by the government to improve competitiveness in trucking considering the increase in the fees of the road tolls and its influence in the final price of the goods that affect the final agents in the supply chain, i.e., the consumers.

\*matalina.valencia@udea.edu.co

# **Transporte, ambiente y ciudad**

---



## Análisis del impacto medioambiental a través de microsimulación en intervenciones urbanísticas y de movilidad: un caso de estudio sobre un corredor urbano de la ciudad de Medellín

Autores: C Portilla<sup>1</sup>, A Acosta<sup>1\*</sup>, R Ramírez<sup>1</sup>, J Jiménez<sup>1</sup>, I Sarmiento Ordosgoitia<sup>1</sup>, J Espinosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia – (Medellín- Colombia)

En este trabajo se realiza una microsimulación para tres diferentes alternativas de intervenciones urbanísticas y de movilidad en un corredor urbano de la ciudad de Medellín (Colombia), con el fin de determinar el impacto ambiental producto de los cambios generados en las condiciones de tráfico. Para tal fin, fue seleccionado el corredor de la calle Colombia entre las carreras 65 y 80, el cual presenta un alto flujo de vehículos y cuenta con información tanto de volúmenes vehiculares discriminados (livianos, motos, pesados, TPC) como de planes semafóricos, necesarios en la simulación. Las alternativas evaluadas fueron simuladas en el software de Simulación de Movilidad Urbana (SUMO) el cual es un micro-simulador gratuito y de código abierto, desarrollado por el Instituto Aeroespacial Alemán (DLR), que permite evaluar el comportamiento del tráfico de las emisiones de gases contaminantes y material particulado para diferentes modos de transporte de forma discriminada. A continuación se describen las alternativas hipotéticas que fueron consideradas: Línea base: describe el corredor con demanda y las paradas de buses actuales. Caso alternativo 1: reducción de un carril. Se elimina un carril en cada sentido de las vías, emulando una redistribución de la sección vial, común en proyectos urbanísticos que pretendan estimular la caminata y la bicicleta en sacrificio del ancho de la calzada. Caso alternativo 2: carril izquierdo como carril exclusivo para buses con Diésel. En este caso, se incluyó un nuevo conjunto de paraderos, se duplicó el tamaño de los buses, se asumió la reducción de buses en un tercio y un cambio modal al bus del 10% de vehículos respecto a la línea base. Caso alternativo 3: carril izquierdo como carril exclusivo para buses eléctricos. Este caso tiene las mismas características que el caso alternativo 2, excepto que en este caso los buses son totalmente eléctricos y el factor de cambio modal del transporte privado hacia el público es del 20%. La evaluación de los casos alternativos fue realizada tanto para las variables relacionadas con las emisiones (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NOx, PMx y combustible (Fuel)) como para los tiempos promedio de viaje (Tv), espera (Te) y perdido (Tp). Finalmente, es posible concluir que, en cuanto a emisiones y tiempos de viaje, el caso alternativo 2 tiene el peor impacto, pues no se presenta ninguna alternativa ante la reducción del carril. Sin embargo, si bien los casos alternativos 2 y 3 presentan una disminución marginal en los tiempos de viaje respecto del caso base, la mejora es mucho más notable cuando se evalúan las emisiones de contaminantes como el CO<sub>2</sub>, NOx y el consumo de combustible.

---

\*afacostag@unal.edu.co

## Análisis y comparación del cambio de partición modal entre 2018 y 2019 del Día sin carro y sin moto en la ciudad de Ibagué

Autores: J G Zuluaga Villermo<sup>1\*</sup>, C A Kaffure Ruiz<sup>2</sup>, M C Hoyos O<sup>3</sup>, B A Bayona García<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Docente del programa de Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia.

<sup>2</sup>Docente Universidad del Tolima y Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia.

<sup>3</sup>Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia.

La movilidad es una necesidad para el ser humano por esto la comunidad Ibaguereña se moviliza así: 33% en modos privados, 45% en transporte público colectivo e individual y el 22% en modos no motorizados. Esta medida del “Día sin carro” tiene un componente ambiental pero el más relevante se cree es el cambio modal que genera. Por esto se estudió dicho cambio en los ciudadanos. A partir de una encuesta de preferencia revelada se identificó la mejor alternativa considerada por los usuarios para desplazarse en ese día. Como objetivo clave, determinar el cambio modal del Día sin carro y sin moto de la ciudad de Ibagué, el 13 de febrero del 2019, reconociendo las características principales de la partición modal en dicho día, para comparar este año con el anterior. Se determinaron preguntas para el cuestionario aplicado, teniendo en cuenta la toma de decisiones sobre los modos de transporte que recurrieron ese día, y la aceptación de la restricción por parte de la ciudadanía. La encuesta se realizó en la ciudad el 13 de febrero de 2019, Día sin carro y sin moto, y permitió conocer cómo las personas afrontaron esta jornada, reconociendo la decisión que tomaron (transporte público, bicicletas, entre otros). Con esto se ejecutaron estudios estadísticos pertinentes para tal fin, observando cuál es su posición frente a las dificultades o beneficios que presentaron a esta alternativa de transporte. El cuestionario fue aplicado de manera estratégica, Posteriormente se realizó una depuración y organización de la información, se analizaron los datos obtenidos, se elaboró un informe detallado sobre los diferentes patrones de respuesta de las encuestas, identificándose factores que dependen de diferentes poblaciones basadas en género, edad, entre otros. En 2018 se realizaron 2 jornadas de Día sin carro en las que, en la primera, se aplicaron 436 encuestas, y en la segunda 173. El presente año se recogieron 609 encuestas. De los encuestados, 324 son hombres y 278 son mujeres, de éstas, 17 mujeres usan bicicleta en su cotidianidad; solo 26 caminan para llegar a sus destinos en un día sin restricción y 28 usaron bicicleta durante esta jornada. La mitad de estas tiene una edad entre los 21-29 años, 5 entre los 30-45 y 2 de 46-60 años, 18 quieren que nunca se realice el Día sin carro y sin moto, mientras que 70 opinan que debería ser más de 4 veces al año. De esto se destaca que los modos no motorizados han tenido gran acogida durante los dos últimos años de estudio. Por parte del género femenino existe cierto rechazo ante la medida del día sin carro y sin moto, los jóvenes están más dispuestos a usar modos no motorizados por cuestiones de cambio climático, más del 60% de los encuestados está conforme con estas políticas del día sin carro sin olvidar que el 51% de los encuestados estaría dispuesto a que esta restricción se haga más de 4 veces al año.

\*2520131033@estudiantesunibague.edu.co

## Buses padrones eléctricos, una tecnología viable para rutas en el sistema integrado de transporte de Bogotá

Autores: E A Velandia Durán<sup>1\*</sup>, J P Rojas Suárez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Francisco de Paula Santander

Garantizar la movilidad de personas es uno de los mayores retos para una ciudad. En la actualidad las soluciones tecnológicas ofrecidas (transporte motorizado y combustibles fósiles principalmente), las configuraciones urbanas existentes (expansión y moderada densificación), la cultura de bienestar asociada al vehículo y las políticas de desarrollo económico a través de las dinámicas de la motorización, han generado grandes presiones a la sustentabilidad urbana en distintos contextos al nivel mundial. Bogotá no es ajena a estas circunstancias y problemas. En el corto plazo, los nuevos concesionarios del transporte deberán realizar inversiones para la reposición y ampliación de la flota de buses. Para este requerimiento, soluciones diésel, diésel híbridas, gas natural dedicado y eléctrico, para el caso de buses padrones, son posibles en el mercado. Actualmente, la tecnología diésel es la opción más barata en inversión inicial y domina el mercado nacional de transporte urbano, sin embargo, el progresivo incremento de precio del combustible, los considerables costos de mantenimiento asociados y el sostenimiento de emisiones contaminantes muestran que esta solución puede no ser la mejor opción en el largo plazo. Un estudio comparativo entre buses padrones diesel Euro IV, gas natural dedicado, híbridos y batería (aleación de litio), para un horizonte de 12 años de servicio y un recorrido anual de 65.000 Km, que consideró además la tendencia de costo de combustibles y mantenimiento, las proyecciones de costos de partes y los actuales beneficios que ofrece el gobierno nacional para tecnologías cero emisiones, mostró que los buses eléctricos representan una oportunidad en términos económicos para el operador. Además aportan beneficios por reducción de emisiones GEI, mejoramiento de la calidad del aire y reducción de los niveles de ruido para la ciudad, lo mismo que beneficios por eficiencia energética, innovación y competitividad al nivel país. Asimismo, la sustitución de combustibles fósiles por energía eléctrica, esta generada principalmente por fuentes renovables en el país y con proyecciones de confiabilidad en el suministro de largo plazo, ofrece al transporte urbano eléctrico un valor agregado. Hoy existe un escenario local en el cual las soluciones eléctricas pueden ser implementadas en buses padrones en el SITP de Bogotá, sin embargo, se requiere de apoyo a la industria nacional, adecuación de las configuraciones a las necesidades particulares de rutas, desmonte de aranceles a las baterías para las tecnologías cero emisiones, apoyo al financiamiento de las inversiones iniciales y la definición de un precio diferencial de la energía eléctrica por carga nocturna y uso en transporte masivo que faciliten el ingreso de la nueva tecnología. En términos operacionales se necesita definir las rutas que por recorridos, topografía y demanda de viajes sean viables para este tipo de tecnología. Por último, se requiere de esquemas de recarga de baterías para el máximo aprovechamiento de las estaciones y la integración de la recarga de las baterías a los futuros esquemas de redes eléctricas inteligentes. Es importante reconocer que la compra de un bus eléctrico representa retos a ser considerados no solo desde el financiamiento, sino desde la gestión logística de carga, análisis de rutas, el mantenimiento y el máximo aprovechamiento de las baterías preservando su vida útil. Los modelos existen y se evidencian en ciudades latinoamericanas como Sao Paulo, Santiago de Chile y Guayaquil.

\*evelandiad@unisalle.edu.co

## Data-driven Level of Traffic Stress: the case of Bogotá

Autores: J A Huertas<sup>1</sup>, A Palacio<sup>1\*</sup>, M Botero<sup>1</sup>, G A Carvajal<sup>1</sup>, P A Uriza<sup>1</sup>, T van Laake<sup>2</sup>, S A Cabrales<sup>1</sup>, L Á Guzmán<sup>3</sup>, O L Sarmiento<sup>4</sup>, A L Medaglia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada (COPA), Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia). <sup>2</sup>Despacio. <sup>3</sup>Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR), Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia). <sup>4</sup>Facultad de Medicina, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia)

El *Level of Traffic Stress* (LTS) es una medida que describe el estrés que una vía produce en un ciclista, la cual está basada en umbrales subjetivos que son aplicados sobre la infraestructura y las características de tráfico de la malla vial. En este estudio proponemos una metodología basada en datos para calcular el LTS en mallas viales de ciudades latinoamericanas sin utilizar criterios subjetivos. Nuestra metodología se basa en cinco pasos: (i) calcular las variables de cada segmento de la malla vial, (ii) generar grupos (o *clusters*) de segmentos dentro de un subconjunto representativo de la malla vial, (iii) clasificar los segmentos de toda la malla vial dentro de los *clusters* resultantes, (iv) asignar una categoría de LTS a cada *cluster*, y (v) asignar una categoría del LTS a cada intersección de la malla vial. En nuestra metodología combinamos dos herramientas de clasificación para calcular el LTS: (i) un algoritmo de *clustering* que identifica *clusters* de segmentos con características similares dentro de un subconjunto representativo de la malla vial; y (ii) una regresión logística multinomial entrenada con los *clusters* encontrados que predice el *cluster* al cual pertenece cada segmento de la malla vial. Para asignar la categoría de LTS a los segmentos analizamos las estadísticas de las variables de los segmentos dentro de cada *cluster* encontrado; además, nos basamos en el LTS calculado en los segmentos para asignar el LTS a las intersecciones. Nuestra metodología es adecuada para la creación de políticas gracias a su arquitectura, pues permite evaluar el impacto de las intervenciones que afecten las variables de entrada del LTS de una manera fácil de implementar y de bajo costo computacional. Para demostrar la utilidad de nuestra metodología, probamos su uso un caso de estudio sobre la malla vial de Bogotá, Colombia. Para hacerlo, calculamos las variables combinando información de IDECA, OpenStreetMaps y Google por medio de sistemas de información geográfica (SIG). Contrastamos el LTS resultante de nuestra metodología basada en datos con los reportes de los siniestros fatales y no fatales de la ciudad, encontrando que el número de siniestros por kilómetro de LTS aumenta a medida que el LTS crece. Finalmente, desarrollamos una herramienta web para visualizar las capas resultantes de las variables y del LTS calculado. Este estudio nos permite concluir que es posible calcular el LTS por medio de una metodología basada en datos haciendo uso de herramientas analíticas para aumentar la escalabilidad y la facilidad de evaluación de cambios, logrando un resultado que va acorde con la literatura.

\*a.palacio10@uniandes.edu.co



## Desarrollo orientado al transporte sostenible (DOTS) en ciudades intermedias. Caso estudio Tunja - Colombia

Autores: A P León Rodríguez<sup>1\*</sup>, A L Balaguera Rivera<sup>2</sup>, S E Díaz Márquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. <sup>3</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

El desarrollo de una ciudad está condicionado, en gran medida, por el crecimiento de la población y la estructuración urbanística alrededor de los sistemas de transporte utilizados. Sin embargo, exceptuando algunas, la mayoría de las ciudades intermedias alrededor del mundo están experimentando un acelerado crecimiento, pero con un patrón insostenible, por tanto, es fundamental, la adopción de un modelo que promueva el acceso a las oportunidades y a los recursos mediante una integración entre la forma urbana y el transporte, con el propósito de garantizar una movilidad incluyente, equitativa, sostenible y, principalmente, que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida. Así, teniendo en cuenta que el Desarrollo Orientado al Transporte Sostenible (DOTS) es un modelo de planeación en el que se busca el desarrollo de la ciudad alrededor del transporte sostenible, el objetivo de la ponencia es presentar un análisis de los lineamientos que conforman un DOTS (componentes, principios e indicadores) en ciudades intermedias, a través de una aplicación en un caso estudio de la ciudad de Tunja - Colombia. En este contexto, el análisis se realizó en función del tamaño de la ciudad y el sistema de transporte utilizado, para identificar la estructuración de este modelo. Adicionalmente, se aplicó en la formulación de un DOTS para una zona específica, realizando el diagnóstico actual, la construcción, evaluación y análisis de la estructura DOTS y finalmente, la formulación de acciones estratégicas que respondan a las necesidades identificadas. De esta forma, se propone que el modelo para ciudades intermedias esté orientado por tres componentes y siete principios de los cuales se establece su nivel de cumplimiento mediante la valoración cualitativa y cuantitativa de 27 indicadores, adaptables al contexto donde se aplique. Así, en el caso estudio se identificó la necesidad de fortalecer los aspectos relacionados con la infraestructura (red de transporte, intersecciones, cruces peatonales y senderos peatonales, entre otros) utilizada por el transporte público, la bicicleta y los peatones, brindando espacios óptimos, seguros y accesibles que prioricen el tránsito peatonal y ciclista. Complementando esta medida, se recomendó gestionar el uso del suelo, los espacios públicos y las zonas verdes, con acciones dirigidas a la distribución de diversos equipamientos (comerciales, institucionales, salud y educativos), además, la existencia de mobiliario urbano y elementos de sombra y refugio que garanticen la circulación y permanencia de las personas en condiciones de seguridad y comodidad. Como resultado se encuentra que, si bien el DOTS se ha utilizado, principalmente, en ciudades grandes, se encontró que la metodología puede ser adaptada a ciudades intermedias, teniendo como eje principal no solo el transporte público, sino en general, los modos sostenibles, a partir de los cuales se estructura, organiza e integra el sistema de actividades de una ciudad, con las características propias para alcanzar una movilidad realmente sostenible.

\*adriana.leon01@uptc.edu.co

## Diagnóstico del servicio de transporte operado por los tricimotos alrededor de los portales Suba y Américas en Bogotá

Autores: E A Velandia Durán<sup>1\*</sup>, L M Lorenzo<sup>1</sup>, O Ibarra Linares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Colombia

Garantizar la movilidad de personas es uno de los mayores retos para una ciudad y cuando el transporte público no posee cobertura, asequibilidad, calidad y accesibilidad emergen soluciones alternas de carácter informal, como buses piratas, taxis colectivos, tricimotos y bicitaxis. Estas cubren las necesidades de movilidad de ciudadanos tanto en viajes largos como los cortos, en algunas ocasiones, bajo mínimas condiciones de seguridad y calidad, en competencia con los otros modos, sin control ni estructuración tarifaria y económica. En Bogotá durante la última década se han identificado varios puntos con la existencia de estas modalidades de transporte informal, en la periferia como en cercanías de las estaciones de Transmilenio, atendiendo viajes cortos de manera más rápida, con mayor cobertura y de manera eficiente para la población respecto al transporte público. En este sentido, las zonas aledañas a los portales Suba y Américas son sectores que evidencian un importante crecimiento urbano y demográfico en los últimos años, hechos que han superado la oferta de transporte público, permitiendo con ello la operación de diversas opciones de transporte como los triciclos, algunos de ellos, con motores de combustión y/o eléctricos (tricimotos). En estas zonas se realizó un censo a la población de conductores de triciclos y tricimotos, así como un inventario de vehículos, en donde se estableció que en Bogotá hay 3.054 personas dedicadas a esta actividad, de las cuales un 51% se localizan en Kennedy, un 21% en Bosa, un 11% en Suba, un 4.5% en Usaquén, y un 4% en Engativá. Las características socioeconómicas de los operadores de tricimotos son similares a las halladas para los prestadores de servicio de transporte público informal en el resto del país: mayoritariamente hombres entre 27 y 59 años, la mayoría es cabeza de hogar. El trabajo realizado incluyó encuestas a usuarios (200) y operarios (50) en las zonas de estudio, así como una evaluación de tiempos para comparar la competitividad de este vehículo frente a otras opciones como buses alimentadores o taxis. Al comparar con otros modos existentes se encuentra que el uso de tricimotos tiene muchas ventajas (ecológico, económico y rápido), sin embargo, presenta problemas en cuanto a su circulación ya que la mayoría rueda por las vías vehiculares, por andenes o ciclorrutas poniendo en riesgo la integridad de los operadores, los usuarios y las demás personas. La regularización daría grandes ventajas a los operadores del servicio ya que tendrían un trabajo estable, contarían con seguridad social, garantía en un salario y un empleo digno. A los usuarios les ofrecería un servicio frecuente, tarifas adecuadas y justas, facilidad de acceso, rutas preestablecidas, y lo más importante comodidad y seguridad en el vehículo. Al hacer el análisis de los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los operadores de los triciclos y tricimotos se hace evidente la necesidad de que tengan una licencia de conducción con el fin de dar un control para la operación. Se hace necesario que los tricimotos tenga algún tipo de póliza que de respaldo ante cualquier accidente o percance que puedan tener, con el fin de darle al usuario una mayor seguridad y tranquilidad. La autoridad de tránsito encargada debe acompañar a las cooperativas de tricimotos con el fin de dar unos parámetros de cuáles son sus funciones y que deben hacer en el caso que se haga una regularización del sistema. La tendencia en el mundo, y según lo dispuesto por el Ministerio de Transporte en el año 2018, recomienda el uso de tracción eléctrica y es necesario su cumplimiento dentro de un proceso de transición con control por parte de las autoridades locales.

\*evelandiad@unisalle.edu.co – ingeavd@gmail.com

## Diseño de un sistema de analítica para soporte a estudios de transporte urbano y salud: el caso de TransMiCable en Bogotá, Colombia

Autores: M I Arévalo<sup>1\*</sup>, M Linares-Vásquez<sup>1</sup>, M A Wilches M<sup>1,2</sup>, C Bedoya<sup>1</sup>,  
O L Sarmiento<sup>2</sup>, D A Rodríguez<sup>3</sup>, M Santana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes. <sup>2</sup>Facultad de Medicina Universidad de los Andes, Colombia.

<sup>3</sup>College of Environmental Design and Institute for Transportation Studies, University of California Berkeley, Berkeley, and Urban Health Collaborative, Department of Epidemiology and Biostatistics, Dornsife School of Public Health, Drexel University, Philadelphia, USA

La evaluación del impacto de los sistemas de transporte, en diferentes poblaciones objetivo, requiere la recolección de información tal como los diarios de viaje de los usuarios. Sin embargo, estos procesos de recolección/análisis requieren de procedimientos que no sean intrusivos, no modifiquen las costumbres de viaje, y estén de acuerdo con condiciones sociales de los usuarios y sus capacidades de uso/acceso a elementos tecnológicos. Para tal efecto, diseñamos un sistema de analítica (Muévelo), que combina la recolección pasiva de diarios de viaje (es decir en segundo plano) a través de dispositivos móviles, con el procesamiento de datos en un motor de analítica centralizado. Muévelo fue diseñado y usado en el marco del estudio “Transformaciones Urbanas y Salud: el caso de TransMiCable en Bogotá”, en particular, en las poblaciones de San Cristóbal y Ciudad Bolívar. Para ser incluyente con las condiciones sociales y capacidades tecnológicas de los usuarios, Muévelo tiene una aplicación móvil para dispositivos Android, que registra automáticamente diarios de viajes y cuatro modos de transporte “Caminar”, “Correr”, “Bicicleta”, y “Transporte motorizado”. La aplicación móvil fue diseñada para tener un bajo consumo de batería, ser ligera en términos de espacio ocupado en el celular, y funcionar en una gama amplia de dispositivos Android. Muévelo reduce el consumo de energía, a través de un algoritmo de muestreo adaptativo que cambia de acuerdo con el tipo de movimiento y el cambio de localización. Adicionalmente, funciona en modo offline con sincronización oportunista vía WiFi, para habilitar la recolección de datos incluso en dispositivos que no tienen plan de datos. Pensando en la población objetivo del Caso TransMiCable, se realizaron diversas pruebas para validar lo anteriormente mencionado. Muévelo se instaló y ejecutó exitosamente en 10 dispositivos móviles de diferentes gamas, marcas, y versiones de Android, que no poseían un plan de datos y solo podían sincronizarse vía WiFi. Los dispositivos fueron entregados a personas para validar diversos trayectos y tipos de movimientos en Bogotá. Los participantes confirmaron que la información recolectada era acorde a las rutas realizadas en el día. Además, notificaron que el consumo de batería no tuvo gran impacto, comparado con otras aplicaciones de rastreo de movimientos como Moves. Comparado con métodos de recolección manual, Muévelo reduce la probabilidad de error y pérdida de datos. Muévelo incluye un motor de analítica que procesa los diarios de viaje registrados con la aplicación móvil, con el fin de identificar rutas de los usuarios, lugares frecuentes, tiempos de desplazamiento y permanencia, entre otras medidas de interés. La combinación de recolección de datos pasiva (mediante dispositivos móviles) y análisis centralizado a-posteriori, permite tener información objetiva para medir cambios generados por transformaciones en sistemas de transporte. Muévelo ha sido una herramienta clave para la toma de datos y análisis, que permitió reducir los costos de forma significativa e incrementar la calidad de datos. Muévelo podrá ser usado en Colombia y Latinoamérica para potenciar los estudios de transporte, como alternativa a los diarios manuales de viaje, garantizando mayor precisión en los datos obtenidos.

\*mi.arevalo10@uniandes.edu.co

## Diseño y optimización de un modelo matemático para el cambio de planes de los tiempos de reparto de los semáforos

Autores: R Peñabaena-Niebles<sup>1\*</sup>, V Cantillo<sup>2</sup>, J L Moura<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento Ingeniería Industrial, Universidad del Norte, Colombia. <sup>2</sup>Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Norte, Colombia. <sup>3</sup>Departamento de Transporte, Universidad de Cantabria, España

La creciente demanda de transporte y el consecuente incremento en los flujos de tráfico en las ciudades han exacerbado las externalidades asociadas: congestión, retrasos, colas, aumento del tiempo de viaje, accidentes y problemas ambientales. En respuesta, uno de los principales objetivos del Control de Tráfico Urbano es mejorar la progresión en los corredores; de ahí que este se ha convertido en una de las principales herramientas para aliviar los problemas del tráfico y mejorar la movilidad en las ciudades. La coordinación de las señales de tráfico y optimización de planes de semaforización, junto con mejoras en la fase de transición son algunos de los instrumentos que se utilizan para lograr esta meta. La fase de transición se define como el proceso de cambiar de un plan de semaforización o de tiempos de semáforos a otro. Este proceso puede incluir cambios en el desfasamiento (offset), en los tiempos de verde y/o en la duración del ciclo hasta que se alcanza plena coordinación con el nuevo plan. Como se ha señalado en la literatura, la transición o cambio entre los planes de tiempo de los semáforos pueden conducir a graves interrupciones en el flujo de tráfico provocando congestión y costos asociados con el tiempo adicional de viaje, el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. A pesar de la importancia del desempeño de la transición, hay un número limitado de estudios dirigidos a la optimización de la eficacia de las medidas operativas durante este periodo utilizando modelos matemáticos. Éstos incluyen sólo una medición de la eficiencia como objetivo de optimización, lo cual es visto como una desventaja ya que se requieren métodos más rigurosos, que permitan ejecuciones que se asemejen a las condiciones existentes. En consecuencia, hay una oportunidad para diseñar nuevos modelos matemáticos que proporcionen soluciones al problema de la transición al optimizar simultáneamente más de una medida de eficiencia mediante el uso de técnicas de solución avanzadas. En atención al problema descrito, la presente investigación propone el diseño de un modelo matemático no lineal para mejorar el rendimiento de la transición entre los planes de frecuencia de la señal en las intersecciones coordinadas. El modelo comprende la minimización de una función de costos sociales, que incluye una reducción en la demora, las emisiones de gases y el consumo de combustible, considerando múltiples objetivos que adoptan más medidas de efectividad. Para resolver el modelo matemático se diseña un algoritmo (heurística) de colonia de hormigas que permite encontrar los parámetros óptimos de coordinación durante la fase de transición. Además, la evaluación de la eficacia del nuevo modelo, su validez y utilidad se han comprobado mediante su aplicación en dos casos de estudios y un caso real para un corredor en la ciudad de Santander. Esta evaluación se realizó sobre la base de la capacidad del modelo para reducir al mínimo los retardos, las emisiones de contaminación del aire y el consumo de combustible.

---

\*rpena@uninorte.edu.co

## Efecto de la localización de equipamientos sobre viajes peatonales en Bogotá

Autores: H A Ortiz-Ramírez<sup>1\*</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes, Colombia

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil y ambiental Universidad de los Andes

**Introducción.** Para identificar la manera en que ciertos factores tienen efectos sobre la atracción de viajes peatonales, tradicionalmente se han utilizado modelos de regresión lineal. En este caso el factor de análisis es la cantidad de equipamientos urbanos (educacionales, culturales, de seguridad, de culto, entre otros) por zona de análisis y su relación con la cantidad de viajes peatonales que llegan a cada una de estas zonas. Sin embargo, las regresiones lineales no necesariamente consiguen capturar los efectos de la distribución de los equipamientos en el territorio. **Objetivos:** (1) Identificar la relación existente entre los conteos de equipamientos urbanos (n=7079) con los conteos de viajes peatonales (n=12.200), según sector del equipamiento (n=8), su escala (n=4) e índice de entropía o diversidad (n=2) en 728 zonas de análisis en Bogotá. (2) Identificar si la distribución de los equipamientos en la ciudad justifica el uso de una metodología de regresión geográficamente ponderada (GWR) para mejorar el poder explicativo de la relación mencionada antes. Y (3) revisar si la aplicación de un modelo GWR mejora la explicación de la relación estimada con un modelo lineal estándar. **Metodología:** Se realizó una división del área urbana de Bogotá en 728 celdas para realizar el conteo de equipamientos según su tipo de sector y de escala. Se estimaron dos índices de entropía para cada celda. En cada una, además, se realizó un conteo de viajes peatonales atraídos. Con estos datos se construyó un modelo de regresión lineal multivariado ( $y$ =volumen de viajes atraídos) y una regresión stepwise que permitió identificar los tipos de equipamientos y entropías que, con mayor significancia, se asocian a los conteos de viajes atraídos. Se realizaron test de I de Moran y de distribución geográfica que permitieron concluir que los errores generan clústeres, lo cual según Fotheringham, Brunson, & Charlton (2002) implica que los datos podrían modelarse con una aproximación GWR para normalizar la distribución del error. Se realizó una regresión GWR con las variables más significativas, obtenidas en el modelo global y se estimaron indicadores de ajuste comparables con los de la regresión lineal para verificar si se mejoró el poder explicativo. **Resultados:** El modelo lineal de regresión stepwise permitió identificar que los equipamientos de escala urbana y sector abastecimiento de alimentos, cultural y educativo son los que con mayor significancia explican los viajes peatonales atraídos por zona de análisis. El R<sup>2</sup> corregido de este modelo fue 0.37. Con el modelo GWR, para las mismas variables, se estimó la distribución de coeficientes en el territorio y se consiguió un R<sup>2</sup> corregido = 0.64, esto es 0.27 superior al R<sup>2</sup> corregido del modelo lineal. Además, otros indicadores como el AIC el AIC corregido, el RSS y el CV del error también mejoraron respecto al modelo lineal. **Conclusión:** Cuando se intenta explicar el volumen de viajes peatonales atraídos en relación a la cantidad de equipamientos por zona de análisis en Bogotá, el modelo GWR consigue mejorar la explicación del modelo lineal estándar, ya que incluye la varianza asociada a la distribución geográfica.

\*ha.ortiz10@uniandes.edu.co

## Equidad en función de la accesibilidad a la oferta de servicios de salud y al sistema de transporte

Autores: J Asprilla López<sup>1</sup>, C Jaramillo Molina<sup>1\*</sup>, J Murillo Hoyos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Colombia

El servicio de salud es considerado un servicio público y es un indicador de bienestar. La falta de acceso al sistema de salud normalmente desencadena procesos de exclusión y desigualdad social. El propósito de este trabajo es valorar la accesibilidad a los servicios de salud para la población Sisbén (población seleccionada como beneficiarios para programas sociales), considerando la oferta de movilidad que ofrece el sistema de transporte masivo implementado en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, SITM-MIO y de esta forma evaluar la equidad social en términos de dos servicios públicos prioritarios: salud y transporte. A partir de la ponderación de un indicador de gravedad con un indicador topológico se desarrolló una medida global de la accesibilidad y se calcularon los niveles de accesibilidad para cada centroide de barrio. El indicador de gravedad calcula la atracción de un lugar y la demanda potencial del servicio en la ciudad, multiplicado por una función que representa el costo o impedancia de desplazarse entre el punto de la oferta y la demanda. El atractivo del lugar, en este caso la capacidad instalada del recurso físico, se entiende como la mayor cantidad de servicios que puede ofrecer una institución considerando su infraestructura física. La accesibilidad total de cada barrio a los servicios de salud públicos corresponde a la sumatoria de los valores de accesibilidad que representa cada punto de atención. Los resultados obtenidos son normalizados por el método de máximos y mínimos y son empleados para estimar qué tan equitativo es el acceso a los servicios de salud, mediante el índice de Gini. El indicador topológico se calculó como un índice de provisión de transporte per cápita para cada barrio que considera su población, los diferentes modos y/o servicios de transporte disponible, el número de paradas según modo de transporte, factores de ponderación por la capacidad del modo, los vehículos respectivos y la frecuencia de paso de cada modo. Los valores de accesibilidad obtenidos son representados cartográficamente y analizados en función de las características socioeconómicas de los barrios. Los resultados demuestran que el acceso a los servicios de salud es mayor para los habitantes de estratos medio-bajo y bajo, mientras que el transporte brinda mayor facilidad en los barrios de estratos altos. Con esta medida de acceso global se identifica que los valores de ponderación a favor del transporte generan una pérdida de accesibilidad en gran parte del territorio, causando un mayor impacto en los barrios de estratos bajo y medio (1, 2 y 3), atribuido al contraste que presentan la oferta de los dos servicios en la ciudad. Los resultados encontrados advierten de la desigualdad existente en algunos barrios y sectores de la ciudad, y aportan elementos que pueden ser considerados en un futuro para la planificación de estos servicios, buscando la inclusión de todos los habitantes de la ciudad.

---

\*ciro.jaramillo@correounivalle.edu.co



## Estado del arte del uso de patinetas eléctricas (Scooters) como aporte a la movilidad en las ciudades

Autores: C A Kaffure Ruiz<sup>1\*</sup>, J G Zuluaga Villermo<sup>2</sup>, A E Francel Delgado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Docente Universidad del Tolima y Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia.

<sup>2</sup>Docente Universidad de Ibagué, Colombia. <sup>3</sup>Docente Universidad del Tolima

En los últimos años los vehículos eléctricos han tomado fuerza en muchas ciudades del mundo. Ya sea por los problemas de la congestión o por convicción ecológica, las personas se han pasado a la movilidad eléctrica y prefieren comprar vehículos eléctricos o híbridos con el fin de hacer su aporte a la sostenibilidad. En la actualidad la gama de bicicletas de pedaleo asistido y las patinetas eléctricas o *scooters* se están abriendo un mercado tanto en las ventas a particulares como en los sistemas de uso compartido. Estas últimas (patinetas eléctricas) han tomado fuerza en algunas ciudades de Norte América y Europa y recientemente han llegado a nuestro país. El objetivo de esta presentación es mostrar un resumen del estado del arte de las últimas publicaciones en revistas indexadas y de publicaciones en periódicos y publicaciones web con respecto al uso de estos dispositivos como medio de transporte. La metodología realizada es la búsqueda en bases de datos especializadas (Web Of Science; Scopus) y publicaciones de periódicos o páginas web donde se hable del uso de los *Scooters* como medio de transporte. Se analizó la información de carácter científico de los últimos años con las noticias con el fin de determinar las diferencias entre estos y el impacto que este tipo de vehículos tienen en la movilidad de las ciudades. Se analizan las noticias debido a que muchas veces tocan temas diferentes a lo establecido en artículos con rigor científico pero importantes para hacer un análisis. Los resultados muestran que en las ciudades donde llegan estos vehículos presentan un rápido crecimiento, seguido por la presencia de empresas de vehículos de uso compartido que muchas veces, ingresan con gran cantidad de vehículos en su mayoría sin estaciones (*dockless*). La presencia de un nuevo medio de transporte hace que la informalidad y en otros casos la falta de normativa haga que el sistema a pesar de ayudar mucho a la sostenibilidad y a la movilidad se pueda salir de control o presente aumentos en la accidentalidad. Estos vehículos son un gran aporte a la movilidad y la sostenibilidad debido al poco espacio que ocupan, las velocidades que puede desarrollar y la cantidad de gases y partículas contaminantes que dejan de emitir. Las normativas para estos vehículos se están estableciendo a nivel de ciudades lo que hace que los usuarios presenten confusiones o problemas al usar este tipo de patinetas en lugares distintos al de su residencia. En este sentido es fundamental establecer normativas claras a nivel nacional. Aunque los sistemas de uso compartido sin estaciones (*dockless*) han demostrado ser de gran ayuda, es importante regular el número de patinetas que se establecen por ciudad y el número de empresas que pueden prestar el servicio con el fin de no perder el control en el transporte.

---

\*carkaffure@ut.edu.co

## Estimaciones de impacto del día sin carro y sin moto en Ibagué sobre los patrones de movilidad en los años 2018 y 2019

Autores: J G Zuluaga Villermo<sup>1</sup>, C A Kaffure Ruiz<sup>2</sup>, J S Restrepo Gómez<sup>3\*</sup>, C Murillo Bocanegra<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Docente del Programa Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia.

<sup>2</sup>Docente Universidad del Tolima y Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia.

<sup>3</sup>Estudiante Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia.

<sup>4</sup>Estudiante Ingeniería Civil, Universidad de Ibagué, Colombia

Por el uso desmedido de transporte individual motorizado que se va incrementando exponencialmente al pasar de los años, el transporte público de pasajeros se ha relegado por falta de planificación y orden, por lo que la problemática va aumentando. Para hacer frente a estos hechos, normalmente de una manera reactiva, algunas ciudades han implementado un día sin carro y sin moto al año. Si bien el Día sin carro y sin moto suele tener un cubrimiento mediático importante, no se realiza un seguimiento a los patrones de movilidad de ese día en particular, en comparación con un día normal; ni tampoco al potencial impacto que tiene la actividad para motivar cambios modales en los hábitos de transporte de los ciudadanos. Este artículo presenta una evaluación de esos patrones durante el día sin carro y sin moto de febrero de 2018 y 2019 en Ibagué mediante diferentes técnicas. Para este análisis se realizaron conteos de volúmenes de transporte motorizado y no motorizado, estudios de ocupación visual a transporte público individual y colectivo y un seguimiento a las velocidades de los mismos. Igualmente se realizó una estimación de la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) conseguida durante la jornada, como consecuencia del cambio modal inducido con las restricciones. La bicicleta y el transporte público colectivo constituyen los principales medios de sustitución modal a los que recurren los ibaguereños durante la jornada del día sin carro y sin moto. Así se desprende del estudio en el día en que se implementa la restricción vehicular, un 31% más de los ciudadanos recurre a medios no motorizados para desplazarse, mientras que 7% más lo hace empleando transporte público individual. En el comparativo entre un día sin carro y una jornada habitual, destaca el hecho de que el transporte público colectivo sea la única alternativa disponible que se reduce en un 5%. Sobre los usuarios de vehículos particulares y motocicletas el informe permite establecer las siguientes variables: En el primer caso, 38% sustituye su medio habitual de transporte por el taxi, 38% más prefiere caminar y un 23% apela al transporte público colectivo. Los motociclistas, por su parte, en un 51% reemplazan su automotor por transporte público colectivo, bicicleta (21%) y desplazamientos a pie (19%). Como conclusiones se denota que en términos de impacto ambiental y beneficios sobre el medio ambiente, las mediciones reflejan una disminución del 32% en las emisiones de CO<sub>2</sub> y 17% en material particulado. Resultados que podrían mejorar si se optimizara la oferta disponible en la flota de transporte público individual y colectivo. Los taxis llegan a movilizar 20.806 pasajeros, en tanto que buses y busetas transportan alrededor de 59.290 usuarios. Sin embargo, cuando se revisa el promedio de pasajeros por vehículo, en el caso de los taxis, este indicador apenas llega a 1.16 por cada viaje, es decir, menos de dos pasajeros, lo que sugiere una oportunidad para pensar en compartir recorridos. Respecto al transporte público colectivo, el promedio es de 17.5 personas por automotor. El Día sin carro y sin moto se lleva a cabo el miércoles de la segunda semana del mes de febrero y miércoles de la tercera semana de septiembre, según lo definió el consejo de Ibagué haciéndolo regir mediante el Decreto 0090 de 12 de febrero de 2018 y el Decreto 0109 de 11 de febrero de 2019.

\*2520151050@estudiantesunibague.edu.co



## Estudio de la operación de carga y mensajería con vehículos motorizados en la localidad de la Candelaria

Autores: E A Velandia Durán<sup>1\*</sup>, K J Almanza Torres<sup>1</sup>, A C Rincón Rivera<sup>1</sup>, J P Rojas Suárez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Francisco de Paula Santander

La gestión de carga en zonas urbanas es una actividad indispensable para garantizar las dinámicas económicas y sociales que se desarrollan diariamente. La zona histórica de Bogotá no es ajena a este reto. Bajo este hecho, este proyecto comprendió una primera fase que incluía la identificación y revisión de la normativa; en la segunda fase se realizó el reconocimiento del plan de operación de carga y mensajería, la medición de situaciones de incumplimiento de la norma y el análisis de información recopilada de comerciantes y transportadores sobre la gestión de carga. Con relación al caso, el decreto existente prohíbe el cargue y descargue en horarios diurnos en el sector de la localidad de La Candelaria, mientras que a los vehículos con peso bruto máximo de 3.5 toneladas se les permite entre las 20:00 y las 08:30 horas. Dicha actividad solo se permite en los sitios expresamente demarcados por las autoridades. Analizando estas restricciones se evidenció una problemática por el no cumplimiento del Decreto por parte de las empresas transportadoras y por las autoridades ya que en la Localidad no se tienen sitios demarcados para estas actividades. También el desconocimiento por parte de comerciantes y transportadores de la norma debido a la no socialización de la misma. Al analizar los resultados de las visitas se encuentra que la mayoría de los vehículos de carga que estaban realizando su actividad de cargue/descargue se hallaron en las horas de la mañana. Se realizaron encuestas a 100 comerciantes y 25 transportadores. Con relación a las encuestas se encontró que el lunes es el principal día para recibir mercancías (35%); el restante de días es similar la recepción de carga. Con relación a los horarios de recepción se encuentra que la mercancía llega principalmente en horas de la mañana, sólo un 9% se recibe después de las 17:00 horas y un 17% a cualquier hora del día. Por otra parte, la mercancía que llega a la localidad de La candelaria en un 56% es en empaquetadura, y el restante 44% restante se despacha suelta. El 45% de las personas encuestadas hacen sus pedidos por medio de llamadas a las empresas proveedoras, el 29% afirmó que lo hace directamente en el carro repartidor del producto y el 26% utiliza el agente comercial. Se observa que el tiempo entre 10-15 minutos es el más representativo. En la zona, los tipos de vehículos de carga y mensajería que se más se utilizan son el furgón con 25.5%, seguido de camiones con el 20.4%. Es importante destacar que en la zona se emplean bicicletas de carga, triciclos de carga y motocicletas adaptadas para carga. Asimismo, el 25.46% de los vehículos que llegan al sector pesan 2.5 toneladas, el 20.4% son vehículos de 2 toneladas e igual porcentaje para vehículos con carga de 1 tonelada. Se observa que las acciones para la gestión de carga deben ser integrales y complementarias al decreto. La articulación del sector privado de transporte y comercial, la gestión del espacio en vía, horarios de servicios articulados con las necesidades de la gestión de la carga, la cultura ciudadana, centros logísticos de última milla, controles con cámaras, nuevos vehículos y con tecnologías menos contaminantes, son algunas de las estrategias a ser consideradas en la zona.

\*evelandiad@unisalle.edu.co – ingeavd@gmail.com

## Evaluación de las emisiones vehiculares de no escape de $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$ asociadas al sistema de transporte público de Santa Marta, Colombia

Autores: M J Castillo Viana<sup>1</sup>, H Campo Beltrán<sup>1</sup>, A M Vélez-Pereira<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación y Modelación de Sistemas Ambientales, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. <sup>2</sup>Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia

En el entorno urbano, la flota vehicular se establece como una de las principales fuentes de emisión de material particulado, asociado a la combustión –emisiones de escape: EVE–, y los procesos de rodadura –emisiones de no escape: EVNE–. Estas últimas denotan mayor importancia debido a la ausencia de medidas de control y su omisión en los inventarios de emisión, llegando a aportar hasta un 50% de las emisiones de material particulado atmosférico. Por tanto, se buscó cuantificar las EVNE de material partícula inferior a 10 micras ( $PM_{10}$ ) y 5 micras ( $PM_5$ ) en la ciudad de Santa Marta, asociadas al transporte público de la ciudad. Para ello se seleccionaron 13 puntos ubicados sobre las vías principales donde se realizaron aforos vehiculares y determinación de finos presentes en la sección transversal de la vía. Las muestras fueron realizadas en tres momentos del día durante las horas de mayor afluencia vehicular (mañana, medio día y tarde) y en dos momentos en la semana (laboral y no laboral). La estimación de las emisiones se realizó mediante los factores de emisión de la *Environmental Protection Agency* y la *European Environment Agency* teniendo en cuenta el tipo de vehículo y el tipo de vía. Los resultados muestran que en la flota de transporte público predominan los taxis (75%) y la cantidad promedio de finos sobre las vías es de  $461,9 \text{ mg/m}^2$ ; asimismo el valor promedio de emisión por resuspensión es de  $10,57 \text{ g/h}$  para  $MP_{10}$  y  $2,55 \text{ g/h}$  para  $MP_{2.5}$ , mientras que para abrasión se reportan  $0,45$  y  $0,24 \text{ g/h}$ , respectivamente. Los valores máximos de emisión se presentaron en la Avenida del Libertador, donde los buses son el tipo de vehículo que mayor contribuye en las emisiones por resuspensión, posiblemente por el peso del vehículo; mientras que los taxis, contribuyentes mayoritariamente en las emisiones por abrasión, posiblemente por el alto número de este tipo de vehículos que hacen parte del sistema de transporte público de Santa Marta. Finalmente, las variables de jornada y día de la semana no mostraron una influencia significativa en las emisiones de no escape; no obstante, se evidencia la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las emisiones por resuspensión, presentando mayores concentraciones en los meses de agosto y septiembre, donde la precipitación y la humedad relativa presentaron los mayores valores.

\*avelez@utb.edu.co

## Experiencia de Ibagué como única ciudad colombiana beneficiaria de Euroclima+ para implementar un sistema de bicicletas públicas de pedaleo asistido

Autores: M K J Camacho Charry<sup>1\*</sup>, C A Kaffure Ruiz<sup>2</sup>, A E Francel Delgado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Directora de Planeación del Desarrollo de la Alcaldía de Ibagué, Colombia.

<sup>2</sup>Docente Universidad del Tolima y Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia.

<sup>3</sup>Docente Universidad del Tolima

Euroclima+ es un programa financiado por la Unión Europea, que ofrece una amplia gama de servicios especializados orientados a apoyar la implementación de los compromisos del Acuerdo de París en el ámbito de la gobernanza climática, del financiamiento y la asistencia técnica para la ejecución de proyectos con los países latinoamericanos. Ibagué fue la única ciudad de Colombia escogida por Euroclima+ para desarrollar un proyecto de movilidad urbana sostenible. El objetivo es implementar un sistema de bicicletas compartidas de pedaleo asistido, adecuado a las condiciones climáticas y topográficas que tiene la ciudad de Ibagué. El sistema de bicicletas compartidas invitará a la población a tomar este modo de transporte para recorridos de corta distancia de manera cada vez más frecuente, captando con ello nuevos usuarios y constituyéndose a su vez en una alternativa de desplazamiento para los turistas. Este sistema servirá como modelo para otras ciudades del país y la región, ya que será el primero que usará flota con asistencia eléctrica incluyendo bicicletas de carga y triciclos eléctricos para las personas con movilidad reducida. El proyecto comprende el diseño, construcción e implementación de la primera etapa del sistema de bicicletas públicas de la ciudad. Esto incluye el diseño y compra de estaciones y bicicletas, los estudios y diseños que soporten los criterios técnicos, legales y financieros para la implementación, así como el modelo de marketing, el plan de medios, y el plan de capacitación al personal vinculado con el proyecto. En total se espera adquirir aproximadamente 160 bicicletas, de las cuales el 50% serán de pedaleo asistido. También 1 triciclo de pedaleo asistido para adulto por estación, esto para que el sistema sea más incluyente con personas que tiene algún tipo de lesión, discapacidad, personas de la tercera edad, mujeres en estado de embarazo o personas que no saben montar en bicicleta, y una bicicleta de carga por estación para personas que tienen que realizar labores donde lleven paquetes grandes, niños o mascotas. De acuerdo con experiencias nacionales e internacionales, el éxito del sistema de bicicletas compartidas radica en la densidad de puntos de recepción/entrega de las bicicletas y la proximidad de los mismos con los principales equipamientos o zonas de comercio y servicio, motivo por el cual se plantea una red densa en las zonas de mayor atracción de viajes. Por esta razón se ha establecido preliminarmente un polígono de intervención que tiene como punto de partida el centro cultural y administrativo de la ciudad. Se espera que la distancia entre estaciones sea mínima de 400 metros y máximo de 800 metros. Para establecer la ubicación de las estaciones de bicicletas se tomaron como referencia las zonas generadoras de viajes y atractores de viajes obtenidos como resultado de la encuesta origen destino que se realizó en el Plan Maestro de Movilidad. Este es un proyecto que busca sistematizar la información para generar replicabilidad del piloto en ciudades similares a Ibagué. Las estaciones cuentan con diferentes tipos de bicicletas con el fin de brindar el servicio a personas con algún tipo de discapacidad o lesión donde se incluyen bicicletas de carga y triciclos eléctricos. Se cuantificará la reducción de la huella de carbono con el proyecto y se aportará por medio suyo a los compromisos del país ante la cooperación internacional.

\*kellyjohancamacho44@gmail.com

## Factores determinantes para la selección de modo auxiliar para acceder a TransMilenio

Autores: D Paris<sup>1\*</sup>, A Rodríguez-Valencia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Consultant en Steer, Colombia. <sup>2</sup>Profesor Asistente en la Universidad de los Andes

El proyecto tiene como objetivo general determinar los factores que influyen en la decisión de tomar un modo específico para ingresar a las estaciones de TransMilenio de la Troncal Norte. Esto con el fin de estudiar el fenómeno de *first-mile* y *last-mile*. Para lograrlo se hicieron 521 encuestas en las estaciones de Héroes, Calle 85, Calle 100, Calle 127, Alcalá, Toberín y Portal Norte. Se escogieron estas estaciones porque son las que más validaciones tienen y porque poseen características de entorno y actividades. En las encuestas se les preguntó a los usuarios por el modo en el que llegó o iba a salir de la estación, la duración y el costo de ese viaje, las alternativas que tenía para hacerlo, características del viaje en TransMilenio y características socioeconómicas del usuario. La información recopilada se analizó en tres partes. En primer lugar, se hizo un análisis estadístico general de la muestra, sacando proporciones y diferencias de medias a diferentes grupos. Más adelante, se hizo un análisis espacial de orígenes y destinos, partición modal y usos de suelo para cada una de las estaciones. Finalmente se hicieron modelos de elección discreta en los que se analizaron las variables de costo, tiempo, características socioeconómicas y características de los viajes. Al analizar los resultados se encontró que el costo y el tiempo del viaje son los factores que mayor impacto tienen en la decisión. También afecta el uso de suelo alrededor de la estación y la duración del viaje en TransMilenio. Se encontró que el modo preferido es la caminata y que en igualdad de condiciones con otros modos su probabilidad de uso sería la mayor. Con respecto a los orígenes y destinos se ve que la distancia a las estaciones tiende a aumentar a medida que se avanza hacia el norte en la Troncal, siendo las de puntos más dispersos Alcalá Toberín y el Portal Norte. Como conclusiones, se encontró que la modelación de elecciones discretas combinada con el análisis espacial y geográfico es una herramienta poderosa para el análisis del fenómeno de *first* y *last-mile*, ya que permite entender las decisiones y comportamientos desde diferentes frentes y sacar conclusiones más robustas.

---

\*d.paris10@uniandes.edu.co

## Influencia del tráfico vehicular en el ruido ambiental del corredor turístico de la ciudad de Santa Marta

Autores: D A Jiménez-Uribe<sup>1\*</sup>, D Daniels<sup>1</sup>, A M Vélez-Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación y Modelación de Sistemas Ambientales, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. <sup>2</sup>Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia

Dentro de las diversas actividades antropogénicas asociadas a la generación de ruido, el emitido por el flujo vehicular supera en gran medida el ruido de fondo, convirtiéndose en la fuente principal de contaminación acústica, incidiendo hasta en un 80 % del ruido ambiental total. El objetivo fue determinar la influencia del tráfico vehicular en el nivel de ruido ambiental del corredor turístico de la ciudad de Santa Marta. Se seleccionaron 5 puntos distribuidos en 12 km, tres en la periférica urbana y dos en suburbana. Se registraron la cantidad de vehículos y parámetros acústicos medio, mínimo, máximo, fondo y picos en dos jornadas (diurno y nocturno) y periodos (hábil y no hábil) diferentes. Los niveles de ruido ambiental se realizaron siguiendo la resolución 627 de 2006. El flujo vehicular promedio es de 966 veh/h conformado mayoritariamente por automóviles, con mayores valores en la periferia urbana. El nivel de ruido fue de 103.3 dBA, con un fondo de 87.2 dBA y picos de 107.3 dBA. El horario diurno fue mayor que el nocturno, pero sin diferencia entre los periodos. El análisis de varianza mostró una alta influencia del punto y jornada de muestreo en la cantidad de vehículos y el nivel de ruido. Los valores pico y medios de ruido se correlacionaron con la cantidad de automóviles, autobuses y vehículos de carga. Esto evidencia la influencia de la cantidad y tipo de vehículos en el nivel de ruido ambiental del corredor turístico del distrito.

---

\*damaris.jimenez@outloo.com

## Informalidad en el transporte urbano: causas, caracterización y efectos en la movilidad de las ciudades. Caso de estudio: Neiva, Colombia

Autores: L E González<sup>1</sup>, M A Castillo<sup>1</sup>, G Infante Malagón<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Cal y Mayor - Colombia

Los Sistemas Estratégicos de Transporte Público de las ciudades intermedias de Colombia atraviesan una profunda crisis estructural y financiera, reflejada en la pérdida progresiva de la demanda y la falta de implementación. Esta situación deficitaria se contrasta con la migración de usuarios a otras formas de movilidad, principalmente el transporte particular en motocicleta y el transporte informal, aumentando las tasas de contaminación, accidentalidad, inseguridad, congestión, ocupación indebida del espacio público, entre otras, causando una afectación a la sociedad en general y a la calidad de vida de sus habitantes. En este estudio se analiza el caso de Neiva, donde el mototaxismo ha pasado del 2% al 8% del mercado de viajes urbanos en la última década, mientras que el transporte público ha disminuido su participación modal del 30% al 15% en el mismo período de tiempo, con el objeto de determinar las causas y las consecuencias que ha tenido en la movilidad de la ciudad este fenómeno, así como la caracterización de las condiciones operacionales en las que se presenta el transporte informal versus el transporte público. En primer lugar, para conocer las causas que han derivado en el incremento del transporte informal se analizan las encuestas de preferencias reveladas aplicadas a usuarios del transporte público y el transporte informal, encontrándose como principales motivaciones para usar el transporte informal el tiempo de viaje, la comodidad y la versatilidad, mientras que factores como el costo y la seguridad presentan mayor relevancia para los usuarios de transporte público. En segundo lugar, a partir de las encuestas de preferencias reveladas y otros trabajos de campo complementarios (aforos, FOV, velocidades y validaciones) se caracterizaron las condiciones en las que operan actualmente el transporte informal y el transporte público en la ciudad, identificándose las condiciones de oferta, los patrones de viaje de la demanda, las características socioeconómicas de los usuarios y el paralelismo entre servicios. En tercer lugar, se evalúan las consecuencias que ha traído la informalidad en la movilidad de la ciudad, prestando especial atención al detrimento histórico en la oferta y calidad del sistema de transporte público colectivo y las implicaciones financieras que tendría a futuro para la sostenibilidad del SETP la prolongación de esta problemática. Finalmente, con base en los resultados de las encuestas de preferencia declaradas aplicadas a los usuarios del transporte informal, se evalúa un escenario futuro alternativo de implementación de medidas que mitiguen la informalidad y permitan recuperar parcialmente la demanda de pasajeros del transporte público colectivo, estimándose que estas medidas de mitigación disminuirían hasta en un 44% el déficit financiero del SETP de Neiva.

---

\*ginfante@calymayor.com.mx

## Mapeo colaborativo de transporte público urbano en Cartagena, Colombia

Autores: C E Vergel-Tovar<sup>1\*</sup>, M Villegas Carrasquilla<sup>2</sup>, E Pelaez<sup>2</sup>, M C Peñas<sup>3</sup>, D Toro González<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Rosario, Colombia. <sup>2</sup>Fundación Corona, Colombia. <sup>3</sup>Cartagena Cómo Vamos, Colombia.

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia

En el año 2005 se consolida el programa Cartagena Cómo Vamos (CCV) cuyo objetivo es hacer seguimiento y evaluación de la calidad de vida en la ciudad. CCV tiene como propósito contribuir a desarrollar gobiernos efectivos y transparentes, ciudadanías más informadas, responsables y participativas. Para esto, promueve el debate público para construir alternativas que mejoren la ciudad, incentiva a los gobiernos a generar y a entregar sistemáticamente información sobre su gestión y lidera espacios de análisis colectivo y de deliberación que permitan transformaciones positivas en la ciudad. Teniendo en cuenta lo anterior, CCV y la Universidad Tecnológica de Bolívar (UTB) han realizado procesos de recolección de datos de la oferta de transporte público en Cartagena. Los datos recolectados se han enfocado en establecer el desempeño del transporte público en cuanto a la estimación de los promedios y distancias de los viajes, la velocidad de los vehículos y la calidad del servicio, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones sobre el sector y ayudar a la ciudad a alcanzar una movilidad urbana sostenible. Después de 2016, el inicio de operaciones del sistema de transporte masivo de buses rápidos Transcaribe se constituyó en el nuevo foco de la recolección de datos, centrándose en la información sobre las troncales y terminales. En 2018, la Fundación Corona, en conjunto con CCV y la UTB, contactaron a la Universidad del Rosario (UR) para replicar la metodología de la Mapatón Bogotá con el propósito de recolectar datos de la oferta de transporte público formal e informal en Cartagena. El presente artículo describe la metodología y los resultados preliminares del proyecto Mapatón Colaborativo en Cartagena, el cual ha venido recolectando datos a través de aplicaciones móviles con el propósito de generar datos abiertos acerca de la oferta de transporte público formal e informal en la ciudad. El artículo incluye visualizaciones de los datos geo-referenciados y los análisis preliminares de la relación entre los datos de la oferta de transporte público en la ciudad y el proceso de ocupación y crecimiento urbano de Cartagena. Los datos georreferenciados de las rutas de transporte público se complementan con información generada por los operadores y usuarios acerca de la operación y la experiencia en cuanto a la calidad del servicio. El artículo busca diseminar la metodología de trabajo para que pueda ser replicada en otras ciudades intermedias para generar datos abiertos de la oferta de transporte público con participación ciudadana y generar sugerencias de política pública que, al incorporar estos insumos, permitan mejorar el diseño de la oferta del transporte público en la ciudad.

---

\*erik.vergel@urosario.edu.co

## Percepción del usuario del sistema de bicicletas públicas de la ciudad de Tunja a partir de modelos de elección discreta

Autores: D A Suárez<sup>1</sup>, J A Dueñas<sup>1\*</sup>, L X Pineda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Las ciudades colombianas presentan en su mayoría transporte público ineficiente, crecimiento acelerado de la flota automotriz, congestión de tráfico, aumento de partículas contaminantes, entre otros. Es así, como se han investigado estrategias para el fortalecimiento de medios alternativos de transporte. Los Sistemas de Bicicletas Públicas (SBP) han crecido recientemente debido a la facilidad de implementación y al éxito que han tenido en países pioneros en movilidad sostenible. Tunja es una ciudad en la que se moviliza gran cantidad de estudiantes al día, debido a esto se ve la necesidad de incorporar nuevos modos de transporte alternativos como el plan piloto de bicicletas públicas BICITUNJA, que se lanzó desde noviembre de 2017 hasta abril de 2018. Este proyecto busca determinar la disposición a utilizar el sistema por parte de los usuarios y reconocer las necesidades en la mejora de la operación del préstamo. Mediante la información obtenida sobre el SBP en la ciudad de Tunja, se realizan encuestas de preferencias declaradas vía web a los usuarios inscritos en el sistema comparando el TPCU y el SBP que pretenden identificar la elección de modo a partir de la evaluación de algunos atributos de elección mediante modelos tipo MNL. Los resultados exponen que las variables de edad y sexo no presentan variabilidad de elección, es decir, son factores que no influyen en la decisión de utilizar el sistema de bicicletas. Por otro lado, la ocupación es un componente que sí presenta variabilidad a la hora de elegir, es así como los usuarios que no perciben ingresos presentan mayor atracción al SBP BICITUNJA, en gran medida porque su uso es gratuito. Finalmente, se determinó que para el usuario es más atractivo usar el SBP que el TPCU.

---

\*Jennifer.duenas@uptc.edu.co



## Propensión al uso de la bicicleta en Bogotá, Colombia

Autores: P A Uriza<sup>1\*</sup>, D Higuera<sup>2</sup>, S Cabrales<sup>1</sup>, A Medaglia<sup>1</sup>, O L Sarmiento<sup>2</sup>, A Auchincloss<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada (COPA), Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia). <sup>2</sup>Facultad de Medicina, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia). <sup>3</sup>Urban Health Collaborative, Drexel Dornsife School of Public Health, Philadelphia, USA.

<sup>4</sup>Department of Epidemiology and Biostatistics, Drexel Dornsife School of Public Health, Philadelphia, USA

Varios estudios han demostrado los beneficios de movilizarse en bicicleta para la salud, algunos de ellos son la promoción de la actividad física, la prevención de enfermedades no transmisibles y la reducción del estrés percibido. Adicionalmente, se ha señalado que la bicicleta es un medio de transporte sostenible debido a su reducción en las emisiones de carbono, bajo costo y reducción del tráfico. Por esta razón, muchos gobiernos y agencias de salud pública han abogado por la bicicleta como un modo de transporte saludable y sostenible. Durante las últimas dos décadas, Bogotá ha experimentado una dramática transformación económica y urbana. Como resultado, el porcentaje de viajes en bicicleta aumentó de 0.8% en 1995 a 5.2% en 2015. En este contexto, Bogotá propuso una estrategia llamada Plan Bici, cuyo objetivo es convertir a Bogotá en la capital latinoamericana de la bicicleta para el año 2027. Los resultados de este estudio informarán sobre posibles estrategias que podrían dirigirse para promover la bicicleta como medio de transporte en la ciudad. Nuestro objetivo es analizar la tendencia del número estandarizado de personas que viajan en bicicleta por cada 100.000 habitantes, por sexo, para el período 2005 - 2017 en Bogotá y evaluar los factores sociodemográficos y del ambiente físico construido que están asociados con los viajes en bicicleta en Bogotá en el 2015. Para estudiar la tendencia, realizamos un análisis de tendencias basado en cinco encuestas gubernamentales diferentes y estandarizamos por 100.000 habitantes utilizando el pronóstico de población para la ciudad de Bogotá. Adicionalmente, para determinar la magnitud y la asociación de los factores sociodemográficos y del ambiente físico construido con los viajes en bicicleta, realizamos un análisis de corte transversal basado en los datos de la Encuesta de Movilidad de 2015. Utilizamos modelos aditivos generalizados (GAM), estratificados por sexo, origen, ruta y destino. El análisis de tendencia evidencia un aumento del número de bicisuarios estandarizado por la población general de Bogotá a través de los años (Hombres:  $p < 0.001$ , Mujeres:  $p < 0.001$ ). Sin embargo, su comportamiento varía entre sexos (Hombres: aumento de 5.313 bicisuarios/100.000 hab y Mujeres: 1.318 bicisuarios/100.000 hab). La propiedad de vehículos motorizados (Hombres: OR:0.31,  $p < 0.001$ ; Mujeres: OR:0.36,  $p < 0.001$ ) y de licencia de conducción para vehículos diferentes a moto (Hombres: OR:0.39,  $p < 0.001$ ; Mujeres: OR:0.45,  $p < 0.001$ ) está negativamente asociada con la propensión a viajar en bicicleta independiente del sexo, origen, ruta, o destino. Mientras que para los hombres la ocupación de empleado está positivamente asociada al uso de la bicicleta (OR:2.2,  $p < 0.001$ ), en las mujeres se evidenciaron características de la infraestructura como la longitud de CicloRutas en el destino (OR:1.37,  $p < 0.001$ ). La propensión al uso de la bicicleta varía según la proporción de vías con nivel de estrés alto para hombres (smooth,  $p < 0.001$ ), mientras que no presenta una relación significativa en las mujeres (smooth,  $p = 0.58$ ). Estos resultados evidencian que los factores asociados al uso de la bicicleta difieren entre hombres y mujeres y se deben considerar estas diferencias para la promoción de su uso en Bogotá.

\*pa.uriza274@uniandes.edu.co

## Representaciones mentales de palabras relacionadas con el transporte y el tránsito en personas con deterioro visual

Autores: P Vázquez-Miraz<sup>1\*</sup>, C Caicedo<sup>1</sup>, A Quintana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Bolívar (Colombia)

El ser humano proyecta en sus pensamientos una serie de imágenes mentales, que de manera secuencial le otorgan significado a las palabras, frases y discursos. Esta capacidad para recrear representaciones imaginarias orienta un gran número de actividades durante el desarrollo del hombre, que inmerso en diferentes contextos se vale de ellas no solo para codificar visualmente el mundo que lo rodea, sino que también le permite orientarse y moverse con cautela y sagacidad dentro del mismo. La movilidad de un individuo es una habilidad de gran complejidad que requiere el funcionamiento de muy diferentes procesos psicológicos; teniendo que suplir los invidentes el sentido de la vista y sus funciones con otros elementos para llevar a cabo este proceso básico para la vida diaria. En el presente estudio exploratorio se analizaron las representaciones mentales de palabras concretas y abstractas cuya temática giraba alrededor de la movilidad y el transporte en personas con severos daños en la visión, residentes todos ellos de la ciudad de Cartagena de Indias (N = 10), a los que se le presentaron una treintena de palabras (quince abstractas y quince concretas, las cuales fueron previamente evaluadas por especialistas en psicología cognitiva); posteriormente se le demandó a la muestra que hiciera una descripción lo más detallada posible de los mencionados ítems. Los resultados indicaron que la mitad de los participantes se encontraron con una alta dificultad a la hora de representar palabras abstractas y concretas relacionadas con la movilidad y el transporte cotidiano. Los invidentes poseen el significado de objetos y palabras sobre transporte y movilidad, pero no todos consiguen una nítida imagen mental que corresponda de manera fehaciente a su significado por la falta de conocimiento y/o formación; lo que conduce a la imaginación errónea y recreación falsa de obstáculos que pueden ser generados por las palabras que escuchan y filtran a diario en su transporte lo que puede ocasionar graves accidentes de tránsito.

---

\*pvasquez@utb.edu.co

## Transporte activo: estudio de caso para Cajicá, Colombia

Autores: C A Uribe-Vargas<sup>1\*</sup>, H E Rivera-Arévalo<sup>1</sup>, L A Velásquez-Fandiño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

El transporte activo se define como cualquier modo de transporte, cuya fuente de movimiento es humana. Sus ejemplos más representativos son el ciclismo, atletismo y la caminata, los cuales son usados para hacer viajes e ir al trabajo desde la casa, basados en destinos, recreación y ejercicio. Adicionalmente, el uso del transporte activo tiene implicaciones en la salud humana, en el medio ambiente y en aspectos socioeconómicos. Por ello, el grado de uso de la bicicleta en una comunidad determinada, depende de las políticas, programas e infraestructura en un lugar específico. En ese sentido, el municipio de Cajicá tiene políticas, programas e infraestructura que buscan promover el transporte activo en sus habitantes, sin embargo, un plan formal para la promoción de esta modalidad de transporte está aún ausente. Por tanto, este trabajo planteó la hipótesis: si se consideran las características socioeconómicas, de salud y de transporte en una muestra aleatoria de habitantes de Cajicá, se podría establecer los lineamientos para un modelo de transporte activo para ese municipio. El objetivo general fue proponer los parámetros de un modelo de transporte activo para Cajicá, considerando sus políticas, programas, infraestructura y habitantes. En ese sentido, para establecer los requerimientos de transporte activo, se aplicó una encuesta con muestreo aleatorio simple a ciclistas y caminantes en horas pico. También se hizo una caracterización de la infraestructura de ciclorrutas del municipio, para determinar su estado y criterios urbanísticos para mejorarla. Finalmente, se analizaron los dos últimos planes de desarrollo municipales, el plan de ordenamiento territorial y el plan territorial de salud, para evidenciar la promoción del transporte activo a nivel municipal. Los resultados marcaron los siguientes aspectos: en salud, considerando el ciclo vital y el índice de masa corporal, señalaron incidencias de sobrepeso en los habitantes, lo cual, representa una oportunidad de establecimiento de políticas públicas de salud, para mitigar y prevenir sus efectos primarios y secundarios; respecto a la movilización, el transporte activo (ciclismo y caminata) fue la mayor forma de movilización (83%), en comparación con el transporte motorizado (17%); salarialmente, el 89% mostró ingresos, como máximo, un salario y medio mínimo legal vigente para 2018; finalmente, las principales motivaciones para practicar transporte activo fueron la economía, conveniencia y preservar el estado físico, no obstante, las principales para no practicarlo fueron clima, miedo a accidentalidades y ausencia de garantías de infraestructura. En cuanto a la red de ciclorrutas del municipio, se estableció la necesidad de conectividad como criterio de mejoramiento de la red existente. Finalmente, se evidenció la promoción del transporte activo en Cajicá a nivel gubernamental en los ejes de recreación y deporte, salud, tránsito y movilidad e infraestructura. Por lo anterior, esta investigación concluye con la presentación de los lineamientos para el modelo de transporte activo para el municipio de Cajicá, en tres componentes: salud de los habitantes, urbanístico en la red de ciclorrutas, equipamiento y recomendaciones para futuras políticas.

\*carlos.uribe@unimilitar.edu.co

## Transporte urbano y salud: el caso de TransMiCable en Bogotá, Colombia

Autores: M A Wilches M<sup>1,2\*</sup>, O L Sarmiento<sup>1</sup>, D Higuera-Mendieta<sup>1</sup>,  
L Á Guzmán<sup>2</sup>, C Moncada<sup>3</sup>, J Arellana<sup>4</sup>, D A Rodríguez<sup>5</sup>, M Santana<sup>5</sup>, A Diez Roux<sup>6,7</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Medicina Universidad de los Andes, Colombia. <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes, Colombia. <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <sup>4</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Norte. <sup>5</sup>College of Environmental Design and Institute for Transportation Studies, University of California Berkeley, Berkeley, CA 94720, USA. <sup>6</sup>Urban Health Collaborative, Department of Epidemiology and Biostatistics, Dornsife School of Public Health, Drexel University, Philadelphia, PA. <sup>7</sup>Department of Epidemiology and Biostatistics, Dornsife School of Public Health, Drexel University, Philadelphia, PA

Los cables aéreos como modos de transporte masivos han sido una reciente innovación que emana de América Latina. Este modo de transporte tiene beneficios de movilidad urbana para las poblaciones más vulnerables que viven en áreas periféricas con barreras geográficas que dificultan el acceso. A pesar de su popularidad, las evaluaciones del impacto de este modo de transporte en la salud y la movilidad son limitadas. El cable aéreo más reciente en América Latina es TransMiCable, ubicado en Ciudad Bolívar en Bogotá, el cual fue inaugurado en diciembre del 2018. El objetivo de esta presentación es mostrar los resultados de la línea de base del estudio que busca evaluar el impacto de la implementación del TransMiCable en la población que reside en su zona de influencia. La línea base es parte de un estudio pre-post cuasi-experimental para evaluar el impacto en cuanto a determinantes sociales de la salud y comportamientos saludables. La línea de base se recogió de febrero a diciembre de 2018. Se encuestaron 1.034 adultos en la zona de intervención en Ciudad Bolívar y 1.028 adultos en la zona control en San Cristóbal. En la encuesta se evaluaron características sociodemográficas, comportamientos de movilidad, y patrones de actividad física. Adicionalmente, la actividad física fue medida objetivamente mediante el uso de acelerómetros en 1.100 participantes, y se registraron diarios de viaje de 300 participantes mediante el uso de una aplicación móvil con GPS. La población encuestada en el grupo de intervención tiene una edad promedio de 44.3 años, el 85% vive en una vivienda de estrato 1 o en barrio informal, y el 64.5% de la muestra son mujeres. En contraste, el grupo control tiene una edad promedio de 42.8 años, el 92.6% de la muestra vive en una vivienda de estrato 2, y el 60.7% son mujeres. El modo de preferencia en la zona de intervención es la combinación de transporte público y caminata (32.8% en intervención vs. 29% en control), seguido por usar únicamente el transporte público (28.5% en intervención vs. 35.8% en control). La duración promedio de un viaje al trabajo es de 112 minutos en el grupo de intervención y 93 en el grupo control según la encuesta. En promedio los usuarios realizan 3.5 viajes por día. Los habitantes de la zona de intervención registraron en promedio 39 min/día de actividad física moderada o vigorosa (AFMV), mientras que en la zona control registraron 33 min/día de AFMV. El 25.1% de los encuestados en la zona de intervención y 26.2% en la de control cumple con recomendaciones de actividad física en tiempo libre. El 41% en la de intervención y 33.5% en la de control cumple las recomendaciones de actividad física como medio de transporte. Los resultados de este estudio nos permiten entender las dinámicas de línea de base de las poblaciones estudiadas. En el largo plazo, con el estudio se podrán evaluar los cambios en las dinámicas de viajes y comportamientos de salud, influenciados por el TransMiCable.

\*ma.wilches529@uniandes.edu.co

## VARIABLES MACROSCÓPICAS EN PLATAFORMAS – CASO TRANSMILENIO, BOGOTÁ, COLOMBIA

Autores: E Rincón<sup>1\*</sup>, A Sisa<sup>2</sup>, J Villamarín<sup>3</sup>, D Dueñas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Docente pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. <sup>2</sup>Egresado pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. <sup>3</sup>Egresado posgrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. <sup>4</sup>Docente posgrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

El flujo máximo, la velocidad a flujo libre y densidad máxima son parámetros fundamentales del modelo lineal del flujo peatonal, en conjunto con el nivel de servicio es posible establecer umbrales de servicio deseados para cada parámetro que permiten representar y cuantificar el comportamiento peatonal. Estos parámetros son utilizados para el dimensionamiento de infraestructuras peatonales; el ancho de una acera en una calle urbana o el ancho de un pasillo en un terminal, entre otros. Los parámetros del flujo peatonal calibrados por Fruin en 1971 aun constituyen el elemento más utilizado para el diseño de la infraestructura peatonal, el *Highway Capacity Manual* los utiliza para entornos urbanos, y el *Transit Capacity and Quality of Service Manual* considera los mismos parámetros para el diseño peatonal en estaciones de sistemas de transporte. Con la investigación se pretende estudiar las principales variables macroscópicas del flujo peatonal; flujo, velocidad y densidad, de los usuarios de TransMilenio bajo el interrogante ¿El comportamiento peatonal en la zona de circulación de una plataforma presenta variaciones con respecto al comportamiento peatonal de una acera o pasillo en entornos urbanos?, para lo cual se determinó la relación básica del flujo peatonal en una plataforma y se evaluó la percepción del apretujamiento en las zonas de espera. El lugar de estudio corresponde a la estación Calle 100 del sistema citado, la información se recopiló sobre las plataformas mediante aforos peatonales manuales y encuestas, se consideraron cuatro tipologías; hombre con equipaje, mujer con equipaje, hombre sin equipaje y mujer sin equipaje. Los conteos fueron realizados en periodos de 5 min, los datos de velocidad fueron tomados cada 20 seg, la densidad es medida sobre las zonas de espera cada 30 seg. Las encuestas de percepción fueron aplicadas mediante un muestro sistemático cada 2 min. El modelo es calibrado considerando que para cada periodo de 5 min se tiene el par de puntos; flujo y velocidad; mediante la relación básica del flujo peatonal  $flujo=velocidad*densidad$ , se determinó la densidad para cada par de puntos, posteriormente se graficaron los puntos *flujo - densidad* y mediante una regresión lineal se determinaron los parámetros fundamentales del flujo peatonal. Con la investigación se encontró que la composición peatonal presenta una distribución 56:44 (mujeres: hombres), la hora pico corresponde a las 17:15 – 18:15 con un volumen de 3.114 peatones, durante este periodo se observan continuas invasiones a la elipse corporal de los peatones, múltiples conflictos y movimiento restringido sobre la plataforma, la densidad máxima sobre la zona de espera en un periodo de 5 min es de 4.87 p/m<sup>2</sup>. El modelo calibrado indica que hay variaciones del flujo peatonal con respecto a una acera o pasillo, por lo que la capacidad disminuye considerablemente. La percepción peatonal del apretujamiento más frecuente a lo largo de día es *regular*, durante la hora pico la percepción es *deficiente*. Los indicadores de nivel de servicio para zonas de espera de Fruin indican que el nivel de servicio durante la hora pico es D.

\*edward.rincon@uptc.edu.co



# Índice de autores





## A

A Acosta · 165  
A Aleán-Romero · 19  
A Arévalo Támara · 130  
A Auchincloss · 185  
A Brito · 98  
A C Rincón Rivera · 177  
A E Francel Delgado · 175, 179  
A Eriksson · 131  
A F Espinel Ortega · 113  
A F Hoyos Tejada · 119  
A Forero · 131  
A Hena Cortes · 143  
A J Sanabria Madero · 149  
A L Balaguera Rivera · 169  
A L Medaglia · 168  
A Laureshyn · 51  
A M Agudelo Ossa · 38  
A M Castro Roberto · 121  
A M Cruz Ochoa · 158  
Á M Herrera Puyana · 79  
A M Sepúlveda Delgado · 80  
A M Vélez-Pereira · 178, 181  
A Medaglia · 185  
Á Mejía-Gutierrez · 73  
A Montealegre Chaves · 139  
A P León Rodríguez · 169  
A Palacio · 168  
A Palacios · 66  
A Quintana · 186  
A Rodríguez-Valencia · 23, 44, 62, 70, 89, 91, 161, 173, 180  
A Rosas · 134  
A Sanz · 40  
A T Castañeda Moyano · 153  
Área Metropolitana de Bucaramanga, Alcaldía de Bucaramanga · 43

---

## B

B A Bayona García · 166  
B E Paz Restrepo · 119  
B F Gómez · 20  
B S Cardona Ramírez · 41

## C

C A Beltrán · 21  
C A Calero · 118, 120, 125  
C A Gaviria · 118  
C A González-Calderón · 41, 157, 159, 160, 162  
C A Kaffure Ruiz · 95, 166, 175, 176, 179  
C A Moncada · 141  
C A Ovalle Arteaga · 95  
C A Ruiz · 112  
C A Torres Puerto · 96  
C A Uribe-Vargas · 187  
C Adriazola-Steil · 68, 131  
C Álvarez · 131  
C Ángelo Guevara · 47  
C Bedoya · 171  
C Berglund · 131  
C Caicedo · 186  
C Campillo Jiménez · 140  
C Cardona · 94  
C Díaz · 131  
C Durán Negrete · 52  
C E Bastidas Betancourt · 153  
C E Oñate · 120  
C E Ortíz Prieto · 111  
C E Vergel-Tovar · 39, 82, 150, 183  
C F Sánchez · 35  
C Jaramillo Molina · 119, 124, 138, 139, 174  
C León · 64  
C Murillo Bocanegra · 176  
C Olivares Medina · 43  
C Ortíz Prieto · 75  
C Pardo · 35, 36, 40, 43, 117  
C Portilla · 165  
C S Cepeda · 127, 144  
C Thigpen · 89  
C Valencia-Cárdenas · 41, 162  
C Villarreal · 37  
C Vinasco · 89, 91

---

## D

D A Arévalo Parra · 32  
D A Escobar · 30, 141, 145  
D A Garzón Angarita · 124

D A Jiménez-Urbe · 181  
D A Rodríguez · 188  
D A Suárez · 184  
D Alzamora Benites · 71  
D Carvajal Rozo · 83  
D Castaño · 144  
D Daniels · 181  
D E Dueñas Ruiz · 142  
D F Sáenz Lozano · 90  
D García · 99  
D Gómez · 43  
D Hidalgo · 39, 94, 131  
D Higuera · 185  
D Ijají · 118  
D M Monroy Lancheros · 90  
D Morales · 79  
D Oviedo · 93, 137  
D Paris · 147, 180  
D Pijetlovic · 131  
D Rodríguez Mariaca · 139  
D Rosas-Satizábal · 62, 89, 91, 137  
D Suero · 56, 98  
D Tascón Hoyos · 63  
D Toro González · 19, 183  
D Vargas · 131

---

## E

E A Velandia Durán · 102, 126, 167, 170, 177  
E Asprilla · 98  
E Cherchi · 47  
E Goldwyn · 150  
E Guzamán · 131  
E Jimenez · 54  
E Pelaez · 183

---

## F

F A Guío Burgos · 142  
F A Navarrete · 134  
F J Mafla-Hernández · 159  
F J Sandoval Ávila · 122  
F Ortiz Rubiano · 103

## G

G A Carvajal · 168  
G A Villegas López · 69  
G Arcila-Mena · 160  
G Barrero González · 44  
G C Lleras Echeverri · 80  
G Cabrera Lara · 152  
G Coronell Molina · 133  
G Guerra Penagos · 17  
G Infante Malagón · 20, 84, 88, 111, 182  
G Lleras · 17  
G López · 131  
G Olivares · 98

---

## H

H A Ortiz-Ramírez · 173  
H Barrera-Jiménez · 73, 106  
H Campo Beltrán · 178  
H Carvajal Osorio · 148  
H Cruz · 131  
H E Rivera-Arévalo · 187

---

## I

I D Hernández · 54  
I D Serrano Arrieta · 24  
I Herrera · 43  
I Sarmiento Ordosgoitia · 25, 31, 34, 73, 83, 165

---

## J

J A Dueñas · 184  
J A Huertas · 168  
J A Jaramillo-Jiménez · 157  
J A Montoya · 145  
J A Narvárez Cordoba · 99  
J A Suárez P · 81  
J A Vallejo-Borda · 62, 70  
J Amaya Leal · 85, 101  
J Arellana · 18, 50, 56, 65, 85, 92, 93, 100, 101, 104, 105, 133, 188  
J Asprilla López · 174

J ATacué · 125  
J Bolívar Redondo · 130  
J Buritica Cortés · 17  
J C Medina Arguello · 42  
J C Poveda D'Otero · 55  
J C Salazar-Castaño · 38  
J C. Poveda · 48  
J Cala · 23  
J Cantillo · 18, 72  
J Córdoba Maquilón · 25  
J D Heredia Castiblanco · 26  
J D Meisel · 54  
J D Pineda-Jaramillo · 31  
J de D Ortúzar · 47  
J De La Cruz · 98  
J E Sepúlveda García · 41  
J Espinosa · 165  
J F Restrepo González · 123  
J F Vega Stavros · 52  
J G Zuluaga Villermo · 54, 95, 166, 175, 176  
J Galvan · 104  
J González · 131  
J Holguín-Veras · 100  
J J Posada-Henao · 29, 159, 160, 162  
J J Villamarín Monroy · 142  
J Jiménez · 165  
J L Moura · 172  
J López · 35  
J M Gómez Sierra · 128  
J M Guarnizo · 126  
J Montoya · 30  
J Murillo Hoyos · 119, 124, 138, 174  
J P Bocarejo · 131  
J P Camargo · 127  
J P Rojas Suárez · 167, 177  
J R Escorcía H · 33  
J R Peña · 144  
J R Peña Bastidas · 107,  
J Rivera · 131  
J Riveros · 102  
J Rodríguez · 118  
J S López · 68  
J S Restrepo Gómez · 176  
J Segundo López · 35  
J W Sanín · 33

## K

K J Almanza Torres · 177

---

## L

L A Bulla-Cruz · 42, 51, 122, 123, 132  
L A Cantillo · 146  
L A Carreño Sierra · 108  
L Á Girón · 102  
L Á Guzmán · 21, 49, 65, 87, 92, 93, 107, 127,  
137, 144, 168, 188  
L A Vega · 48  
L A Velásquez-Fandiño · 187  
L Castañeda · 57  
L Castro Gómez · 128  
L D Gómez Rodríguez · 79  
L D López Buitrago · 96  
L E Acosta Medina · 112  
L E González · 182  
L E González Sanguino · 111  
L F Calderón Gómez · 95  
L F Cataño Mainieri · 143  
L F Macea Mercado · 143  
L Garzón · 64  
L I Agudelo-Vélez · 73  
L Iguavita · 35, 40, 43  
L L Lyons Barrera · 86  
L Llerena Sierra · 130  
L Lyons · 51, 158  
L M Dueñas Ramírez · 69  
L M Quiñones · 35, 61, 117  
L Márquez · 48, 81  
L Pulido Moreno · 71  
L Quiñonez · 68  
L Sierra-Betancur · 159  
L X Pineda · 48, 184

---

## M

M A Bernal · 53  
M A Castillo · 20, 84, 88, 182  
M A Guzmán Roa · 80  
M A Wilches M · 171  
M Botero · 168

M C Hoyos O · 166  
M C Jiménez Riaño · 103  
M C Peñas · 183  
M C Villamizar Ropero · 129  
M Carvajal Benitez · 20  
M Coronel · 37  
M D Lindeman · 100  
M Delgado Lindeman · 85, 101  
M F Cortés Durán · 82  
M F García Fonseca · 79  
M Figueroa Loaiza · 105  
M González Trujillo · 139  
M I Arévalo · 171  
M J Cardozo Chaux · 113  
M J Castillo Viana · 178  
M K J Camacho Charry · 179  
M Linares-Vásquez · 171  
M Moscoso · 35, 43, 68  
M Munizaga · 49  
M Orozco-Fontalvo · 130, 146  
M Peña Rúa Peña · 34  
M Rincón · 39  
M Santana · 171  
M Toro · 57  
M Villegas Carrasquilla · 183

---

## N

N Ariza Morales · 126  
N Cifuentes Ospina · 148  
N I Díez-Ruiz · 157  
N Lleras · 39, 131  
N Martínez Montero · 143  
N Pulido · 48  
N R Venegas Rojas · 86  
N Tinjacá · 131

---

## O

O A Higuera-Salamanca · 38  
O Carrillo · 56  
O Díaz Olariaga · 63, 71, 74, 75, 97  
O E Arbeláez Arenas · 25  
O E Ramos · 134  
O González · 131  
O L Sarmiento · 168, 171, 185  
O Mendieta · 18, 72  
ONU-Habitat · 43

## P

P A Cruz Daraviña · 99, 153  
P A Uriza · 168, 185  
P F Pérez-Arteaga · 49  
P Joyas Campiño · 148  
P Ruiz González · 22  
P Vázquez-Miraz · 186

---

## R

R Camacho · 87  
R Camacho C · 33  
R F Cardona · 87  
R Peñabaena-Niebles · 172  
R Quintero-Giraldo · 159  
R Ramírez · 165  
R Ramos · 104  
R Unda · 147, 161

---

## S

S A Cabrales · 168  
S C Mangones Matos · 26, 149  
S Cabrales · 185  
S Cardona · 30, 141, 145  
S E Díaz Márquez · 169  
S Fernández · 50  
S J Cerón Muñoz · 153  
S J Guerra Gómez · 29  
S Jaya · 37  
S López · 39, 94, 131  
S M González Palacios · 121  
S M Rojas Giraldo · 128  
S Martínez · 131  
S Monterrosa Garcés · 83  
S Orjuela · 39  
S Raveau · 146  
S S Castillo Domínguez · 55

---

## T

T E Guerrero B · 47  
T M Álvarez · 84  
T Ramírez · 57  
T van Laake · 36, 40, 43, 168

## V

V A Cantillo · 18  
V Abonia Balanta · 153  
V Alvarez · 92, 93  
V Cantillo · 18, 19, 24, 50, 64, 65, 72, 104, 133,  
172  
V Cantillo-García · 72  
V G Valencia-Alaix · 29, 106, 152  
V Montoya-Robledo · 68  
V R Castillo · 118

---

## W

W E Vargas Vargas · 121  
W Pineda · 74  
W Simancas · 91

---

## X

X C Velandia Villamil · 67

---

## Y

Y A Montenegro Salazar · 132  
Y C Parra Gómez · 129  
Y F Molina G · 81  
Y Polo · 98  
Y Rodríguez · 74



