



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

**CRITERIOS PARA VIABILIZAR EL COBRO POR CONGESTIÓN APLICANDO
MODELOS ECONOMETRICOS EN VIAS SATURADAS EN EL MUNICIPIO DE
BUCARAMANGA-COLOMBIA.**

**Tesis de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Civil
Con profundización en Transporte e Infraestructura**

JOSÉ CARLOS JIMÉNEZ SERPA

**Director
Ph.D. Miller Humberto Salas Rondón**

Visto Bueno Director _____

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Segundo Jurado

Tercer Jurado

Bucaramanga, Mayo de 2016

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	MOTIVACIÓN.....	1
1.2	REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES.....	2
1.3	HIPÓTESIS DE ESTUDIO.....	3
1.4	OBJETIVOS GENERALES	4
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.6	APORTES QUE SE ESPERAN OBTENER	4
1.7	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2.	ANTECEDENTES MOVILIDAD VEHICULAR Y CONGESTION EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	6
2.1	INTRODUCCIÓN	6
2.2	CARACTERISTICAS GENERALES DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	7
2.2.1	Localización de la zona estudiada.....	8
2.3	ALTERNATIVAS IMPLEMENTADAS PARA LA GESTIÓN DE LA DEMANDA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	9
2.3.1	Escenarios de crecimiento o de desarrollo de las ciudades que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga, Determinación de los viajes de generaciones y atracciones.	11
2.3.2	Implementación del Pico y Placa Municipio de Bucaramanga.....	13
2.3.3	Implementación de un Sistema Integrado de Transporte Masivo SITM en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	15
2.3.4	Implementación fiscalización electrónica del flujo en el Área Metropolitana de Bucaramanga.	17
2.4	ALTERNATIVAS COMPLEMENTARIAS PREVIAS A LA IMPLEMENTACION DEL COBRO POR CONGESTION.....	19
2.4.1	Integración tarifaria para el transporte público del área metropolitana de Bucaramanga.	19
2.4.1.1	Planeación Estratégica del Gobierno Colombiano para Mejorar el Transporte Público y la Gestión de la Demanda en las Ciudades Intermedias	19
2.4.1.2	Diagnóstico del escenario base. “Área Metropolitana de Bucaramanga” 20	
2.4.1.3	Modelo tarifario a implementar en el transporte público del AMB.....	25
2.4.2	Implementación del taxi compartido.....	31

2.4.3	Cobro del efecto barrera causado por el transporte en áreas metropolitanas.....	31
3.	GESTIÓN DE LA DEMANDA VEHICULAR, MOVILIDAD, BIENESTAR SOCIAL, COSTO DE LOS USUARIOS Y EFECTOS EXTERNOS.....	32
3.1	INTRODUCCIÓN.....	32
3.2	DESEO PERMANENTE DE UNA MAYOR Y MEJOR MOVILIDAD	33
3.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y RUTAS ALTERNAS.....	34
3.3.1	Características Físicas del Sector Analizado.	34
3.3.2	Características del tránsito en vías alternas.	35
3.3.3	Velocidades.....	37
3.4	ANÁLISIS SIGNIFICATIVO DE LA CONGESTIÓN EN FUNCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA.....	38
3.4.1	El problema de capacidad	38
3.4.2	Cambios en los efectos externos.....	41
3.4.3	La congestión como externalidad.....	42
3.5	MÉTODOS DE CÁLCULO DE LOS CAMBIOS EN EL BIENESTAR SOCIAL – PEAJE DE CONGESTION PIGOUVIANO.	45
3.5.1	Enfoque y función del cambio en los recursos productivos.....	46
3.5.2	Los costos sociales del transporte.	46
3.5.2.1	Costos de los productores.....	47
3.5.2.2	Costos de los usuarios	48
3.5.2.3	Costos del resto de la sociedad (externalidades)	49
3.5.2.4	La disposición a pagar de los usuarios.....	50
3.5.2.5	Cobro por Congestión.....	53
3.6	HISTORIA Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DEL COBRO POR CONGESTIÓN.....	55
3.6.1	Historia del Concepto del Cobro por congestión en vías Urbana.....	55
3.6.2	Experiencias Internacionales del cobro por congestión	57
3.7	TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA EL COBRO POR CONGESTIÓN	62
3.8	INFLUENCIA SOCIO-POLÍTICA DEL COBRO POR CONGESTIÓN	69
4.0	CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TASA POR CONGESTIÓN MEDIANTE MODELACIÓN DE LA DEMANADA.	70
4.1	MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA.....	71
4.1.1	Clasificación de los modelos de elección discreta.....	72
4.1.2	El proceso de elección.....	73

4.1.3	Fundamentos Metodológicos, Teoría de la Utilidad Aleatoria.....	74
4.1.4	Técnica para el diseño de preferencia declarada.....	78
4.1.5	Preferencia declaradas Versus Preferencias Reveladas.....	78
4.1.6	Pasos para el diseño de la PD aplicado al cobro por congestión.....	80
4.1.7	Efectos principales e interacción.....	82
4.1.8	Estrategias para reducir el número de situaciones de elección.....	82
4.2	DISEÑO EXPERIMENTAL DE ENCUESTAS DE PREFERENCIAS DECLARADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL COBRO POR CONGESTIÓN.....	83
4.2.1	Asignación de Alternativas, Variables y Niveles para la PD.....	84
4.2.2	Etapas del diseño de la encuesta de preferencia declarada (PD).....	87
4.3	FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO.....	92
4.3.1	Especificación del Modelo.....	92
4.3.2	Tipo de modelo de acuerdo al proceso de elección.....	93
4.1.1	Estimación del Modelo.....	94
5.0	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MODELOS.....	97
6.0	ESTIMACIÓN DEL COSTO GENERALIZADO.....	101
6.1	ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTO MEDIO USUARIO $CMe(q)$	102
6.2	ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTO MARGINAL SOCIAL $CMa(q)$	103
6.3	ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE DEMANDA.....	103
6.4	RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL COSTO GENERALIZADO.....	104
7.0	PROPUESTA DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE ESQUEMA TARIFARIO....	106
7.1.1	Fundamentos Jurídicos.....	106
7.1.2	Evitar impactos en la economía y en el uso del suelo.....	107
7.1.3	Aceptación pública.....	108
8.0	CONCLUSIÓN.....	110
	Referencias.....	113
	ANEXOS 1 DISEÑO DE LA ENCUESTA PD.....	121
	ANEXOS 2 PLANTILLAS PRESENTADAS AL INDIVIDUO.....	124
	ANEXOS 3 BASE DE DATOS RECOLECTADOS.....	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización zona estudiada en el área metropolitana de Bucaramanga	8
Figura 2. Análisis estratégico del sistema de transporte urbano.....	9
Figura 3. Línea de deseo en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	12
Figura 4. Parque automotor área metropolitana de Bucaramanga	14
Figura 5. Parque automotor área metropolitana de Bucaramanga	15
Figura 6. Problema actual de falencia de infraestructura versus múltiples operadores de transporte público	17
Figura 7. Fiscalización electrónica Área metropolitana de Bucaramanga	18
Figura 8. Diagrama problemática del sistema de transporte público	21
Figura 9. Estructura tarifaria aplicada al transporte público en el AMB.....	24
Figura 10. Estructura Tarifaria para el transporte público en el AMB.....	25
Figura 11. Zonificación tarifaria.....	26
Figura 12. Líneas de deseo de viajes durante las horas punta para cada Municipio del AMB	28
Figura 13. Demanda de transporte público por los corredores viales del AMB	29
Figura 14. Perfil vial correspondiente a la zona del viaducto García Cadena.....	35
Figura 15. Niveles de servicios y Grado de uso de la capacidad	40
Figura 16. Significado sin congestión en el tiempo de viaje.....	43
Figura 17. Significado con congestión en el tiempo de viaje.....	44
Figura 18. Calidad de vida relacionada con la salud	45
Figura 19. Curva Típica de Costo Variable.....	51
Figura 20. Equilibrio entre demanda y oferta.....	51
Figura 21. Curva de Demanda, Costo Medio del Usuario y Costo Social Marginal.....	52
Figura 22. Esquema Típico De Tarificación Por Congestión.....	54
Figura 23. Sistemas de tecnología aplicada en Singapur para el cobro por congestión	63
Figura 24. Visión moderna modelo clásico análisis de demanda.....	71
Figura 25. Diagrama de Flujo de actividades para el diseño de encuestas de preferencia declarada.....	81
Figura 26. Tarjeta Tipo de los escenarios alternativos presentados al individuo	89
Figura 27. Distribución de hogares según el estrato.....	89
Figura 28. Distribución de los hogares según el número de vehículos	90
Figura 29. Distribución del número de miembros en el hogar según el estrato	90
Figura 30. Promedio de viajes diarios según el estrato	91
Figura 31. Promedio de viajes según el número de vehículos en el hogar.....	92
Figura 32. Representación Gráfica nivel de Elección	93
Figura 33. Probabilidad de uso del vehículo particular con la implementación de la tasa por congestión.....	98
Figura 34. Comparación de elecciones teniendo en cuenta las alternativas presentadas para cada estrato	100
Figura 35. Función Flujo-Demora para el arco Floridablanca - Bucaramanga.....	102
Figura 36. Tarificación basada en costos marginales de congestión bajo el criterio de first-best.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Población Proyectada Área Metropolitana de Bucaramanga 2014	7
Tabla 2. Resultados de la proyección de la matriz de viajes	13
Tabla 3. Resultados de la Proyección de la Matriz de Viaje	13
Tabla 4. Situación De Los Sistemas De Transporte Masivo En Colombia.....	15
Tabla 5. Crecimiento Histórico del Parque Automotor AMB.....	34
Tabla 6. Características del corredor desde la Puerta del Sol al Puente Provenza.....	35
Tabla 7. Vías Alternas y Configuración Vehicular	36
Tabla 8. Velocidades Zona Analizada Puente Provenza – Puerta del Sol.....	38
Tabla 9. Factores de capacidad para infraestructura del transporte terrestre.....	39
Tabla 10. Parámetros Básicos de Referencias	40
Tabla 11. Las externalidades del transporte por carretera	41
Tabla 12. Otras causas de la congestión	44
Tabla 13. Principales figuras de gravamen sobre el sistema de transporte y su efecto corrector sobre la congestión.....	55
Tabla 14. Casos internacionales de value pricing - Singapur.....	58
Tabla 15. Casos internacionales de value pricing - Roma.....	59
Tabla 16. Casos internacionales de value pricing - Londres.	60
Tabla 17. Casos internacionales de value pricing - Estocolmo.	61
Tabla 18. Cuadro resumen de las Características de los principales peajes urbanos.	62
Tabla 19. Clasificación de Tecnología	63
Tabla 20. Tecnologías disponibles para el cobro por congestión.....	64
Tabla 21. Comparación de la tecnología referente a los principales criterios.....	65
Tabla 22. Comparación de 3 tecnologías para reconocimiento automático de vehículos en movimiento.....	67
Tabla 23. Sistemas electrónicos en tierra (ANPR/ALPR) Vs sistemas satelitales (VPS o GNSS).....	68
Tabla 24. Tecnologías complementarias al cobro.	68
Tabla 25 Clasificación de los modelos de elección discreta	72
Tabla 26. Limitaciones de las Preferencias Reveladas Vs Preferencias Declaradas.....	79
Tabla 27. Niveles de las variables Experimentales	84
Tabla 28. Tabla de Kocur utilizando el Plan Maestro según las Variables y Niveles.....	85
Tabla 29. Diseño para la encuesta de Preferencia Declarada	87
Tabla 30. Calculo del tamaño de la muestra (N) teniendo en cuenta los parámetros de regresión	88
Tabla 31. Promedio de miembros y vehículos en el hogar según el estrato.....	91
Tabla 32. Codificación en forma Binaria – Ortogonalidad del diseño.....	92
Tabla 33. Coeficientes estimados para los modelos analizados.	96
Tabla 34. Significancia estadística y signos esperados.	97
Tabla 35. Valor por kilómetro para la constante del costo medio CMe(q)	102
Tabla 36. Comparación de escenarios sin y con cobro de la tasa por congestión partiendo de los modelos estimados mediante la encuesta de preferencia declarada (PD) y los costos generalizados	105

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1.	$Tarifa = \frac{c(Q)+u}{N}$	22
Ecuación 2.	$CT = CF + N*CV$	23
Ecuación 3.	$Taj_{j,i} = T_{j,i-1} \cdot \left\{ 1 + \left[(0.67 \cdot VIPC_{i-1}) + (0.13 \cdot VIPP_{i-1}) + (0.2 \cdot VCC_{j,i-1}) \right] \right\}$	23
Ecuación 4.	$t_p = \frac{1}{\mu}$	42
Ecuación 5.	$t_T = \begin{cases} t_p & \text{para } \lambda \leq \mu \\ \infty & \text{para } \lambda > \mu \end{cases}$	42
Ecuación 6.	$t_T = t_p + t_D$	43
Ecuación 7.	$C_s = C_p + C_u + C_e$ [43]	47
Ecuación 8.	$C_p = p_K \cdot K + p_L \cdot L + p_E \cdot E + p_R \cdot R$	48
Ecuación 9.	$C \cdot (\bar{q}_I; \bar{q}_S; q) = a \cdot \bar{q}_I + b \cdot \bar{q}_S + c \cdot q = F + c \cdot q$	48
Ecuación 10.	$C_u = C_u \cdot (q, \tau) = (v \cdot \tau + \theta) \cdot q$	49
Ecuación 11.	$C_u = \frac{C_u}{q} = v \cdot \tau + \theta$	49
Ecuación 12.	$C_{RS} = \varepsilon \cdot (N)$	49
Ecuación 13.	$g = p + v \cdot \tau + \theta$	50
Ecuación 14.	$CMa = CMe + q \cdot \frac{\partial CMe}{\partial q}$	52
Ecuación 15.	$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq}$	74
Ecuación 16.	$P_{jq} = Prob \left\{ \varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A_{cq} \right\}$	74
Ecuación 17.	$P_{jq} = \int_{\varepsilon_{jq}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{1q}=-\infty}^{V_{jq}-V_{1q}+\varepsilon_{jq}} \dots \int_{\varepsilon_{Nq}=-\infty}^{V_{jq}-V_{Nq}+\varepsilon_{jq}} f(\varepsilon_{1q}, \varepsilon_{2q}, \dots, \varepsilon_{Nq}) d\varepsilon_{1q} \dots d\varepsilon_{Nq}$	74
Ecuación 18.	$P_{jq} = \frac{\exp(\lambda \cdot V_{jq})}{\sum_{A_i \in A_{cq}} \exp(\lambda \cdot V_{iq})}$	75
Ecuación 19.	$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma}$	75
Ecuación 20.	$Vjq = \theta Xjq$	75
Ecuación 21.	$l(\theta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_i \in A_{(q)}} g_{iq} \ln P_{iq}$	75
Ecuación 22.	$S^2 = - \left[E \left(\frac{\partial^2 l(\theta)}{\partial \theta^2} \right) \right]^{-1}$	76

Ecuación 23 $LR = -2\{l(\theta_r^*) - l(\theta^*)\}$ 76

Ecuación 24 $t = (\theta k - \theta k) / skk$ 76

$$P_{jq}(\mathbf{g}) = \int \frac{\exp(\boldsymbol{\theta}_{jq} \mathbf{X}_{jq})}{\sum_{A_i \in A(q)} \exp(\boldsymbol{\theta}_{iq} \mathbf{X}_{iq})} f(\boldsymbol{\theta} | \mathbf{g}) d\boldsymbol{\theta}$$

Ecuación 25 77

$$\hat{P}_{jq}(\mathbf{g}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Lambda_q(\boldsymbol{\theta}^{n/g})$$

Ecuación 26 77

$$VC_q = \frac{1}{\theta_c} \left\{ Ln \sum_{A_j \in A(q)} e^{(V_{jq}^1)} - Ln \sum_{A_j \in A(q)} e^{(V_{jq}^0)} \right\}$$

Ecuación 27 78

$$N = \frac{t_k^2 \cdot se_1^2 \cdot (\theta_k)}{\theta_k^2}$$

Ecuación 28. 88

Ecuación 29. $V_i = ASC_i + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_i + \theta_{Te} \cdot Tespera_i + \theta_{Cm} \cdot C modo_i + \varepsilon_i$ (i=1,2)... 92

Ecuación 30. $V_j = ASC_j + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_j + \theta_{Cm} \cdot C modo_j + \theta_{Tc} \cdot Tcong_j + \varepsilon_j$ (j=3) 93

Ecuación 31.

$V_{BUS} = ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{BUS} + \varepsilon_{BUS}$ 94

Ecuación 32.

$V_{BUS} = ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{BUS} + \varepsilon_{BUS}$ 94

Ecuación 33.

$V_{BUS} = ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{BUS} + \varepsilon_{BUS}$

$V_{TAXI} = ASC_{TAXI} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{TAXI} + \varepsilon_{TAXI}$

$V_{AUTO} = ASC_{AUTO} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo_{AUTO} + \theta_{Estrato} \cdot Estrato_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}$ 94

Ecuación 34.

$V_{BUS} = ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{BUS} + \theta_{Confor} \cdot Confor_{BUS} + \varepsilon_{BUS}$

$V_{TAXI} = ASC_{TAXI} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{TAXI} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo + \varepsilon_{TAXI}$

$V_{AUTO} = ASC_{AUTO} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Cpyp} \cdot Cambiopicoyplaca_{AUTO} + \theta_{Estrato} \cdot Estrato_{AUTO} + \theta_{Accidente} \cdot Accidente_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}$ 95

Ecuación 35.

$V_{BUS} = ASC_{BUS} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{BUS}) \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{BUS} + \varepsilon_{BUS}$

$V_{TAXI} = ASC_{TAXI} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{TAXI}) \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{TAXI} + \varepsilon_{TAXI}$

$V_{AUTO} = ASC_{AUTO} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{AUTO}) \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}$ 95

Ecuación 36.

$V_{BUS} = ASC_{BUS} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{BUS}) \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C modo_{BUS} + \theta_{Confor} \cdot Confor_{BUS} + \varepsilon_{BUS}$

$$V_{TAXI} = ASC_{TAXI} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{TAXI}) \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot Cmodo_{TAXI} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo + \varepsilon_{TAXI}$$

$$V_{AUTO} = ASC_{AUTO} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{AUTO}) \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot Cmodo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Cpy} \cdot Cambiopicoyplaca_{AUTO} + \theta_{Estrato} \cdot Estrato_{AUTO} + \theta_{Accidente} \cdot Accidente_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}$$

..... 95

Ecuación 37

$$V_{BUS} = -0,0187 + 0,2636 \cdot Tviaje_{BUS} - 0,206 \cdot Tespera_{BUS} - 0,000809 \cdot Cmodo_{BUS}$$

$$V_{TAXI} = 0,099 + 0,2636 \cdot Tviaje_{TAXI} - 0,206 \cdot Tespera_{TAXI} - 0,000809 \cdot Cmodo_{TAXI}$$

$$V_{AUTO} = 0,2636 \cdot Tviaje_{AUTO} - 0,000809 \cdot Cmodo_{AUTO} - 0,000707 \cdot Tcong_{AUTO} \dots 98$$

Ecuación 38. $t_a^0(q_a^0) = t_a' \cdot \left[1 + k \left(\frac{q_a^0}{c_a'} \right)^2 \right]$ 101

Ecuación 39. $t = 0,0000000002 \cdot q^2 - 0,0000003 \cdot q + 0,2501$ 101

Ecuación 40. $CMe = 0,0000546 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q^2 - 0,0000819 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q + 517,06 \frac{\$}{km}$ 103

Ecuación 41. $CMA = 0,0004638 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q^2 - 0,0001638 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q + 517,06 \frac{\$}{km}$ 103

Ecuación 42. $P = -2,6516 \cdot q + 21290$ 103

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: CRITERIOS PARA VIABILIZAR EL COBRO POR CONGESTIÓN APLICANDO MODELOS ECONOMETRICOS EN VIAS SATURADAS EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGACOLOMBIA

AUTOR(ES): JOSÉ CARLOS JIMÉNEZ SERPA

FACULTAD: Maestría en Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MILLER HUMBERTO SALAS RONDÓN

RESUMEN

En las últimas décadas, las Administraciones Públicas responsables del transporte y la movilidad tienen entre sus retos más acuciantes el encontrar soluciones a la espiral de embotellamiento que están experimentando las diferentes ciudades de Colombia ante el aumento permanente de la población y el desarrollo continuo de los desplazamientos en vehículos, identificándose las perturbaciones que la congestión crea en el desarrollo de la economía, el Medio ambiente y el uso del suelo, efectos cada vez más insostenibles para una sociedad moderna que hace de la calidad de vida uno de sus objetivos fundamentales, es así que mediante la aplicación de modelos econométricos se propone viabilizar los criterios para implementar el cobro por congestión en vías saturadas de vehículos y estimar la función de los costos medios del usuario, costos marginales sociales y la función de la demanda para conocer el costo generalizado dispuesto a pagar por los individuos.

PALABRAS CLAVES:

Costos Marginales, Externalidades, Modelos Econométricos, Peajes Urbanos, Tasa por Congestión

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: CRITERIA TO ENABLE CONGESTION PRICING APPLYING ECONOMETRIC MODELS VIAS SATURATED IN THE MUNICIPALITY OF BUCARAMANGA COLOMBIA.

AUTHOR(S): JOSÉ CARLOS JIMÉNEZ SERPA

FACULTY: Maestría en Ingeniería Civil

DIRECTOR: MILLER HUMBERTO SALAS RONDÓN

ABSTRACT

In recent decades , public authorities responsible for transport and mobility are among its most pressing challenges finding solutions to the spiral of gridlock that are experiencing the different cities of Colombia to the permanent increase in population and the continued development of displacement vehicles , identified as disturbances that congestion created in the development of the economy , the environment and land use are increasingly unsustainable effects for a modern society that makes quality of life one of its key objectives is so by applying econometric models is proposed viable criteria to implement congestion charging in saturated routes of vehicles and estimate the role of the media user costs , social marginal cost and according to demand to know the generalized cost provisions to pay for individuals.

KEYWORDS:

Marginal costs, Externalities, Econometric Models, Urban Tolls , Congestion Charging

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

En las últimas décadas, las Administraciones Públicas¹ responsables del transporte y la movilidad tienen entre sus retos más acuciantes el encontrar soluciones a la espiral de embotellamiento que están experimentando las diferentes ciudades de Colombia [1] ante el aumento permanente de la población [2] y el desarrollo continuo de los desplazamientos en vehículos. Es importante precisar que las perturbaciones que la congestión crea en el desarrollo de la economía, el medio ambiente y el uso del suelo son efectos cada vez más insostenibles para una sociedad moderna que hace de la calidad de vida uno de sus objetivos fundamentales.

En Bucaramanga, se están implementando políticas basadas en el aumento de la oferta de infraestructura vial, tales como: **la construcción del tercer carril en el Viaducto García Cadena, el de la Carrera 9, los Intercambiadores Viales de Neo Mundo, el de la Carrera 27 con Avenida Quebrada Seca, el de la Diagonal 15 con Avenida Quebrada Seca y el Del Mesón De Los Búcaros**, cuyo efecto es estimular la movilidad y reducir las áreas de congestión a corto plazo [3]. A pesar de la implementación de estas alternativas para solucionar la movilidad en la ciudad de Bucaramanga, se requiere aplicar políticas más eficientes para la gestión de la demanda que realmente mitiguen la saturación de vehículos a futuro en los intercambiadores y mejoren el bienestar social, que a su vez corresponderá a mejorar la calidad del aire, la seguridad, la accesibilidad y la movilidad de los ciudadanos [4], en las actividades que son indispensables para el desarrollo de una ciudad cada día más moderna.

Con este estudio lo que se pretende es analizar la elección de modo teniendo en cuenta los factores que influyen en un individuo con la viabilización del cobro por congestión en algunas vías saturadas de vehículos en Bucaramanga, dado que actualmente a pesar de haberse contemplado alternativas a nivel Municipal, Departamental y Nacional como, desistir de realizar viajes, implementar sitios de parqueos adicionales [5] [6], incrementar el índice de ocupación vehicular, implementar restricción de vehículos en la infraestructura vial mediante el Pico y Placa [7] [8], integrar los modos de transporte y orientar a la comunidad hacia la utilización de medios de transporte alternativos al vehículo privado (SITM, Taxis, Bicicletas, Buses de servicio Público, entre otros) [9] [10] se sigue experimentando rezagos en las capacidades de la infraestructura vial. En este contexto, las técnicas de gestión de la demanda a utilizar y fundamentadas en los estudios de casos desarrollados en otros países en los últimos años [11], han atraído la atención de muchas ciudades en Colombia pero a la fecha no se ha implementado. Con

¹Ministerio de Transporte Nacional, Gobernaciones Departamentales, Alcandías Municipales

la puesta en marcha de estos casos internacionales [12] se tendrá una opción de influir en la utilización del vehículo privado y en el mejoramiento de la movilidad del viaducto García Cadena. Se trata, en realidad, de un tipo de medida que en su moderna acepción se ha desarrollado ligado a la construcción de nuevas infraestructuras viales, como una forma de financiar la construcción y mantenimiento de las mismas y aligerar la carga que suponen para las administraciones públicas “road pricing”, cobro por uso en vías nacionales. La finalidad es dirigir ahora, a cobrar por congestión “value pricing” en las vías urbanas [13], sobre todo en los centros y accesos urbanos de la ciudad de Bucaramanga, donde se agudizan los problemas de congestión, medio ambiente y bienestar social, los cuales conllevan al incremento del ruido, la vibración, la intrusión visual, el estrés, los sobrecostos de operación, la contaminación atmosférica, el aumento de accidentabilidad en el diario vivir de la comunidad.

Es así que la alternativa a considerar es implementar una tarifa por congestión [1] mediante la ubicación de peajes urbanos, que constituyen hoy en día uno de los instrumentos más eficientes para regular la entrada de vehículos en las ciudades [14], dada la flexibilidad y versatilidad que les otorga la tecnología disponible [15]. Esto constituye uno de los mejores sistemas de intervención para reducir la circulación vehicular en los centros urbanos y disminuir las externalidades que generan los usuarios de vehículos particulares a la demás población “movilidad socialmente responsable” [16]. Con esta implementación se fortalecerá en mayor parte el transporte público masivo, se limitará el transporte individual, se implementarán los modos de transporte no motorizados y se modernizará el sistema de gestión y control del tráfico de la ciudad de Bucaramanga [17].

Este experimento presenta las decisiones que el individuo selecciona al enfrentarse a un cobro por congestión desde el enfoque de una encuesta de preferencias declaradas, especialmente la eficacia y la aceptabilidad de las diferentes situaciones a las que se vería enfrentado, la disponibilidad de los modos de transportes de servicios públicos del sector, reducción de los viajes en vehículos particulares, demostrándose así que los estudios de preferencia declarada se alinean bien con la evidencia real de la gestión de la demanda vial. De conformidad con la Ley 1450 de 2011 [18], la cual cita que los Municipios o Distritos con poblaciones mayores a 300.000 habitantes, podrán establecer tasas por uso de áreas de alta congestión para evitar congestión urbana, y luego el decreto 2883 de 2013 [1] el cual determina los criterios de áreas de alta congestión.

1.2 REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES

Para el desarrollo de este proyecto de profundización en gestión de la demanda del transporte, básicamente está dada según la normatividad y legislación vigente en Colombia con la que se caracterizará el problema de estudio. La información primaria y secundaria servirá para plantear criterios para viabilizar el cobro por congestión de algunas vías saturadas de vehículos en Bucaramanga y la estimación del modelo.

La información base para la investigación en la implementación de los cobros por congestión en el corto plazo está dada por el Plan de Movilidad del Área Metropolitana de Bucaramanga 2010-2030, la Ley 1450 de 2011, decreto 2883 de 2013, Plan de Ordenamiento Territorial vigente y las bases del Plan de Desarrollo 2014-2018.

De igual manera se realizarán encuestas de Preferencias Declaradas -PD- Para la estimación de los modelos de elección discreta con la finalidad de diferenciar igualmente los tipos de usuarios caracterizados por su estrato socioeconómico dentro de la ciudad de Bucaramanga y sus preferencias a nivel de modos de transportes.

Para el procesamiento de las encuestas y la obtención del modelo, se utilizará el programa Biogeme Versión 2.2, el cual es de uso libre y se encuentra disponible en la siguiente dirección web: <http://biogeme.epfl.ch/>

Las limitaciones presentes en la investigación, es la poca información a nivel nacional referente a los cobros por congestión debido a que esta medida solo se está normalizando a través de los decretos y leyes desde el 2011.

Se analizará el sector comprendido entre Floridablanca - Bucaramanga y viceversa a la altura del viaducto García Cadena, el periodo de análisis para la estimación de los modelos es el de mayor flujo vehicular, es decir para los periodos punta del día. Esto dado que la primera y más importante aplicación de los modelos que se pretenden obtener es durante la ocurrencia de la congestión. Como complemento directo a la modelación, se contemplaron como alternativas de transporte privado los autos particulares, como alternativas de transporte público los taxis, buses convencionales, sistema de transporte masivo (Metrolinea).

1.3 HIPÓTESIS DE ESTUDIO.

Las hipótesis del estudio consistieron en comprobar durante el desarrollo de la profundización, lo siguiente:

Si se implementa una medida tarifaria en ciertas vías de la ciudad de Bucaramanga, se produce un uso eficiente del vehículo particular.

Mediante la aplicación de elecciones discretas fundamentadas en estudios econométricos se analizaron que algunos usuarios son lexicográficos en sus elecciones y que algunos elegirán la alternativa que brinde menores tiempos de viaje o menor costo. Así, un usuario de estrato bajo optará posiblemente por la opción de viaje más económica y un usuario de estrato alto quizá escoja la alternativa más rápida de desplazamiento.

1.4 OBJETIVOS GENERALES

Plantear criterios para viabilizar el cobro por congestión en el Viaducto García Cadena y generar modelos de elección discreta que permitan determinar la elección de modos del individuo.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un estudio de casos de implementación de esquemas de tarifas por congestión en distintas ciudades del mundo.

Revisar la literatura relacionada con las diferentes metodologías utilizadas para aplicar la tarifa por congestión.

Identificar lecciones aprendidas en las ciudades a nivel mundial. Este punto incluye los factores relevantes en la implantación de tarifas por congestión.

Analizar la zona del viaducto Garcia Cadena en la ciudad de Bucaramanga para la implantación del cobro por Congestión y modelar el comportamiento ante combinaciones de sistemas de transporte público, privado y cobro por congestión.

Proveer recomendaciones sobre la aplicación de control de demanda vehicular usando tarifa por congestión en la ciudad de Bucaramanga y políticas de gestión de la demanda complementarias a la tasa por congestión.

1.6 APORTES QUE SE ESPERAN OBTENER

Una vez desarrollada la profundización referente a la implementación de los criterios para el cobro por congestión en la ciudad de Bucaramanga, se plantearán las primeras herramientas encaminadas a actuar sobre la demanda del transporte en Bucaramanga, se identificarán las alternativas paralelas a la implementación del cobro por congestión en las cuales se indique que el origen de la congestión no solo es causada por el exceso de vehículos frente a la disponibilidad de la vías, sino que se deberá analizar la mala gestión del tráfico, el estado de las vías, la ausencia de cultura ciudadana que también influyen en la congestión.

Se darán los parámetros para plantear y diseñar un cobro por congestión, el cual es esencial definir por parte del Gobierno Municipal. Este puede no ser únicamente llegar a un punto óptimo de congestión, sino promover un cambio modal, generar recursos que permitan inversiones en otros modos más sostenibles, promover un sistema más fiable y seguro.

Reconocer la importancia de la movilidad para facilitar la búsqueda del bienestar de las personas, mediante la Ley 1450 de 2011 medidas integrales de administración de la

demanda de viajes para mitigar el impacto de la congestión y la contaminación urbana, con el establecimiento de tasas por uso de áreas de alta congestión en Municipios o Distritos con población mayor a 300,000 habitantes.

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la importancia que representa la movilidad vial en el desarrollo de las ciudades y en el bienestar social a nivel internacional, nacional y local, se ha identificado que estas han venido siendo afectadas por el incremento continuo del parque automotor y las limitaciones del uso del suelo que de una u otra forma está generando en primer lugar externalidades negativas sobre la sociedad y el medio ambiente y en segundo lugar sobre costos en las inversiones implementadas para el desarrollo de alternativas.

Igualmente las áreas de alta congestión están incidiendo en el aumento paulatino de afectaciones en la salud, calentamiento global, aumento de accidentabilidad, contaminación, pérdida de tiempo, ruido entre otras.

Para la ciudad de Bucaramanga el comportamiento del tráfico desde el año 2012 y proyectado al 2032, muestra que el viaducto García Cadenas es una de las zonas más neurálgicas del Área Metropolitana de Bucaramanga en las horas punta [19]. Según estudios de movilidad urbana realizados por la Alcaldía de Bucaramanga y la Universidad Industrial de Santander, UIS [19], tres años atrás, 2991 vehículos particulares circulaban sobre el viaducto en sentido norte - sur en una hora punta. Para el 2015 esta cifra ascendió a 3084, se espera en el 2020 que circulen 4187 vehículos, para el 2025 se proyecta un total de 4934 y en 2029, cerca de 5682 carros.

En el sentido sur - norte, aunque el panorama es diferente, es aún más desalentador. De 4248 vehículos particulares que circularon por hora punta durante 2012, se aumentó a 5249 en 2015. Para el año 2020 se proyecta que el tráfico aumentará a casi 5990 vehículos, para el 2025 a 7079 y en 2030 en 8167 vehículos.

CAPITULO 2

2. ANTECEDENTES MOVILIDAD VEHICULAR Y CONGESTION EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

2.1 INTRODUCCIÓN

Entre las problemáticas asociadas a la movilidad, se señalan las causadas principalmente por el creciente parque automotor y la divergencia existente entre la planeación del territorio y la planeación del sistema de transporte, el deterioro de la malla vial urbana y la invasión del espacio público vial.

Estas causas asociadas a la movilidad vial se fundamentan en: la subutilización del sistema integrado de transporte masivo – SITM-, generado por la baja cobertura geográfica del mismo, el paralelismo del servicio de transporte tradicional incumpliendo los recorridos y planes de servicio, así como la informalidad e ilegalidad del transporte, de igual forma, algunos de los elementos determinantes del caos y la anarquía que actualmente atraviesa el Área Metropolitana de Bucaramanga –AMB-, se centran en la invasión al espacio público, teniendo en cuenta el Eje de Movilidad Peatonal, la pobreza, el desplazamiento forzoso y el empleo informal; se constituyen en las principales razones por las cuales se explica la explotación económica ilegal del espacio público por parte de vendedores ambulantes y estacionarios.

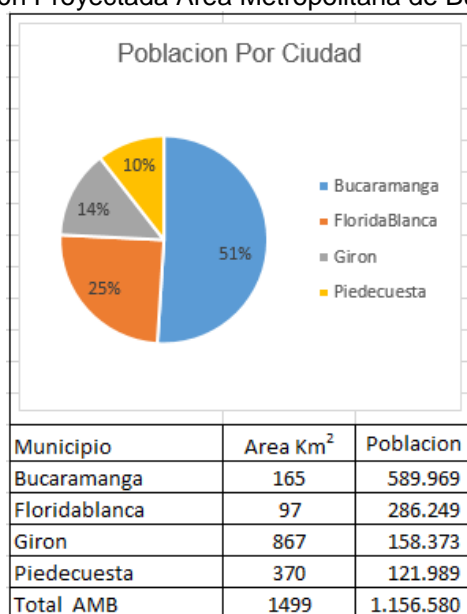
Es así, que el alto volumen de vehículos en el AMB genera problemas álgidos en la movilidad bumanguesa. Presentando para el año 2014 un indicador de 2.3 vehículos por habitante, la cual produce una velocidad promedio en las horas puntas en la ciudad de 15Km/h [3].

A razón de lo anterior en este capítulo se identificarán las causas de las problemáticas de movilidad en el Área Metropolitana de Bucaramanga, para a partir de allí enfocarse en soluciones que prevengan o mitiguen estas dificultades y plantear una línea estratégica de movilidad eficiente por parte de las entidades competentes que involucren la gestión de la demanda, de igual manera influenciar en el Plan de Ordenamiento Territorial al momento de adquirir los espacios necesarios para la construcción de nuevas vías y de vías alternas que suplan las exigencias de la movilidad [20].

2.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

El Área Metropolitana de Bucaramanga fue constituida mediante Ordenanza No. 020 del 15 de Diciembre de 1981. Bucaramanga es el Municipio núcleo y aporta el 51% de la población urbana de los 4 municipios que la conforman²; mientras que Floridablanca alberga el 25%, Girón el 14% y Piedecuesta el 10% del total de población urbana. Ver Tabla 1. De acuerdo con el Artículo 1 de la Ley 128 de 1994, el Áreas Metropolitanas son entidades formadas por un conjunto de dos o más municipios integrados alrededor de un municipio núcleo o metrópoli, vinculados entre sí por estrechas relaciones de orden físico, económico y social, que para la programación y coordinación de su desarrollo y para la racional prestación de sus servicios públicos requiere una administración coordinada.

Tabla 1. Población Proyectada Área Metropolitana de Bucaramanga 2014



Fuente: DANE proyección de Población 2005-2020

Por otro lado, la dinámica económica en el AMB – que define la dinámica de la demanda del sistema de transporte público - presenta a Bucaramanga como el centro de concentración de las actividades económicas del área metropolitana y el lugar de residencia de cerca de la mitad de la población de la región, mientras que los municipios restantes desempeñan un rol de ciudades dormitorio. Actualmente, los municipios de Bucaramanga y Floridablanca experimentan un estancamiento en su expansión territorial y poblacional, esto físicamente es imposible, debido a su configuración topográfica, pero conservan la mayoría de los suelos del área metropolitana destinados a la industria y al comercio. Sumado a esto, los municipios de Girón y Piedecuesta presentan un fortalecimiento del uso del suelo predominantemente residencial, pero con un fuerte vínculo con Bucaramanga para el desarrollo de sus actividades laborales, educacionales y/o sociales [21]. Lo anterior ha

² Según certificación DANE proyectada a junio de 2011 con base en el Censo 2005

llevado a una consolidación y pronunciación de una demanda de transporte público de carácter monocéntrica con foco en Bucaramanga, y una densidad de 771 habitantes/km²

2.2.1 Localización de la zona estudiada

La zona estudiada se localiza entre el Municipio de Bucaramanga y Floridablanca, más exactamente, en el tramo que conduce del Intercambiador de Puerta del Sol con Latitud 7° 6'21.79"N y Longitud 73° 6'49.27"O (Bucaramanga) hasta el Puente Provenza con Latitud 7° 5'18.26"N y Longitud 73° 6'29.98"O (Floridablanca) localizado al sur de la ciudad de Bucaramanga y en la parte centro oriental del Área Metropolitana de Bucaramanga ver figura 1.

Figura 1. Localización zona estudiada en el área metropolitana de Bucaramanga



Fuente: Autor

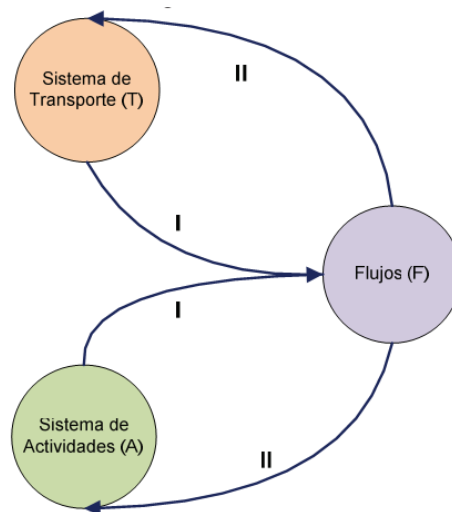
2.3 ALTERNATIVAS IMPLEMENTADAS PARA LA GESTIÓN DE LA DEMANDA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

En los procesos de planeación del transporte en el Área Metropolitana de Bucaramanga AMB, los gobiernos se han inspirado en el enfoque general propuesto por Manheim³ centrándose en la modelación de las relaciones de corto plazo entre el sistema de Transporte y el sistema de Actividades. Así, dado un sistema de actividades, que fija la demanda por servicios de transporte (generaciones y atracciones de viajes de personas o toneladas de carga), y dado un sistema de transporte de oferta (redes de infraestructura y de servicios con sus respectivas características operacionales) se predicen los patrones de flujos (viajes de personas, o toneladas de carga, origen-destino y flujos en arcos) y los niveles de servicio de equilibrio resultantes en las diversas redes consideradas en la modelación.

➤ Enfoque del Sistemas.

El sistema de Transporte (T) y el sistema de Actividades (A) están estrechamente relacionados. En primer lugar, el Transporte afecta la forma en que acrece y se desarrolla. Por otro lado, los cambios que se producen en las Actividades se traducen normalmente en cambios en Transporte. Si se denota por (F) al patrón de Flujos en el sistema de transporte, esto es, los flujos origen-destino por modo, para carga y pasajeros, los flujos en los arcos y las rutas de las diversas redes de infraestructura y de servicios, y los niveles de servicio (costos, tiempos, etc.) resultantes de dichos flujos, las relaciones antes mencionadas pueden representarse como se muestra en la Figura 2, en ella se observa que:

Figura 2. Análisis estratégico del sistema de transporte urbano



Fuente: Manheim, The Challenge of transportation, 1977

³ Manheim, M.L.(1979) Fundamentals of Transportation System Analysis. The MIT Press, Cambridge, Mass.

- El patrón de Flujos en el Área Metropolitana de Bucaramanga está determinado por el sistema de actividades y por el sistema de transporte (relación tipo I). Dicho de otra forma, dado un sistema de transporte fijo (infraestructura, vehículos y formas de operación de los diversos modos existentes en la ciudad) y el sistema de actividades al que éste debe servir (actividades residenciales, industriales, comerciales, educacionales, recreacionales, etc.), existirá una estructura o patrón de flujos determinada.
- A lo largo del tiempo, a través del patrón de flujos y cambios en el sistema de transporte afectarán (causarán cambios) al sistema de actividades (relación tipo II) de las ciudades que conforman el AMB. Esto es, en respuesta al patrón de flujos los cuales producirán relocalizaciones de actividades y en general cambios en los niveles de actividad de las mismas.
- Del mismo modo, a través del patrón de flujos y cambios en el sistema de actividades se traducirán en cambios en el sistema de transporte (relación de tipo II), ya que en respuesta al patrón presente en el sistema de transporte aparecerán nuevos servicios o modificaciones de los existentes en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

En términos económicos las relaciones de tipo I son relaciones de corto plazo; la capacidad del sistema y su demanda (generación y atracción) están fijas, en tanto las relaciones de tipo II son relaciones de largo plazo, en el que se supone que tanto el sistema de transporte como el sistema de actividades pueden variar.

Con el objeto de reducir la gran incertidumbre asociada a la predicción del desarrollo del Área Metropolitana de Bucaramanga, en lugar de modelar los impactos de las relaciones de largo plazo entre el Sistema de Actividades (A) y Sistemas de Transporte (T), se utiliza la metodología de construcción de escenarios de desarrollo urbano y de escenarios de transporte (planes). Construidos estos escenarios para un corte temporal futuro se analizan las relaciones de corto plazo y se estiman, para cada escenario de desarrollo urbano y cada plan de transporte, los patrones de flujos y niveles de servicio asociados que constituyen la información básica para medir rentabilidades sociales de los diversos planes analizados. Así, la metodología de análisis de sistemas de transporte se compone de tres grandes bloques o etapas.

En primer lugar, se deben construir escenarios de crecimiento o de desarrollo de las ciudades que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga. Estos escenarios buscan entregar información respecto de las variables urbanas que determinan los viajes (generaciones y atracciones) sobre la base de ciertas condicionantes socio-económicas, físicas y normativas, propias de cada ciudad. Básicamente la metodología de construcción de escenarios de desarrollo urbano debe responder a preguntas como las siguientes para las ciudades en análisis, tanto para hoy como para determinados cortes temporales futuros:

¿Cuántos habitantes habrá en la ciudad?, ¿De qué nivel socio-económico?, ¿Dónde se localizarán?;

¿Qué superficie, destinada a diversos usos y en distintas localizaciones, existirá en la ciudad?

Una vez respondidas estas preguntas, es posible generar los valores de las variables explicativas de los modelos de generación y atracción de viajes, para las diferentes dimensiones en que son tratados los viajes, obedeciendo a distintas características poblacionales (distintos períodos del día y diferentes cortes temporales). Diversas hipótesis sobre el desarrollo de la ciudad y crecimiento del ingreso de sus habitantes (y en particular sobre la evolución de la posesión de automóvil) dan lugar a escenarios de desarrollo urbano diferentes y en definitiva, a diferentes demandas por transporte, expresadas en términos de distintos vectores de generación y atracción de viajes.

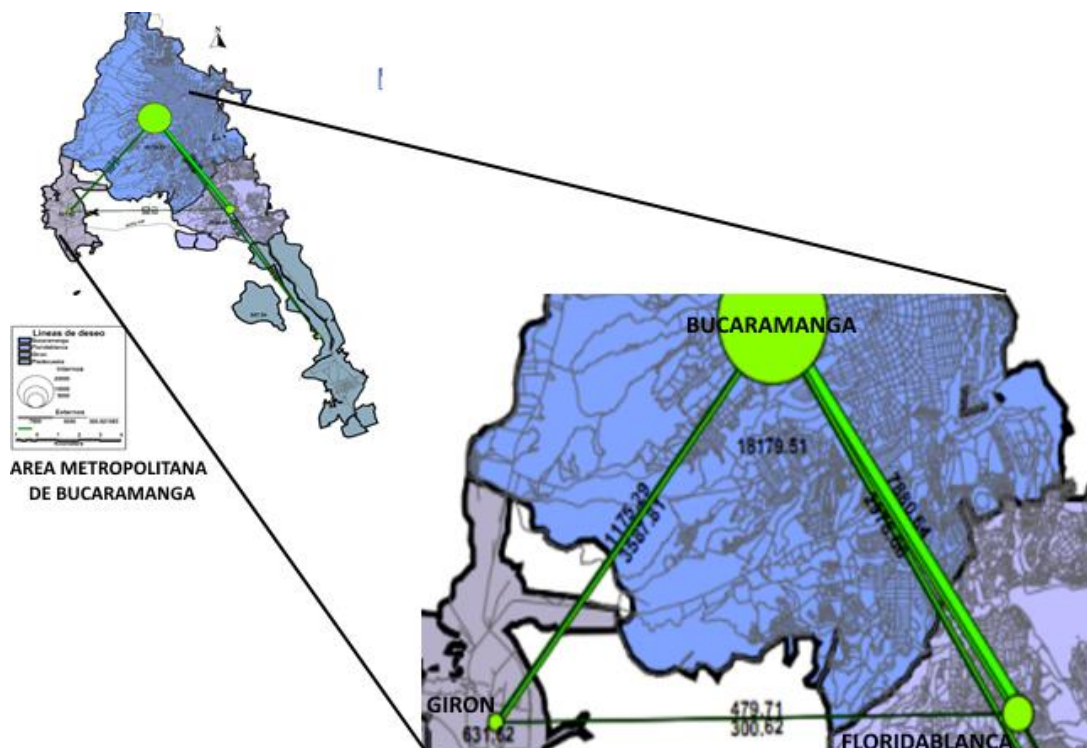
Una segunda etapa o componente de la metodología es la construcción o definición de los planes estratégicos de transporte (definición de sistemas de transporte T, alternativos), esto es, conjuntos coherentes de proyectos físicos (modificaciones a la infraestructura o a los servicios de transporte existentes) y proyectos de políticas de transporte (por ejemplo, tarificación vial, aumento de costo de estacionamiento, cambios del precio de los combustibles, cambios a esquemas tarifarios para el transporte público, restricciones del vehículo particular mediante pico y placa, etc.).

La tercera etapa, como se dispone de una o varias combinaciones de sistemas de transporte y sistemas de actividades. Para cada una de estas combinaciones, dados el sistema de actividades y el sistema de transporte, usando el modelo de transporte, es posible predecir los flujos (viajes origen/destino) y flujos en arcos (para las distintas redes consideradas) y los niveles de servicio de equilibrio. La información anterior es la base para la evaluación desde la perspectiva social y privada de los planes estudiados.

2.3.1 Escenarios de crecimiento o de desarrollo de las ciudades que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga, Determinación de los viajes de generaciones y atracciones.

La proyección de la matriz de viajes para el Área Metropolitana de Bucaramanga [22], se caracteriza por que las zonas de mayor producción y atracción de viajes se conservan entre el año 2011 y el año 2015, presentándose una consolidación del sector centro de Bucaramanga como el mayor lugar de destino, mientras que Provenza y la zona alta de Floridablanca se ratifican como los focos fundamentales de origen de los viajes, incrementando la importancia que desempeñan en este aspecto el sur de Piedecuesta y Girón, y la zona norte de Bucaramanga. A continuación, se presenta la matriz proyectada en función del número de viajes producidos y atraídos para el AMB, Figura 3.

Figura 3. Línea de deseo en el Área Metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: Matriz de Origen y Destino Metrolinea, UIS, 2011

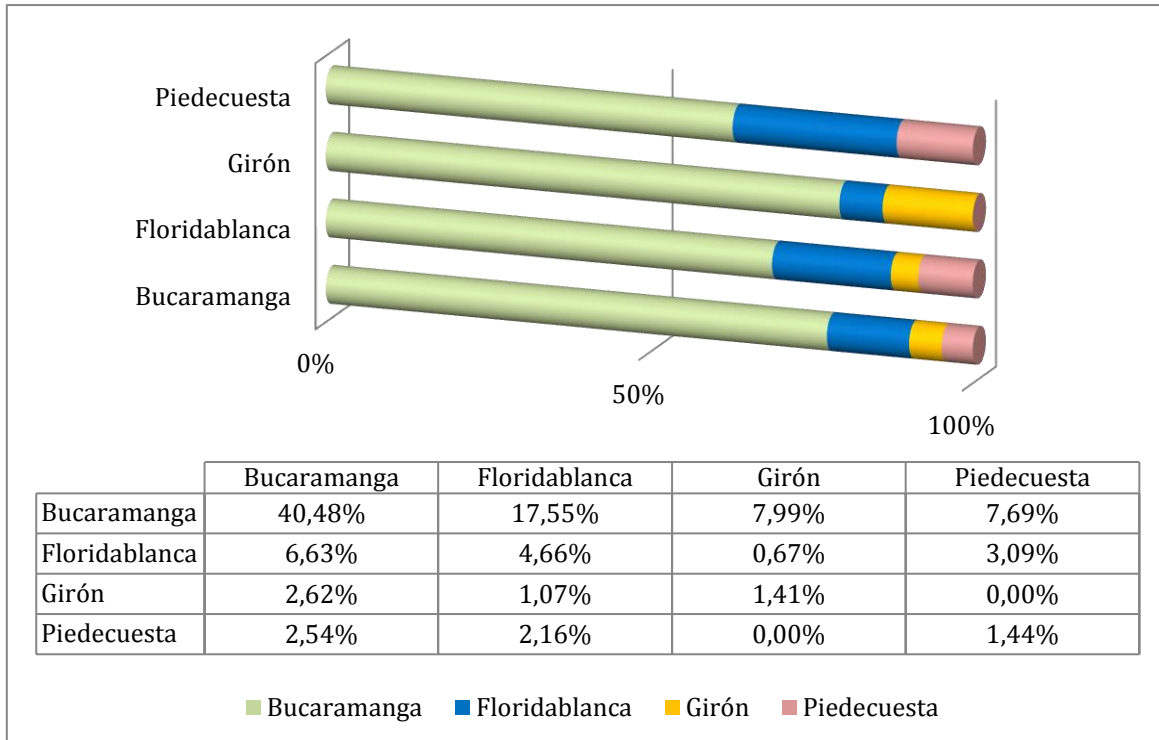
Las proyecciones de la matriz origen para el año 2015, muestran que se estaría pasando de un total de 43.555 en el año 2011 a 44.905 viajes en el año 2015, Tabla 2, lo que representa un crecimiento del 3,10%, con una tasa media anual del 0,77%. Además se observa que se siguen manteniendo las mismas zonas atractoras y generadoras de viajes, ya que muchos de los proyectos de renovación y expansión urbana en el área metropolitana de Bucaramanga tienen un horizonte de consolidación que supera el umbral del año 2015, aumentando principalmente los viajes hacia Bucaramanga, manteniendo la dinámica y su comportamiento de ciudad prestadora de servicios y los otros municipios funcionando como ciudades dormitorio Tabla 3.

Tabla 2. Resultados de la proyección de la matriz de viajes

Año	Total de viajes	Crecimiento	Tasa anual media
2011	43.555	---	---
2015	44.905	3.10%	0.77%

Fuente: Matriz de Origen y Destino Metrolinea, UIS, 2011

Tabla 3. Resultados de la Proyección de la Matriz de Viaje



Fuente: Matriz de Origen y Destino Metrolinea, UIS, 2011

2.3.2 Implementación del Pico y Placa Municipio de Bucaramanga.

En Colombia a partir de 1998 se implementó una política para desincentivar el uso del vehículo particular conocido como pico y placa que restringe la circulación del vehículo en horas pico, de acuerdo con los últimos dígitos de las placa de los vehículos [23]. Los beneficios que se logran con la aplicación de la restricción vehicular en las ciudades son los siguientes:

- Desestimular el uso del transporte particular para los días que le aplique la restricción con la correspondiente reducción en los tiempos de viaje y demoras en

las horas pico en corto tiempo (a largo tiempo se estimula la compra de un segundo vehículo).

- Disminuir los riesgos de accidentalidad por congestión [24].
- Reducción de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera como monóxido de carbono [25].

Tomando a Bogotá como referencia y pionera en la implementación del pico y placa, Bucaramanga adoptó la medida implementándola de lunes a viernes en periodos punta los cuales varían de acuerdo al número de placas que se restringe diariamente. La restricción varía también de acuerdo al tipo de vehículo: particular, motocicletas. Ver Figura 4. También existen experiencias internacionales como en Sao Paulo, Ciudad de México “Hoy no circula en México” y Santiago de Chile, además de nuevas implementaciones en el estado de Miranda en Venezuela y propuesta en la ciudad de Quito.

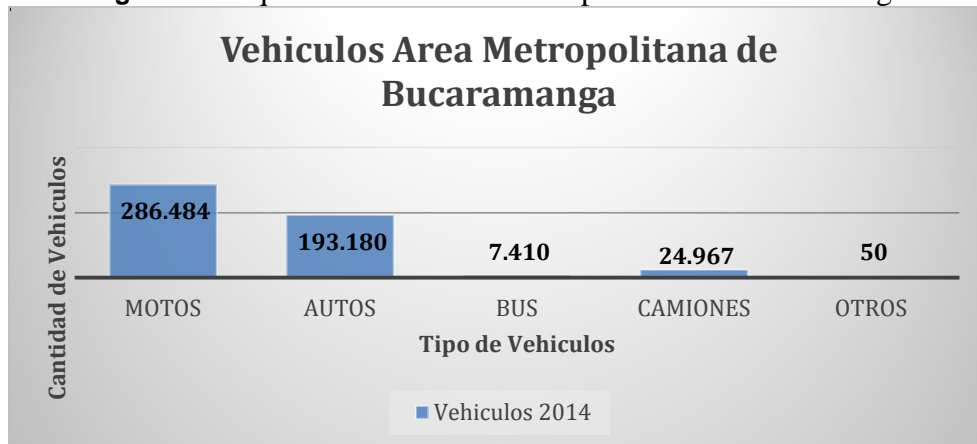
Figura 4. Parque automotor área metropolitana de Bucaramanga



Fuente: Dirección de Transito de Bucaramanga. Resolución 066 de 2015.

Por otro lado, si analizamos el establecimiento de la medida del pico y placa en Bucaramanga, en principio para las horas puntas y posteriormente todo el día, el índice de densidad vehicular es alto, toda vez que actualmente se reciben no solamente los vehículos matriculados en Bucaramanga, sino también los matriculados en Floridablanca, Piedecuesta, Girón y Lebrija. Es así como el total del parque automotor del Área Metropolitana de Bucaramanga registro para 2014 un total de 512.091 vehículos distribuidos en motos, autos, bus, camiones y otros, ver Figura 5.

Figura 5. Parque automotor área metropolitana de Bucaramanga



Fuente: Secretaria de Transito de Girón y Floridablanca, Inspección de transito de Piedecuesta, Dirección de Transito de Bucaramanga. Febrero de 2014

2.3.3 Implementación de un Sistema Integrado de Transporte Masivo SITM en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Otro reto del gobierno nacional colombiano sería reorganizar el funcionamiento del transporte público y el establecimiento de medidas de gestión de tráfico en las principales ciudades intermedias, con el cual se buscará priorizar el transporte público en corredores específicos, unificar el sistema de recaudo y reestructurar las rutas [26].

La implantación en Colombia de un sistema de transporte público masivo basado en autobuses –BRT (Bus Rapid Transit) data desde el año 2000 cuando inicia la operación en la capital colombiana y desde el 2006 se toma este modelo para las demás ciudades principales [27]. No obstante, al replicarlo no se tuvo en cuenta la calibración de los modelos de transporte como una estrategia de integración por zonas o coronas tarifarias que además de motivar al viajero a usar el transporte público le permitiera organizar los gastos de desplazamientos, lo cual genera en la operación del BRT deficiencias en su planeación, reducción en la capacidad de movilización de las personas y por otro lado, una disminución de su acceso a los servicios e infraestructura de la ciudad [28]. La Tabla 4 ilustra la situación actual de los diferentes BRT implantados en las diferentes ciudades del país.

Tabla 4. Situación De Los Sistemas De Transporte Masivo En Colombia.

Ciudad	Gestor	Inicio de operación	Situación actual
Bogotá	Transmilenio	Diciembre de 2000	El STM es autosostenible y el principal problema no es el bajo flujo de pasajeros, sino la gran demanda que tiene, que no ha sido cubierta satisfactoriamente por el sistema.
Pereira	Megabus	Agosto de 2006	Es uno de los primeros STM del

			país, tiene ocho años de existencia, pero no ha podido aún llegar al punto de equilibrio. El principal problema que tiene ahora es la posible caducidad del contrato de uno de sus operadores de transporte.
Cali	MIO	Marzo de 2009	Es el STM con mayor cubrimiento en todo el país, pues prácticamente cubre el 90% de la ciudad. Aun así, su principal problema son las quejas por el servicio, las cuales no se han hecho esperar. Esto repercute en un bajo flujo de pasajeros.
Bucaramanga	Metrolínea	Diciembre de 2009	El STM operó desde un comienzo sin varias estaciones y portales, no ha podido aún llegar al punto de equilibrio.
Barranquilla	Transmetro	Abril de 2010	Es quizás uno de los que en peores condiciones se encuentra, porque desde el comienzo tuvo serios problemas de paralelismo y hay menos buses de los que requiere la ciudad. Es, por esta razón, uno de los primeros en recibir ayuda del Gobierno Nacional.
Cartagena	Transcaribe	No está en Operación	La construcción del Sitm de Cartagena inició en enero de 2006 y ya cumple ocho años de obras, sin que haya arrancado a operar el primer bus articulado, se estima que para final del 2015 inicien las pruebas piloto.

Fuente: Autores.

Ahora, parte del actual problema de los BRT en el Área Metropolitana de Bucaramanga es el paralelismo del transporte público convencional que combinan una oferta descentralizada en contraste con una planeada y gestionada por un agente único o central que presta un servicio de baja calidad y una oferta de infraestructura inadecuada en un contexto de bajas capacidades para la regulación y el ejercicio de la autoridad de transporte [29]. El servicio, prestado por varios actores, que actúan de forma descoordinada, se ha caracterizado por el uso de buses obsoletos, diseño de rutas y operación inadecuadas, y sobreoferta de frecuencias que de una u otra forma le resta usuarios a los Sistemas del Transporte Masivo-STM basado en autobuses.

Es así, que para el año 2015 el AMB está experimentando un alto nivel de congestión vehicular, toda vez que con la entrada en funcionamiento del Sistema Integrado de Transporte Masivo - Metrolínea – en 2009, este representó la supresión del transporte colectivo de pasajeros a lo largo de toda la carrera 15, entre la Avenida Quebrada Seca y la Calle 45, así como la reducción de un carril desde la mencionada calle hasta el sector de Lagos en el Municipio de Floridablanca. Igualmente, a lo largo de toda la carrera 27 pasando por el viaducto García Cadena y terminado en Piedecuesta, la cual quedó destinada con un carril para el tránsito exclusivo de los buses del SITM, Figura 6. Esto ha significado un alto índice de congestión vehicular en toda la red vial urbana de la ciudad, generando demoras en los desplazamientos (transporte privado y público) desde el Centro y hacia el Sur de la Ciudad; toda vez que el Sistema Integrado de Transporte Masivo – Metrolínea -, se planificó, diseñó y construyó, sobre las vías actuales; restándole capacidad de oferta a la infraestructura vial para atender el tránsito vehicular propio y el atraído del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Figura 6. Problema actual de falencia de infraestructura versus múltiples operadores de transporte público



Fuente: Vanguardia, <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/141301-de-15-a-5-minutos-paso-el-trancon-del-viaducto>, 2012.

2.3.4 Implementación fiscalización electrónica del flujo en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Se considera que el control automático de tránsito comenzó con la instalación de cámaras automáticas de control en patrullas de la Deutschland Polizei, Policía alemana sobre el año 1955, con lo que la tecnología lleva ya más de medio siglo de funcionamiento.

Durante muchos años sólo unos pocos países, económicamente prósperos (Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos, etc.) emplearon estas tecnologías para el control de tránsito. A partir de la década de los 90 muchos países con perfiles muy distintos han comenzado a utilizar este tipo de equipos: (Italia, España, Hong Kong, Taiwan, Omán, Brasil, Kuwait, Marruecos, China, etc.) Varios factores han contribuido a esta rápida expansión del control automático:

Una mayor concientización sobre el problema de los accidentes de tránsito por parte de los Gobernantes.

La evidencia estadística de que esta tecnología funciona y disminuye accidentes.

La aparición de diversos estudios (por ejemplo de la Organización Mundial de la Salud) que dimensionan la magnitud del problema.

La aparición de estudios que computan los altos costos económicos que suponen los accidentes al gobierno (alrededor del 1%)

La presión social de la población que pide medidas eficaces contra la inseguridad vial.

El número creciente de vehículos que dispara la accidentalidad.

Para inicios del 2013 en el Área Metropolitana de Bucaramanga inicialmente en el municipio de Floridablanca se comenzaron a implementar las alternativas de control automático del tráfico en virtud de determinar la comisión de una infracción a las normas de tránsito, sin contar con la presencia de los agentes en la vía pública, medida también conocida como foto multas. Figura 7.

Figura 7. Fiscalización electrónica Área metropolitana de Bucaramanga



Fuente: Vanguardia, <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/295421-a-diario-se-imparten-65-fotomultas-en-las-vias-de-floridablanca>, 2015.

2.4 ALTERNATIVAS COMPLEMENTARIAS PREVIAS A LA IMPLEMENTACION DEL COBRO POR CONGESTION.

La medida ofrece oportunidades para mejorar el transporte público y ayudará al Estado a cumplir objetivos puntuales en cuanto a la planeación, control y seguridad del transporte en el territorio nacional con la viabilización del cobro por congestión en las áreas saturadas de vehículos.

2.4.1 Integración tarifaria para el transporte público del área metropolitana de Bucaramanga.

La falta de ofertas tarifarias y el uso del dinero en efectivo a la hora de pagar por el uso del transporte público (para efectos de este trabajo se adopta US\$1 equivalente a \$2.400 COP a 10 de febrero de 2015), ha demostrado ser ineficiente y produce un efecto adverso e incómodo para el usuario. El objetivo de esta propuesta es modificar el actual sistema tarifario del Área Metropolitana de Bucaramanga-AMB respecto al transporte público urbano (buses y colectivos) con el fin de hacer más atractivo la utilización de éste para todos los usuarios. La propuesta consiste en suprimir el uso del dinero en efectivo en el momento de abordar el vehículo de servicio público mediante el uso de tarjetas inteligentes (tarjetas prepago o recargables) [30] o por transferencias de dispositivos inteligentes (smartphone) [31] y ampliar la variedad de ofertas tarifarias del servicio, es decir, que el sistema oferte diferentes paquetes de “viajes” como son el diario, semanal, mensual; además, otorgar descuentos por ser estudiante o por pertenecer a la tercera edad. Todo esto, con el fin de atraer más usuarios.

Actualmente, los conductores de buses colectivos del sistema convencional no reciben un sueldo fijo mensual sino que reciben una comisión por cada pasajero que ingrese al vehículo, que son alrededor de \$100 COP (\approx US\$0,04). Esto genera la tradicional “guerra del centavo” [32], la cual sigue siendo uno de los factores que más deteriora la prestación de un buen servicio. Además, ha propiciado la ineficiencia asignativa al no establecer mecanismo alguno que permita ofrecer combinaciones precio-nivel de servicio, tal que no solo valoren el costo del operador, sino también los del usuario a través de la consideración del tiempo total invertido en el desplazamiento [33], ya que el conductor no ve un pasajero sino una comisión más que va a recibir.

2.4.1.1 Planeación Estratégica del Gobierno Colombiano para Mejorar el Transporte Público y la Gestión de la Demanda en las Ciudades Intermedias

Otro reto del gobierno nacional colombiano para el 2015 será reorganizar el funcionamiento del transporte público y el establecimiento de medidas de gestión de tráfico en las principales ciudades intermedias, con el cual se buscará priorizar el transporte público en corredores específicos, unificar el sistema de recaudo y reestructurar las rutas [34].

El tema, entonces, para la política pública, es definir un proyecto urbano incluyente que genere las condiciones de accesibilidad de personas y bienes a sus lugares de destino como objetivo prioritario en la integración del transporte público, y a futuro la incorporación de un sistema de transporte intermunicipal que involucre un monorriel o un tranvía [35].

La implantación en Colombia de un sistema de transporte público masivo basado en autobuses –BRT (*Bus Rapid Transit*) data desde el año 2000, cuando inicia la operación en la capital colombiana, y desde el 2006 se toma este modelo para las demás ciudades principales [36]. No obstante, al replicarlo no se tuvo en cuenta la calibración de los modelos de transporte como una estrategia de integración por zonas o coronas tarifarias, que además de motivar al viajero a usar el transporte público le permitiera organizar los gastos de desplazamientos, lo cual genera en la operación del BRT deficiencias en su planeación, reducción en la capacidad de movilización de las personas y por otro lado, una disminución de su acceso a los servicios e infraestructura de la ciudad [37].

Parte de la actual problemática de los BRT es el paralelismo del transporte público convencional que combina una oferta descentralizada en contraste con una planeada y gestionada por un agente único o central que presta un servicio de baja calidad y una oferta de infraestructura inadecuada en un contexto de bajas capacidades para la regulación y el ejercicio de la autoridad de transporte [38]. El servicio, prestado por varios actores, que actúan de forma descoordinada, se ha caracterizado por el uso de buses obsoletos, diseño de rutas y operación inadecuadas, y sobreoferta de frecuencias que de una u otra forma le resta usuarios a los Sistemas del Transporte Masivo- STM basado en autobuses.

Una estrategia de integración por zonas o coronas tarifarias daría un mejor balance entre el bienestar de los usuarios, tiempo y calidad del viaje y los costos de operación del sistema. El efecto Mohring [39], explica que la mayor frecuencia de buses genera un mayor bienestar para todos los pasajeros en la ruta porque en promedio esperan menos tiempo que el bus los recoja, en otras palabras, se presenta una “externalidad positiva”.

2.4.1.2 Diagnóstico del escenario base. “Área Metropolitana de Bucaramanga”

Existe un claro déficit de infraestructura vial que impide la comunicación fluida entre los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). Hay un desequilibrio evidente entre la oferta de infraestructura diaria y la creciente demanda permanente. Este desequilibrio se ha convertido en un problema generalizado en el AMB con altos costos sociales que hasta el momento no se han cuantificado.

Para el AMB, se identifican entre otros, los siguientes problemas relacionados con la infraestructura vial y el servicio del sistema de transporte público existente:

Ausencia de control en la urbanización de todos los municipios que conforman el AMB, la construcción de grandes edificios o grandes superficies sin tener en cuenta el incremento

del parque automotor que esto genera, aumentando el desequilibrio entre la oferta de infraestructura vial y la demanda del parque automotor.

La poca cobertura de las rutas alimentadoras del STM dentro del AMB unido a la irregularidad del servicio en cuanto a frecuencias en todas las rutas, han hecho que los usuarios busquen alternativas de transporte diferente al STM.

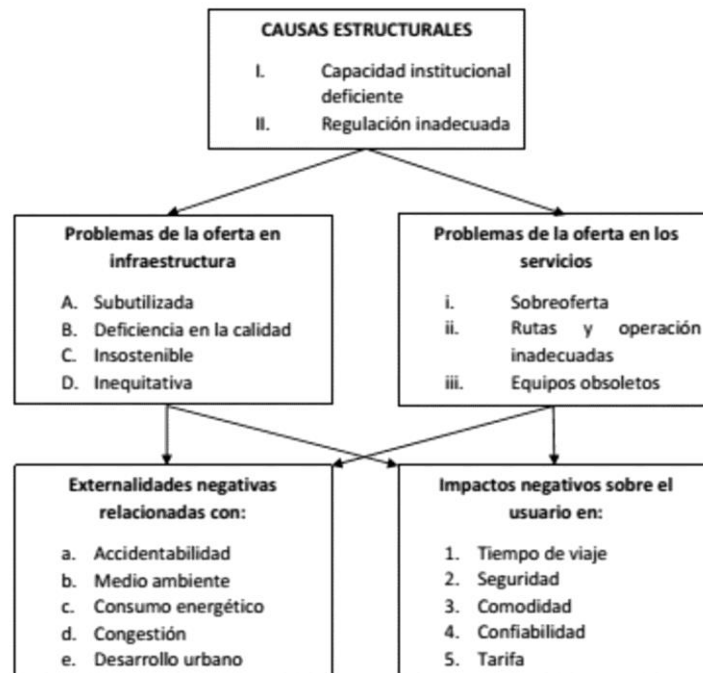
No se percibe un uso eficiente de la exclusividad del carril reservado para el STM.

La incertidumbre en los tiempos de espera durante un viaje en transporte público incentiva el uso del vehículo particular, y el transporte informal como el taxi colectivo y/o el mototaxismo.

Los entrecruzamientos agresivos que realizan los buses padrones del STM entre las estaciones de Cañaveral y Molinos y sobre el viaducto García Cadena para buscar pasajeros en la parada Antonia Santos generan perturbación sobre el flujo vehicular que transita por los carriles mixtos.

Para nadie es un secreto que la coexistencia de los dos sistemas de transporte público de buses con diferentes estructuras tarifarias dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga - AMB- no es eficiente en el tiempo. El sistema convencional, que aún continúa con la guerra del centavo, va en contravía con la política del gobierno nacional orientada a mejorar el servicio de Transporte Público Colectivo Urbano de pasajeros-TPCU [38]. La figura 8 muestra un diagrama de la problemática del sistema de transporte público.

Figura 8. Diagrama problemática del sistema de transporte público



Fuente: Consejo Nacional de Política Económica y Social 3167 de 2002. Ministerio de Transporte. DNP: DIES-GEINF.

Por otro lado, las deficiencias que presenta el STM Metrolínea [40] en cuanto a frecuencia, cobertura, puntos de compra y recargue de tarjetas personalizadas y calidad del servicio, han hecho que los viajeros recurran a modos alternativos de transporte como el mototaxismo, compartir el costo de transportarse en “taxi colectivo”, o el uso de vehículos particulares como taxis “piratas”, etc. Este surgimiento de transporte informal, en Piedecuesta, Girón y la zona norte de Bucaramanga, junto con el incremento permanente de vehículos particulares y motos amenazan el STM del AMB [41].

Dada esta situación, el objetivo se centra en atraer usuarios al STM del AMB. Para ello deben plantearse varias estrategias que involucren entre otras: la construcción y mejoramiento de infraestructura (paraderos, vías, estaciones, bahías de estacionamiento, etc.), incremento de puntos para la compra y recargue de la tarjeta de transporte, mecanismos de información en tiempo real para el usuario, ampliación de cobertura de las rutas alimentadoras, aumento de la frecuencia, implantación de una auditoría interna, mejora en la atención al cliente y modernizar el actual modelo tarifario [42].

Para el prestador del servicio, la tarifa tiene un interés básico, pues la ganancia es la diferencia entre los costos de operación y el ingreso total. Para el pasajero, la tarifa tiene importancia, especialmente en la población de medios y bajos ingresos, por el efecto en sus gastos familiares para transportarse al trabajo, principalmente. Más importante aún es el nivel de servicio mínimo que cubre la tarifa. La posibilidad de llegar sin incertidumbre, sin tener que esperar demasiado y que los vehículos no se dañen son características mínimas deseables por los usuarios del sistema de transporte público. Por su parte, la autoridad como representante del pasajero, debe analizar los costos para determinar si la tarifa es compatible con el servicio ofrecido.

Considerando la demanda inelástica [43] (al variar la tarifa, la cantidad de viajes no varía), la tarifa se determina mediante la ecuación 1:

$$\text{Ecuación 1. Tarifa} = \frac{c(Q) + u}{N}$$

Donde:

$c(Q)$; es el costo que debería depender de la calidad del servicio. Sin embargo, la tarifa es igual para cualquier servicio.

u ; es la ganancia que espera recibir el operador por cada pasajero transportado. La ganancia normalmente se adopta como un porcentaje del costo o del capital invertido para prestar el servicio.

N ; Número de pasajeros (pax) transportados. Este dato hace que el precio por ruta pueda cambiar según la empresa y ciudad.

Al operador le interesa determinar cada costo que implica el proceso de explotación del

TPCU, con el fin de poder estimar el costo total en el cual incurre al prestar el servicio para distintos niveles de producción, pues con base en estos valores podrá determinar el ingreso mínimo que obtendrá por su producto [44].

Los costos totales los puede hallar mediante la agregación de costos fijos y costos variables, utilizando la ecuación 2:

$$\text{Ecuación 2. } CT = CF + N * CV$$

Donde:

CT: Costo Total

CF: Costo Fijo

CV: Costo variable por unidad producida

N: Unidades producidas (en este caso número de pasajeros)

De acuerdo con la resolución 0004350 del 31 de diciembre de 1998 del Ministerio de Transporte en Colombia [45], se estable la siguiente estructura de costos:

- 1) Costos variables: combustible, lubricantes, llantas, mantenimiento, salarios y prestaciones sociales y servicios de estación.
- 2) Costos fijos: garaje, gastos de administración y rodamiento, impuestos y seguros.
- 3) Costos de capital: rentabilidad y recuperación del capital.

Para el STM Metrolínea, se requiere incluir el costo de la tecnología para el cobro de la tarifa y distribución del recaudo, que genera un gasto mensual de operación y mantenimiento. Esta tarea se le encomienda a una empresa encargada del recaudo del sistema de transporte. En el caso de Bucaramanga, esta empresa es TISA S.A., la cual trabaja por comisión por boleto vendido. Esta comisión corresponde al 13.5% del valor del billete de transporte [46]. En el 2014 el valor designado para el STM es de \$1700 COP (US \$0,71), esto significa que TISA S.A. recibe \$229,5 COP (US\$0,095) por cada tiquete.

Ahora bien, tal como se indica en el estudio contratado por el Área Metropolitana de Bucaramanga (2011) [47], la principal fuente de ingresos del STM es la venta diaria de pasajes a la tarifa técnica establecida. Dicha tarifa técnica se cuantifica como una relación del total de los egresos del STM sobre el total de los pasajes validados o pasajeros efectivamente movilizados dentro del sistema. Las tarifas licitadas por los concesionarios se ajustan por periodos semestrales, de acuerdo con el incremento de los costos de operación del Sistema Metrolínea. En particular, la actualización de las tarifas por kilómetro de cada tipo de vehículo se realiza con base en el incremento de costos de la operación [46].

Lo anterior se desarrolla por medio de la ecuación 3:

$$\text{Ecuación 3. } T_{aju_{j,i}} = T_{j,i-1} \cdot \left\{ 1 + \left[(0.67 \cdot VIPC_{i-1}) + (0.13 \cdot VIPP_{i-1}) + (0.2 \cdot VCC_{j,i-1}) \right] \right\}$$

Donde:

$Taju_{j,i}$: Tarifa ajustada para el concesionario para el periodo.

$T_{j,i-1}$: Tarifa del concesionario en el periodo inmediatamente anterior.

$VIPC_{i-1}$: Variación del Índice de Precios al Consumidor certificada por el DANE para el periodo inmediatamente anterior.

$VIPP_{i-1}$: Variación del Índice de Precios al Productor certificada por el DANE para el periodo inmediatamente anterior.

$VCC_{j,i-1}$: Variación del Índice de Costo del Combustible y sus derivados del concesionario j.

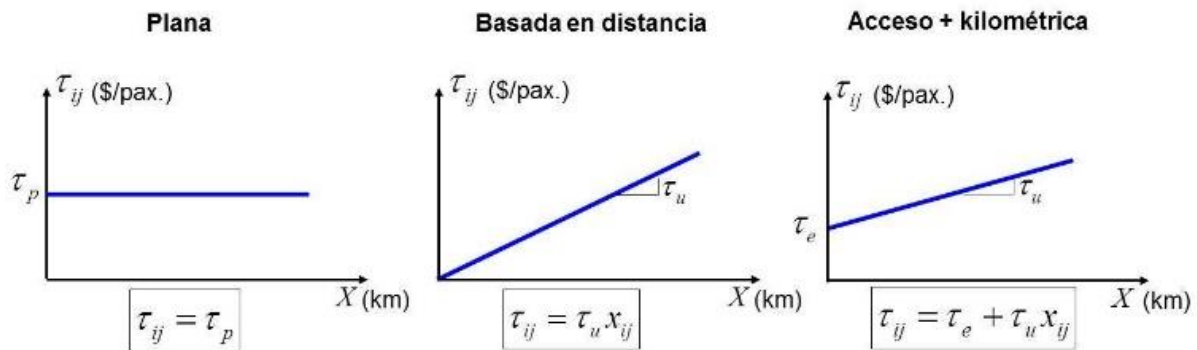
En cuanto a la remuneración que recibe el concesionario durante el término de vigencia de la concesión, el valor está determinado en función de los kilómetros recorridos, los tipos de autobuses que componen su flota, y las órdenes de servicio de operación impartidas por Metrolínea S.A. y que efectivamente son ejecutadas por cada uno de los autobuses que se encuentren vinculados a la operación de Metrolínea, sujeto al nivel de ingresos generados por los viajes que constituyen pago. El ingreso total del concesionario, corresponderá a la sumatoria de los ingresos percibidos por los recorridos de todos los autobuses de su flota en operación, ajustado por un factor de Nivel de servicio.

Tal como se puede apreciar, existe una incoherencia entre el valor de la tarifa kilométrica que el Sistema Metrolínea S.A. paga a los operadores de los autobuses y la tarifa plana que paga el usuario al sistema. Esta tarifa plana (es decir, el costo del pasaje es el mismo) es independiente de la distancia recorrida y del tipo de vehículo que utilice.

Se podría indicar que para el transporte público del AMB se utilizan tres tipos de estructuras tarifarias:

- 1) Tarifa plana para los usuarios que realizan viajes en autobús bien sea del transporte tradicional o del sistema masivo, $\tau_{ij} = \tau_p$ donde τ_{ij} es la tarifa origen destino y τ_p es la tarifa plana.
- 2) Tarifa kilométrica para el concesionario operador de los buses de Metrolínea $\tau_{ij} = \tau_u \cdot x_{ij}$, donde τ_{ij} es la tarifa origen destino, τ_u tarifa unitaria y x_{ij} trayecto recorrido entre el origen y destino.
- 3) Tarifa compuesta, es decir, de acceso y kilométrica que la pagan los usuarios que utilizan el taxi $\tau_{ij} = \tau_e + \tau_u \cdot x_{ij}$, donde τ_{ij} es la tarifa origen destino, τ_e tarifa de acceso, τ_u tarifa unitaria y x_{ij} trayecto recorrido entre el origen y destino. [48], ver Figura. 9.

Figura 9. Estructura tarifaria aplicada al transporte público en el AMB



Fuente: Salas, 2009

El uso del paralelismo de dos sistemas de buses públicos existentes en el AMB, complica una gestión de tarifas. El sistema convencional es de baja eficiencia, con bajo nivel de calidad, bajos niveles de comodidad, seguridad y tiempos de viaje que no corresponden con las distancias recorridas. Ante esta situación, las autoridades han tenido durante mucho tiempo un papel pasivo, generalmente por falta de recursos humanos y técnicos. El mismo cálculo de la tarifa, en muchos casos, se basa en informaciones precarias, de baja confiabilidad y con metodologías muy genéricas que no consiguen justificar los resultados obtenidos. Esto es, la falta de un sistema de registro de informaciones básicas del STP que impiden la gestión de las tarifas de manera apropiada [49].

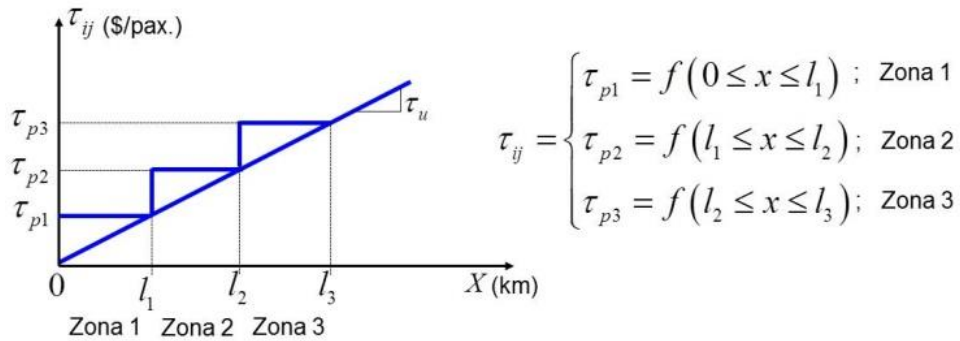
2.4.1.3 Modelo tarifario a implementar en el transporte público del AMB

La integración tarifaria es el elemento fundamental para disuadir la guerra del centavo y prestar un servicio de transporte público eficiente a todas las personas que desean movilizarse. En este sentido, se debe hacer una revisión de las actuales condiciones de remuneración a los transportadores para que se establezca un pago por pasajero transportado dependiendo del trayecto realizado, definiendo una estructura tarifaria en función lineal creciente a lo largo de su recorrido aplicada sobre la demanda.

La propuesta consiste en estructurar una estrategia tarifaria que se ajuste a las distancias recorridas por el usuario; es decir, establecer unas coronas tarifarias para el AMB que permitan diferenciar entre aquellos usuarios que se mueven en trayectos cortos y otros que recorren grandes distancias para llegar a su destino. La Figura. 10 muestra la estructura tarifaria propuesta, en la cual a partir de una tarifación kilométrica, se establezcan zonas con tarifas planas que permitan cubrir los costos que genera el servicio de transporte público. En este caso, la tarifa plana 1 (τ_{p1}) es menor ($\tau_{p1} < \tau_{p2} < \tau_{p3}$) que la tarifa plana de las demás zonas que conforman el área que cubre el transporte público. La idea es que la tarifa plana 1 llegue hasta los sectores de mayor demanda del servicio colectivo y pueda llegar a cubrir distancias del orden de los 15 km. Todo dependerá de la topología del territorio dentro del que se encuentre inmerso el servicio de transporte público.

Figura 10. Estructura Tarifaria para el transporte público en el AMB

ESTRUCTURA DE ZONIFICACIÓN TARIFARIA

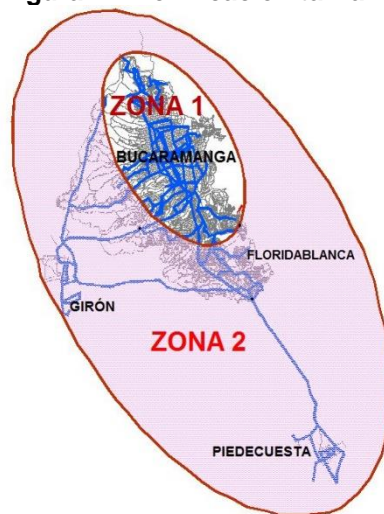


Fuente: Salas, 2009

Dado que actualmente se les cobra una tarifa plana para todos los usuarios sin tener en cuenta si el viaje es corto o largo en distancia, pero el gestor les reconoce a los operadores una tarifa kilométrica que no es equivalente a los ingresos recibidos, se estructura una zonificación tarifaria que sea más equitativa.

A partir del diagnóstico y de la topología tipo elipse (con el eje mayor en el sentido Sur-Norte) de Bucaramanga y los municipios vecinos que conforman el AMB, la zonificación tarifaria que se propone constará de dos zonas, tal como se ilustra en la Figura 11.

Figura 11. Zonificación tarifaria



Fuente: Salas, 2009

La primera zona busca cubrir la mayor parte de los barrios de Bucaramanga, sobre todo, los sectores de menores ingresos como el norte, la Joya y Morrорico, y otros más alejados del barrio Provenza. También cubre algunos barrios de Floridablanca como La Cumbre, El Molino y una parte del sector del Bosque, pero no cubre el sector de Cañaveral, Lagos y las zonas centro y sur. En total se tendría un recorrido sur-norte de aproximadamente 13 km y

en trayectos occidente – oriente del orden de los 7 km. Esta distribución se ajusta, para un sistema tronco alimentador, ya que las vías actuales en el sentido sur-norte poseen la capacidad suficiente para trasvasar los volúmenes de pasajeros que provienen de los sectores del occidente y del oriente del Área. La tarifa a cobrar sería la que corresponde al año 2015, es decir \$1850 pesos (US\$0,77).

La zona 2 cubre toda la parte externa de la zona 1 y abarca toda el AMB, e inclusive puede llegar a cubrir los municipios de Lebrija y Ríonegro. Los recorridos superan los 30 km en el sentido sur-norte y llega hasta los 20 km en el sentido occidente –oriente. En este caso se busca que los usuarios optimicen el número de viajes que realizan hacia el nodo de Bucaramanga, dado que la tarifa plana que regiría para esta zona sería del orden de los \$2050 COP (US\$0,85). También, se pretende que el sistema tronco alimentador permita que los alimentadores sean apoyados por los buses complementarios dentro de la red de cada municipio y realicen la descarga de pasajeros en las grandes terminales para que sean transportados por los buses del STM Metrolínea.

De esta manera, se evitaría que los buses que actualmente recorren los municipios se desplacen por los corredores troncales hasta distancias superiores a los 50 km, incrementando notablemente los costos de operación y generando externalidades negativas contraproducentes para el servicio de transporte público [50]. Se destaca que aquellos usuarios que se movilizan por una de las zonas, ya sea la uno o la dos exclusivamente, solo deberán asumir el costo de una zona. Aquí es muy importante la herramienta tecnológica para evitar el fraude, pues es a través del billete del transporte que se sabe dónde se ingresa y dónde se finaliza el viaje.

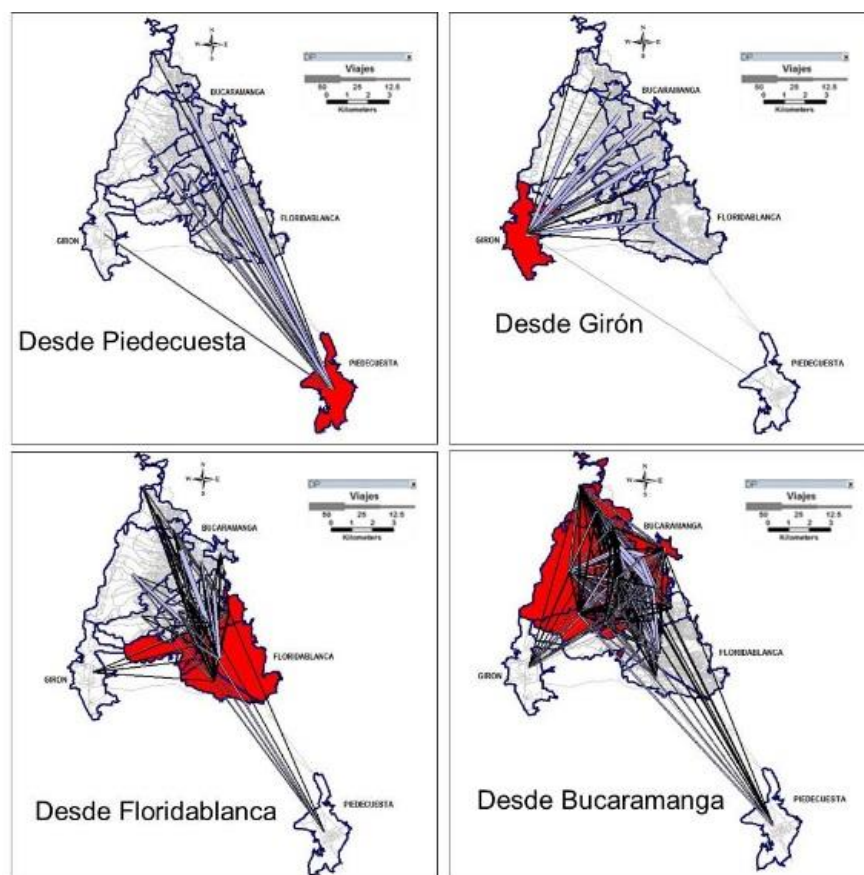
A través de una estrategia tarifaria basada en zonas, se podría implantar una mejor integración tarifaria entre los sistemas de transporte público colectivo convencional y el masivo, estableciendo recorridos cortos para el primero y recorridos más largos para el segundo. De esta manera, se lograría una cobertura del 100% en la prestación del servicio de transporte público de cada uno de los municipios que conforman el Área y se reduciría el mototaxismo que cada día gana más espacio y aceptación en los habitantes de las periferias; al no tomar medidas concretas para eliminar el peligroso avance que ha adquirido éste en el AMB, todos los esfuerzos por mejorar el transporte masivo serían inútiles.

Tecnológicamente se ajustarían todos los autobuses de servicio público colectivo convencional para el cobro de la tarifa y se eliminaría mediante reglas claras de operación la guerra del centavo. Con ello habría mayor accesibilidad y cobertura, y mejores posibilidades de recarga de las tarjetas de pago [51].

El soporte para instaurar una tarifación basada en zonas se establece en la producción y atracción de viajes (modelo de generación de viajes) [52] que ejerce Bucaramanga sobre los demás municipios que conforman el AMB, sobre todo en la concentración de viajes durante las horas punta. Tal como se aprecia en la Figura. 12, las líneas de deseo de viajes de todos los municipios del Área permite pronosticar que a futuro deberán imperar zonas tarifarias, dada la mayor concentración de viviendas en Bucaramanga y los crecimientos poblacionales que se están presentando en los otros municipios.

Las líneas de deseo para cada municipio reafirman los patrones de viajes radiales en el caso de los municipios de Girón y Piedecuesta hacia el centro metropolitano; para el caso de Bucaramanga y Floridablanca se observa una mayor distribución de los viajes dentro de Bucaramanga, que se mantiene como el principal atractor del resto de los viajes de transporte público del AMB.

Figura 12. Líneas de deseo de viajes durante las horas punta para cada Municipio del AMB



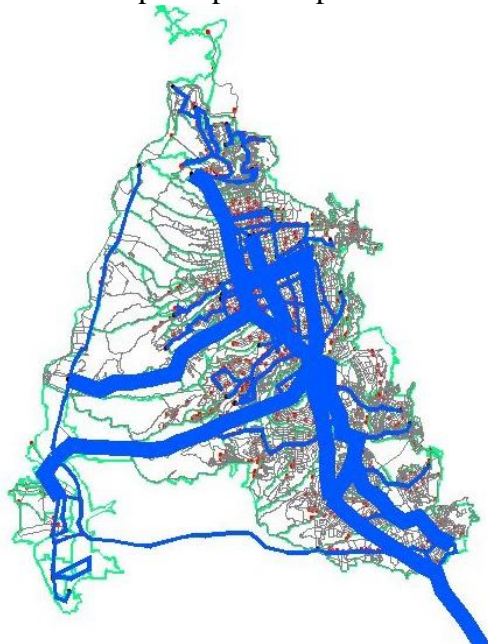
Fuente: UIS, 2011

Otro aspecto importante a considerar es la relación de la demanda de transporte público con la oferta diaria, es decir, se requiere identificar principalmente la forma como se distribuyen los viajes sobre los corredores de transporte. A partir de un modelo de asignación y de varias iteraciones para calibrar la red a partir de la información de las matrices de viajes origen / destino que posee el Área Metropolitana de Bucaramanga sobre la red de transporte, se determinó de manera preliminar los corredores más utilizados por todo el sistema de transporte público (incluye el transporte masivo y el colectivo tradicional) [47].

En la Figura 13. se ilustra que las mayores demandas se presentan en los corredores longitudinales de la vía metropolitana Piedecuesta – Bucaramanga, Carrera 15, Carrera 21, Carrera 27 y Carrera 33; siendo éstos los que conectan los municipios con la centralidad del

área metropolitana. Además, se aprecia que dada la morfología del AMB se presenta un territorio alargado en dirección sur-norte y más limitado en su crecimiento en la dirección occidente-oriental, dados los cerros orientales que bordean a la capital santandereana. Las vías principales, que son pocas en la dirección sur-norte, actúan como los corredores troncales fundamentales desde el norte de Bucaramanga hacia las zonas de expansión fuera de la meseta que son Floridablanca, Piedecuesta y Girón.

Figura 13. Demanda de transporte público por los corredores viales del AMB



Fuente: Elaboración propia a partir de UIS, 2011

De acuerdo con los estudios adelantados [47], se determinó que la demanda total calculada es de 482.789 pasajeros segregados en el transporte público colectivo convencional (407.797=84,5%) y masivo (74.992=15,5%). Esta distribución de viajes implica que debe existir una mejor regulación de todo el transporte público para el AMB buscando la integración entre estos dos sistemas más que la competencia desequilibrada que actualmente está generando deficiencia en el servicio de transporte. De ahí que la propuesta sea apuntarle como meta futura a un Sistema Integrado de Transporte Público SITP.

Por otro lado, estos mismos estudios realizados para el AMB en 2011 indican que para ese año (no había entrado en operación la fase 2 del STM), existían 62 rutas del transporte público colectivo convencional (autorizadas a 12 empresas, operando con una flota de 1401 unidades) que recorrían un total de 2077 km (equivalente al 0,25% del total de la malla vial de los municipios que conforman el AMB) de la red vial. Un hecho que preocupa es que “La superposición de rutas en el transporte convencional y la diversidad de destinos es la principal característica del sistema actual. Las rutas cubren en promedio 33,5 Km de vía por ruta, las que presentan recorridos que son superior a los 50 km corresponden a la ruta 38 de la empresa Transpiedecuesta, las rutas 56 y 57 que corresponden a la empresa Villa de San Carlos y las que presentan una longitud de recorrido inferior a los 15 Km corresponden a la ruta 3 (Álvarez – La Joya) de Unitransa y la ruta 16 (La Feria) de TransColombia” [47].

Para el 2011 la tarifa plana cobrada a los usuarios era de \$1550 pesos (0,62USD) igual que para el STM. Estas diferencias de distancias recorridas son las que animan a establecer tarifas diferenciadas por zonas enmarcadas en un SITP.

A través del estudio de las soluciones que se plantearon para las grandes urbes del mundo tales como Estocolmo, Londres, Oslo, Trondheim, Berge, etc. con la implementación de la integración tarifaria del sistema de transporte público mediante cordones tarifarios, se establece la posibilidad de aplicar éstos al Área Metropolitana de Bucaramanga en Santander, Colombia, pues generaría un concepto de movilidad sostenible, el cual denomina al transporte organizado que optimiza el consumo de energía, los plazos, los trayectos y las condiciones de transporte de manera que el disfrute de un servicio hoy no hipoteque las posibilidades de disfrute de las futuras generaciones.

Para esto se requieren acciones que proporcionen una solución eficaz a los problemas de cobertura, calidad, frecuencia y rutas en toda el AMB. La solución que concentra dichas acciones debe ir enfocada en la implantación de un SITP, tal como se ha hecho en diversas ciudades del mundo. Además de una mejor planeación del territorio, cambios en los usos del suelo, establecimiento de una jerarquización vial según la capacidad, mejorar la accesibilidad y el dar prioridad a las rutas del transporte público, los SITP plantean la integración técnica, operativa y tarifaria de los diversos modos de transporte público colectivo, y de esta manera, poderlo integrar con el sistema de transporte masivo –STM que sería la columna vertebral de todo el sistema.

A nivel institucional, la tendencia debe apuntar hacia la creación de una Autoridad de Transporte Metropolitano que sea la encargada de planear, gestionar y rentabilizar el proyecto, tal que se mejore cada día la calidad de vida en el área metropolitana de Bucaramanga al disminuir los tiempos de viaje entre los diferentes municipios del AMB a través de un servicio público accesible para todas las personas en el cual se satisfaga la movilidad sostenible, y a la vez, el sistema oferte diferentes paquetes de “viajes” como son el diario, semanal, mensual, además de otorgar descuentos por ser estudiante o por pertenecer a la tercera edad. Todo esto, con el fin de ser más equitativos con los usuarios que por su ubicación están más retirados del centro de la ciudad.

La integración tarifaria es el elemento fundamental para disuadir la guerra del centavo y prestar un servicio de transporte público eficiente a todas las personas que desean movilizarse. En este sentido, se debe hacer una revisión de las actuales condiciones de remuneración a los transportadores para que se establezca un pago por pasajero transportado dependiendo del trayecto realizado.

Dado que son los municipios de Bucaramanga y Floridablanca los que generan una mayor cantidad de viajes entre ellos, se infiere que una zona tarifaria la deberían constituir estas dos poblaciones.

2.4.2 Implementación del taxi compartido.

Dentro de los modos de transporte más frecuentes que utilizan las personas para llegar a los aeropuertos, centros comerciales, lugares de trabajo y lugares de ocio entre otros, están el auto particular y el taxi individual, los cuales de una u otra forma son elegidos por su disponibilidad inmediata, comodidad y seguridad. Luego es frecuente, observar taxis entrar y salir de diferentes zonas del área metropolitana [53] y fuera de la urbe [54] con una sola persona. Esta situación es ineficiente, ya que cada taxi que circula con esa mínima ocupación produce el mismo daño (congestión, emisión de contaminantes, ruido, accidentalidad, etc.) a la sociedad, que vehículos transitando con mayor ocupación [43], razón está que se debe tener en cuenta para ser incluida como medida complementaria al cobro por congestión, las cuales teniendo en cuenta los casos internacionales y las investigaciones locales resultados que muestran un 33% de disminución de viajes a los diferentes destinos elegidos por el usuario en taxi con único pasajero, lo que genera beneficios en disminución de emisiones de CO₂, congestión y un uso eficiente de la infraestructura por carretera y la optimización de la flota de taxis.

2.4.3 Cobro del efecto barrera causado por el transporte en áreas metropolitanas.

Se debe discutir este cobro en torno a cómo afecta la infraestructura vial, considerando la externalidad producida por el efecto barrera. De igual manera se debe analizar acerca de los efectos que ésta produce en los individuos expuestos a cambios en su entorno o territorio. Analizando la construcción continuamente de infraestructuras para disminuir la congestión lo que genera un efecto barrera en lo referente a retrasos, malestares y falta de acceso que el vehículo impone a los modos no motorizados, consecuente con esto las nuevas o amplias carreteras urbanas presentarían rupturas tendientes a crear una barrera para los peatones y ciclistas.

Es así que el efecto barrera es equivalente a la reducción de los desplazamientos cortos debido a las dificultades para desplazarse, al aumento de los recorridos y al peligro de accidentes, cambiando esto con la distribución del espacio local debido a las dificultades de la interacción social, separación de las comunidades y finalmente a las modificaciones del funcionamiento del cambios en su utilización. Es así que una forma de solucionar esta dificultad es implementar gestiones de la demanda que aprovechen las infraestructuras existentes disminuyendo las soluciones de corto plazo en zonas urbanas como ampliación de vías.

CAPITULO 3

3. GESTIÓN DE LA DEMANDA VEHICULAR, MOVILIDAD, BIENESTAR SOCIAL, COSTO DE LOS USUARIOS Y EFECTOS EXTERNOS.

3.1 INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana de Bucaramanga se ha densificado con el consecuente aumento del parque automotor, ocasionando problemas de movilidad en sus principales vías especialmente en las horas punta en la cual se tiende a alcanzar la capacidad máxima. Teniendo en cuenta este escenario surge la necesidad de implementar estrategias de soluciones definitivas en las áreas de congestión donde la infraestructura vial ha presentado rezago y el uso del suelo ha restringido las posibles soluciones de expansión de la oferta, con el consecuente incremento de las externalidades negativas y las afectaciones al bienestar social, económico y ambiental, es así como mediante la gestión de la demanda se plantearán criterios para viabilizar el cobro por congestión de algunas vías saturadas de vehículos en Bucaramanga teniendo en cuenta las experiencias internacionales. En este capítulo se considerarán las proyecciones de tráfico, las capacidades de servicio, rutas alternas y zonas de influencia, como también la normatividad vigente que fijan los parámetros para la regulación de las tasas por congestión de la infraestructura vial en Colombia. Este planteamiento contribuirá a la reducción de los indicadores de accidentabilidad, al control regulado del uso del vehículo particular en general a la disminución de externalidades negativas y a la internalización de los costos que se causarían al entorno y la población que lo ocupa.

Siendo así las cosas, se estudiará el planteamiento de una estrategia óptima de tarifación para minimizar la congestión en la ciudad de Bucaramanga y disminuir los impactos negativos, que conllevarán a mejorar los servicios en términos de velocidad, tiempo y confort, creando con esto un modelo de ciudad más sostenible en lo ambiental y en lo social, priorizando el uso del transporte público sobre el privado e implementando soluciones complementarias para la movilidad peatonal y la utilización de medios de transportes no motorizados.

De igual manera se analizará la implantación de una política tarifaria como respuesta de los gobiernos para reducir los efectos externos negativos que produce una mayor movilidad por el viaducto García Cadena. Se muestra cómo el avance tecnológico para el cobro del peaje ha permitido generar diversas tipologías tarifarias y se resumen algunas experiencias internacionales de sus aplicaciones. Estas experiencias indican que para disminuir las barreras de aceptabilidad pública y política, el sistema tarifario implantado debe ir acompañado de medidas complementarias que proporcionen a los usuarios del viaducto García Cadena incentivos apropiados para modificar su conducta de viaje.

El concepto tarifario conocido como road pricing (Tarifación por uso de la carretera), que establece que los conductores deberían pagar directamente una tarifa que corresponda al costo marginal social del viaje, incluyendo los costos de congestión permite optimizar el uso de las vías urbanas, captar recursos para la financiación de infraestructuras y su mejoramiento e innovar en el servicio de transporte público. Road pricing constituye parte de una estrategia integral para gestionar la congestión conocida como value pricing (cobro por congestión), donde además de disuadir el uso de la carretera, se busca disminuir el uso del vehículo y optimizar el uso de los estacionamientos y el transporte público.

Las medidas de value pricing están evolucionando hacia el concepto de service pricing donde los usuarios de la vía reconocen el pago de la tarifa a cambio de un “valor social” que reciben. Este valor social se cuantifica a través de un servicio de calidad que sería ofrecido por el operador de la infraestructura y se mide a través de diversos indicadores, entre ellos el mantenimiento y la conservación de las carreteras, la seguridad vial, los tiempos de viajes, su fiabilidad, etc.

3.2 DESEO PERMANENTE DE UNA MAYOR Y MEJOR MOVILIDAD

Como consecuencia de la globalización se incrementa el flujo poblacional tanto en las principales ciudades como sus entornos metropolitanos, dando como resultado un crecimiento notable de los viajes de personas y de carga en todos los modos de transporte, siendo el transporte por carretera el que predomina respecto a los demás tanto en movilidad de pasajeros como de mercancías.

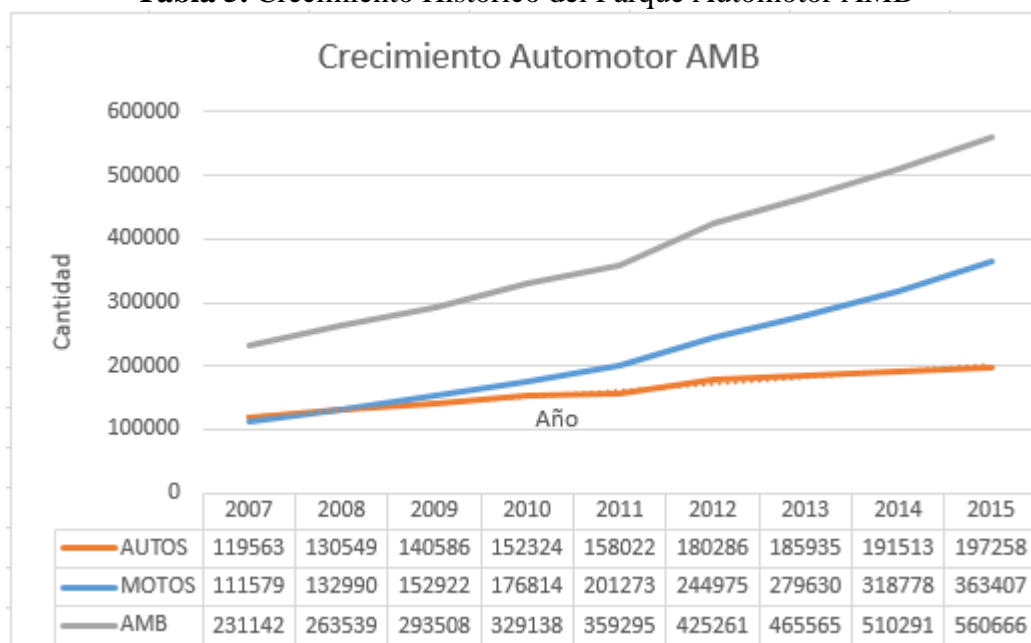
De acuerdo con el Libro Blanco [53], la movilidad de las personas ha pasado de 17 kilómetros diarios en 1970 a 35 kilómetros en 1998. En Cataluña por ejemplo, la distancia media recorrida de los desplazamientos se ha incrementado en un 35% en los últimos 20 años, afianzándose el efecto de los commuters (viajes regulares hogar-trabajo y viceversa). La accesibilidad se contempla como un derecho en igualdad de condiciones que otras políticas sociales de bienestar con el agravante de “bien de demanda infinita”.

Sumado a lo anterior, las grandes distancias por recorrer tanto a nivel interurbano como metropolitano y las ventajas que produce el vehículo particular (mayor movilidad, comodidad, libertad, status, disponibilidad, servicio puerta a puerta, etc.) han hecho que el crecimiento de este modo sea considerable y por ende el de la movilidad, tal como se ilustra en la Tabla 5.

La respuesta dada para satisfacer las expectativas crecientes de una movilidad que exige un servicio eficiente y de calidad, ha sido la de ofrecer un mayor número de infraestructuras que permitan la cohesión y capilaridad del territorio para hacerlo accesible tanto a las relaciones sociales como a la producción de bienes y servicios, además de una red de transporte integrado con conexiones cómodas entre los diferentes modos de transporte. Las zonas y regiones que han apostado por esta solución han aumentado su productividad pero a cambio están conviviendo con los problemas sociales que origina el incremento permanente del tráfico automotor.

Un aumento en la oferta de infraestructura no siempre es una buena solución. Por un lado, existe gran escasez de territorio en el Área Metropolitana de Bucaramanga y por otro, se ha demostrado que el aumento de más vías atrae más tráfico o permite que sus usuarios realicen viajes o recorran kilómetros adicionales. Este uso añadido de infraestructura origina un costo adicional sobre los mismos conductores, sobre el proveedor de la infraestructura, sobre otros usuarios y sobre el resto de la sociedad.

Tabla 5. Crecimiento Histórico del Parque Automotor AMB



Fuente: Secretaria de Transito de Girón y Florida Blanca, Inspección de transito de Piedecuesta, Dirección de Transito de Bucaramanga. Febrero de 2014

Es así, que para reducir los costos externos, la respuesta es la gestión de la movilidad en las infraestructuras y para ello los gobiernos están empleando una estrategia amplia que involucra instrumentos de tipo económico (cobro de una tarifa por congestión) y otras medidas complementarias que proporcionen a los usuarios del transporte incentivos apropiados para modificar su conducta de viaje y de esta forma optimizar el uso de las vías, captar recursos para el mantenimiento de infraestructuras y mejoramiento e innovación en el servicio de transporte público.

3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y RUTAS ALTERNAS.

3.3.1 Características Físicas del Sector Analizado.

De acuerdo con la identificación del tramo en estudio correspondiente a la Autopista a

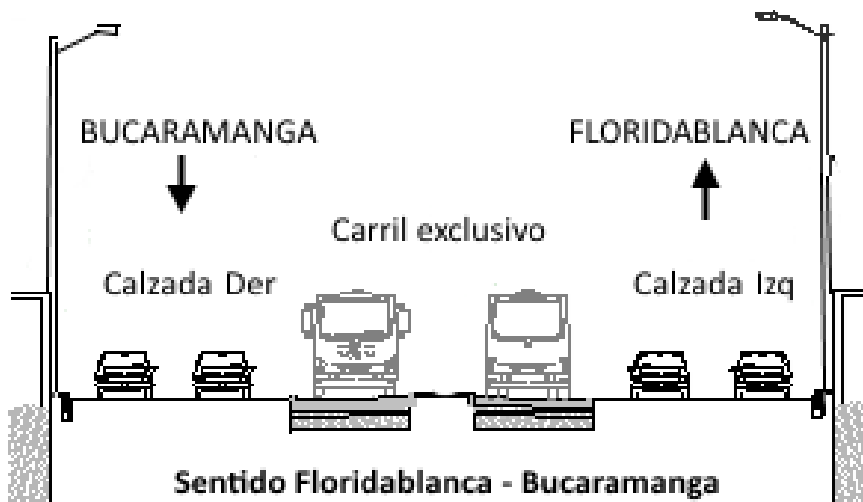
Floridablanca desde la Puerta del Sol hasta el Puente Provenza, se identificaron las condiciones geométricas de la vía y vías alternas que los usuarios podrían tomar en caso de implementarse en la zona del viaducto García Cadena un pórtico para el cobro por congestión. Para lo cual se tiene según Tabla 6 y Figura 14, las características del sector.

Tabla 6. Características del corredor desde la Puerta del Sol al Puente Provenza

Tramo Autopista a Floridablanca desde	Nº de calzadas	Nº de carriles	Ancho de carril	Ancho de separador	Observación
Puerta del Sol hasta Antonia Santos	2	6	3,50	2,5	De los cuales 2 carriles están destinados al sistema de transporte masivo construido en pavimento rígido y el resto al servicio de la comunidad en pavimento flexible
Antonia Santos hasta Diamante II	2	6	3,50	Variable	
Diamante II hasta Provenza	4	10	3,50	Variable	

Fuente: Autor

Figura 14. Perfil vial correspondiente a la zona del viaducto García Cadena








Fuente: Autor

3.3.2 Características del tránsito en vías alternas.

La información de volúmenes vehiculares se basó en información recolectada el día 27 de Noviembre de 2012 para el estudio del tercer carril en la zona [54], para los cuales se tuvieron en cuenta las horas pico de la mañana, medio día y tarde. Durante el

procesamiento de dicha información y para la determinación de los vehículos mixtos, en la tabla 7 se muestran las vías alternas y su configuración vehicular.

Tabla 7. Vías Alternas y Configuración Vehicular

Vía Alterna	Ubicación	Hora de Máxima Demanda y Volumen Vehicular Mixtos	Composición hora de máxima demanda
Intersección Vía Antigua con Calle 64		12:00 a 13:00 3000 veh-mix	78% autos 21% motos 0,2% buses 0,8% camiones
Intersección Vía antigua Con Calle 93		7:00 a 8:00 4280 veh-mix	54% autos 41% motos 3,5% buses 1,5% camiones
Intersección Carrera 30 con calle 67		18:15 a 19:15 5284 veh-mix	72% autos 27% motos 0,6% buses 0,4% camiones
Transversal Oriental con Transversal 93		18:15 a 19:15 1919 veh-mix	54% autos 40% motos 4,7% buses 1,3% camiones
Diagonal 105 con Calle 107		7:00 a 8:00 1582 veh-mix	49% autos 45% motos 3,8% buses

			2,2% camiones
Calle 105 con Carrera 25		11:45 a 12:45 458 veh-mix	62% autos 35% motos 0,4% buses 2,6% camiones
Intersección Calle 105 con Carrera 19		18:00 a 19:00 5156 veh-mix	48% autos 47% motos 2,7% buses 2,3% camiones
Calle 105 con Carrera 16		18:00 a 19:00 5156 veh-mix	49% autos 43% motos 5,2% buses 2,8% camiones

Fuente. Informe de Plan de Manejo de Trafico MBGA-042/2012-ITE-F3-VOL10-PMT-V3

3.3.3 Velocidades.

En este numeral se muestra el comportamiento de los tiempos de recorrido y demoras sobre el corredor analizado, visualizando los resultados de las velocidades resultantes, en la horas pico y valle tramo entre el Puente Provenza y el Intercambiador Vehicular de la Puerta del Sol.

A continuación se relacionan las velocidades promedio para el día más cargado, correspondiente al día viernes, ajustado de acuerdo a los cambios por la salida de los buses convencionales de transporte público y a la restricción del uso del carril solo bus a los vehículos privados, las velocidades resultantes promedio por periodo del día diferenciando las horas pico y las horas valle ver Tabla 8. Velocidades Zona Analizada

Tabla 8. Velocidades Zona Analizada Puente Provenza – Puerta del Sol.

Sentido Sur - Norte						
Sector	Inicio	Final	Hora Punta (Km/h)		Hora Valle (Km/h)	
			Autos	Buses	Autos	Buses
1	Provenza	CAI Motoreste	14,69	41,36	40,85	39,9
2	CAI Motoreste	Antonia Santos	13,05	11,51	26,26	20,9
3	Antonia Santos	Acceso Carrera 33	14,83	10,63	26,16	24,9
4	Acceso Carrera 33	Puerta del Sol	17,86	15,05	28,76	26,5
Sentido Norte - Sur						
Sector	Inicio	Final	Hora Punta (Km/h)		Hora Valle (Km/h)	
			Autos	Buses	Autos	Buses
1	CAI Motoreste	Provenza	12,76	11,07	42,41	30,0
2	Antonia Santos	CAI Motoreste	16,29	11,28	38,79	24,5
3	Acceso Carrera 33	Antonia Santos	24,02	14,38	43,84	27,0
4	Puerta del Sol	Acceso Carrera 33	25,85	39,13	54,97	37,1

Fuente: Informe Tercer carril, 2013

3.4 ANÁLISIS SIGNIFICATIVO DE LA CONGESTIÓN EN FUNCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA.

3.4.1 El problema de capacidad

La medición de los ahorros de tiempo está relacionada con los problemas de capacidad. Las infraestructuras de transporte presentan características altamente diferenciadas entre los distintos modos de transporte en cuanto a sus aspectos tecnológicos, cada tipo de

infraestructura (y no cada modo de transporte) tiene sus propias características tecnológicas que vienen marcadas por cuál es su funcionalidad dentro de un sistema de transporte, por el tipo de vehículos y por la operación de los mismos. Sin embargo, pese a las diferencias tecnológicas entre tipos de infraestructuras de transporte, todas ellas comparten una característica común que las define y que desde un punto de vista conceptual constituye la definición de capacidad: flujo máximo de vehículos por unidad de tiempo (coches, aviones, trenes o buques), o bien de usuarios finales (pasajeros, mercancías), con unos niveles determinados de calidad y seguridad ver Tabla 9 factores de capacidad para infraestructura del transporte terrestre.

Igualmente, las medidas de capacidad de infraestructuras requieren disponer de una referencia temporal que se recoge en la definición: los flujos son por unidad de tiempo. La cual varía según los casos. Generalmente, la utilización de flujos por hora va a ser la medida más común, si bien en otros casos para el cálculo de tiempos puede que sea suficiente utilizar referencias temporales más amplias como el año. En todo caso, al medir la capacidad máxima de una infraestructura es importante distinguir dos conceptos distintos:

- **Capacidad máxima teórica:** viene determinada por el diseño de la infraestructura (características físicas, dimensiones, equipamientos complementarios, etc.) y atienden a unos determinados niveles de calidad y seguridad.
- **Capacidad máxima operativa:** generalmente es superior a la capacidad teórica, ya que normalmente siempre es posible acomodar flujos superiores a los flujos máximos de referencia, aunque inevitablemente empeorando las condiciones de calidad para los usuarios.

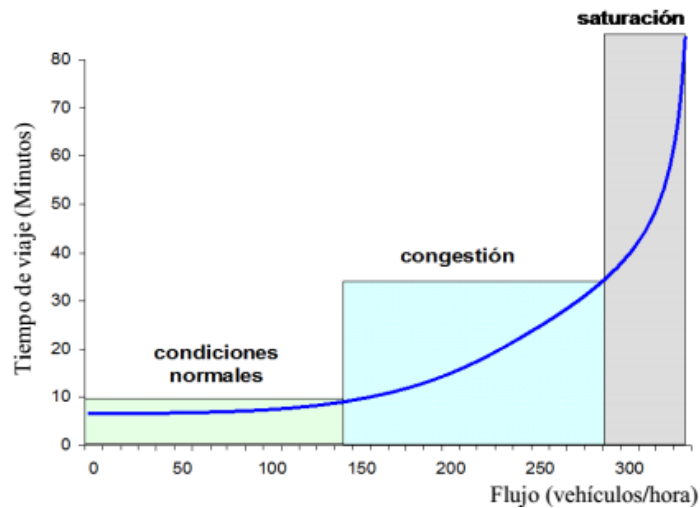
Tabla 9. Factores de capacidad para infraestructura del transporte terrestre.

Modo	Características Principales	Unidad de Medida	Consideraciones adicionales
Carreteras	Número de carriles y anchura de la carretera. Carretera de alta capacidad.	Vehículos/hora	Porcentajes de Tráfico de vehículos pesados

Fuente: Autor

A partir de estas relaciones funcionales, los flujos de vehículos o usuarios pueden clasificarse en tres rangos: niveles bajos de tráfico para los que se dan las condiciones normales de uso (la interacción entre vehículos o usuarios es mínima para esos niveles), una segunda fase en la que surgen problemas de congestión y aumentos de tiempos y finalmente una tercera fase de saturación, que se produce cuando los flujos sobrepasan un determinado umbral y los tiempos se disparan. Ver figura 9. Niveles de servicios y Grado de uso de la capacidad.

Figura 15. Niveles de servicios y Grado de uso de la capacidad



Fuente: Abril et al (2008)

La existencia de este tipo de relaciones funcionales entre el flujo de vehículos/hora y los tiempos de viaje de los usuarios resulta de gran utilidad para la evaluación de proyectos de transporte en los cuales se consigue una ampliación significativa de la capacidad ver Tabla 10. Parámetros Básicos de referencias.

Tabla 10. Parámetros Básicos de Referencias

Tipos de infraestructura	Segmentos de autopistas				Carreteras de doble calzada			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad con niveles de circulación bajos	120	110	100	90	100	90	80	70
Capacidad, Q (veh/h)	2.400	2.350	2.300	2.250	2.200	2.100	2.000	1.900
Densidad según la capacidad, K_n	28	28	28	28	25	26	27	28
Velocidad según capacidad, V_n (km/h)	85,7	83,9	82,1	80,4	88	80,8	74,1	67,9
Ratio de velocidad, V_n/V_f	0,71	0,76	0,82	0,89	0,88	0,9	0,93	0,97
Tiempo de viaje con niveles de circulación bajos, t_f (s/km)	30	32,7	36	40	36	40	45	51,4
Tiempo de viaje según capacidad	42	42,9	43,8	44,8	40,9	44,6	48,6	53,1
Tiempo de retraso según capacidad	12	10,2	7,8	4,8	4,9	4,6	3,6	1,6
Intervalo de tiempo medio entre vehículos según capacidad	1.500	1.532	1.565	1.600	1.636	1.714	1.800	1.895
Espaciamento medio según capacidad	35,7	35,7	35,7	35,7	40	38,5	37	35,7
Limite de flujo para velocidad con baja circulación	1.300	1.450	1.600	1.750	1.400	1.400	1.400	1.400
Grado de saturación en q_0 ($x_0 = q_0 / Q$)	0,54	0,62	0,7	0,78	0,64	0,67	0,7	0,74
Los datos de esta tabla representan las condiciones para pasajeros en vehículos en un solo carril								

Fuente: Transportation Research Board. (2000)

3.4.2 Cambios en los efectos externos

Cuando la producción o el consumo de bienes provocan efectos sobre terceros estamos en presencia de una externalidad (por ejemplo, contaminación o congestión que sufren los habitantes de una Área por la que pasa un medio de transporte que no utilizan). Tanto si la externalidad se internaliza (impuestos pigouvianos) como si no, el coste social que supone hay que contabilizarlo.

Aunque las externalidades pueden ser positivas o negativas, nos referimos aquí a las negativas. Las positivas son tratadas en los efectos económicos adicionales, por ejemplo las economías de aglomeración, o en el caso del efecto Mohring, a efectos de evaluación, estará incluido en los efectos directos para el tráfico existente y desviado, y en los indirectos para los pasajeros que permanecen en otros modos de transporte de mercados secundarios en los que existen externalidades positivas caracterizadas como efecto Mohring.

Externalidades negativas

La lista de efectos externos negativos que se derivan de los proyectos de transporte es larga, debido a los numerosos impactos que esta industria genera. Los problemas más evidentes son la contaminación atmosférica (tanto a nivel local o regional, como los efectos que se causan a nivel global, como el denominado “efecto invernadero”) que producen todos los tipos de vehículos al quemar combustibles, y el ruido generado por los mismos. Pero también las infraestructuras.

Es así, que las principales externalidades asociadas a los proyectos de transporte pueden identificarse según el tipo de impacto que producen [55]. A su vez, las externalidades varían según el tipo de transporte o infraestructura, según se esté en la fase de construcción o de operación de la misma y de cómo se traduce el efecto último fundamentalmente sobre las personas, en nuestro caso analizaremos la congestión que está relacionado directamente con el uso de infraestructura vial local [56]. Ver Tabla 11. Las externalidades del transporte por carretera.

Tabla 11. Las externalidades del transporte por carretera

En cuanto a las propiedades de los vehículos e Infraestructura	
Contaminación visual	
Residuos sólidos de construcción de carreteras	
Chatarrización de vehículos	
Contaminación del Agua superficial y subterránea	
Intrusión en el hábitats de vida silvestre	
En relación con el uso real de las carreteras	
LOCAL	GLOBAL
Efecto Barrera	La contaminación de dióxido de carbono
Contaminación por partículas suspendidas (Polvo)	contaminación de metano
Contaminación por metales pesados	Contaminación Óxidos de Nitrógeno
Ruido y Vibraciones	Calentamiento Global
Accidentes	
Olores	
Congestión	

Fuente: Bertrand (1997).

3.4.3 La congestión como externalidad

Es importante partir de las condiciones actuales del sector a analizar, conociendo muy bien su tipología en relación con las áreas o zonas congestionadas entre Bucaramanga y Floridablanca, la cual surge en la mayoría de los casos por un desajuste entre la demanda o número de usuarios que desean utilizar la infraestructura o servicio en un momento dado y la oferta o capacidad de la misma para acomodar puntualmente a dichos usuarios. Ésta es una característica particular de los mercados de transporte, ya que en casi todos los modos la demanda raramente es constante a lo largo del tiempo. Por ello, las infraestructuras y servicios se diseñan con una capacidad determinada que, si bien puede ser modificada a largo plazo, en el corto plazo es fija.

Las zonas de congestión en el Área Metropolitana de Bucaramanga se presentan cuando un individuo no tiene en cuenta los costos que está imponiendo al resto de los demás usuarios de la infraestructura. Dado que todos los usuarios que se ven afectados por un problema de congestión son a la vez causantes y sufren los costos asociados a la saturación de la infraestructura (generación de externalidad negativa).

Debido a este carácter interno a la industria del transporte, los costos de congestión muchas veces son excluidos al realizar una cuantificación de las externalidades negativas generadas por el transporte. Si bien esta metodología puede ser apropiada cuando se elaboran cuentas sociales de la industria del transporte en su conjunto, la magnitud de estos costos hace que el efecto difícilmente pueda ser ignorado y que el análisis de los problemas de congestión sea altamente relevante. Igualmente, la búsqueda de soluciones para reducir los costos de congestión suele ser una de las principales preocupaciones de las autoridades responsables del transporte. Desde el punto de vista práctico en la evaluación económica de proyectos, el nivel de congestión (o su cambio, tanto positivo como negativo) se refleja generalmente en la variación de los tiempos de viaje.

En general la capacidad de un sistema es el número máximo de entidades que pueden ser procesados por unidad de tiempo. De allí que, la congestión ocurre porque el sistema tiene una capacidad limitada y porque la demanda colocada y el proceso mismo tienen un carácter aleatorio [57].

Ahora siendo así, consideremos un sistema con una capacidad de μ entidades por unidad de tiempo, conocida también como tasa de servicio, la capacidad es la tasa máxima y su inverso es el intervalo máximo; entonces, puede decirse que cada entidad consume un tiempo promedio t_p en ser procesado (servido) ver ecuación 4:

$$\text{Ecuación 4. } t_p = \frac{1}{\mu}$$

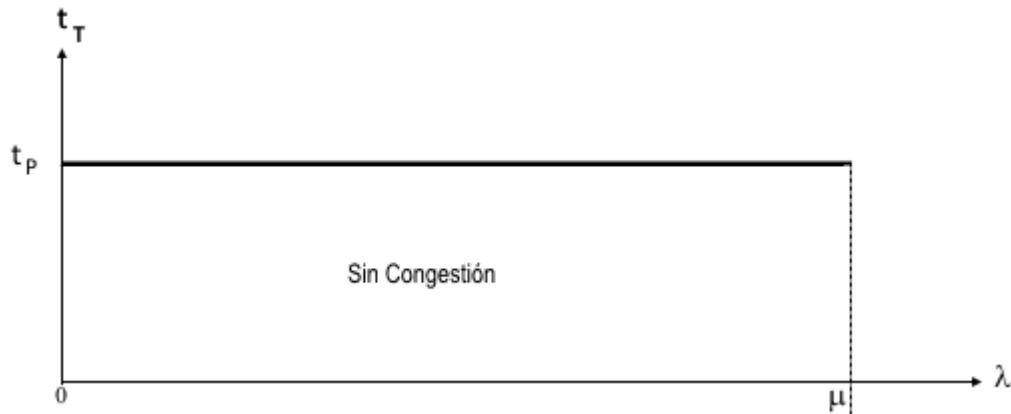
Si las entidades llegan a una tasa λ por unidad de tiempo, entonces el tiempo total de procesamiento t_T por entidad será según ecuación 5:

$$\text{Ecuación 5. } t_T = \begin{cases} t_p & \text{para } \lambda \leq \mu \\ \infty & \text{para } \lambda > \mu \end{cases}$$

Donde t = tiempo de viaje, μ = capacidad y λ = Nivel de Demanda.

Ver Figura 16, donde se ilustra el significado de la congestión tiempo vs capacidad (entidad).

Figura 16. Significado sin congestión en el tiempo de viaje.



Fuente: Autor

Si $\lambda > \mu$, en esta condición puede ocurrir:

- El sistema colapsa, esto es, que exista una completa congestión tal que no se procesen unidades ($t_T = \infty$).
- Se forme una cola de espera que crece cada vez más ($t_p \rightarrow \infty$).
- Bajo condiciones de estado no estacionarias, solamente cuando $\lambda > \mu$ por un intervalo limitado de tiempo, la cola que se forma eventualmente se disipa.

Por otra parte, si λ y/o μ son variables aleatorias, incluso cuando $\lambda < \mu$, las colas se pueden formar.

Por lo anterior, en cualquier condición de estado (estacionario o no), el tiempo total de procesamiento t_T , por unidad, es igual al tiempo promedio de procesamiento t_p más el tiempo de demora t_D . Esto es definido por la ecuación:

$$\text{Ecuación 6. } t_T = t_p + t_D$$

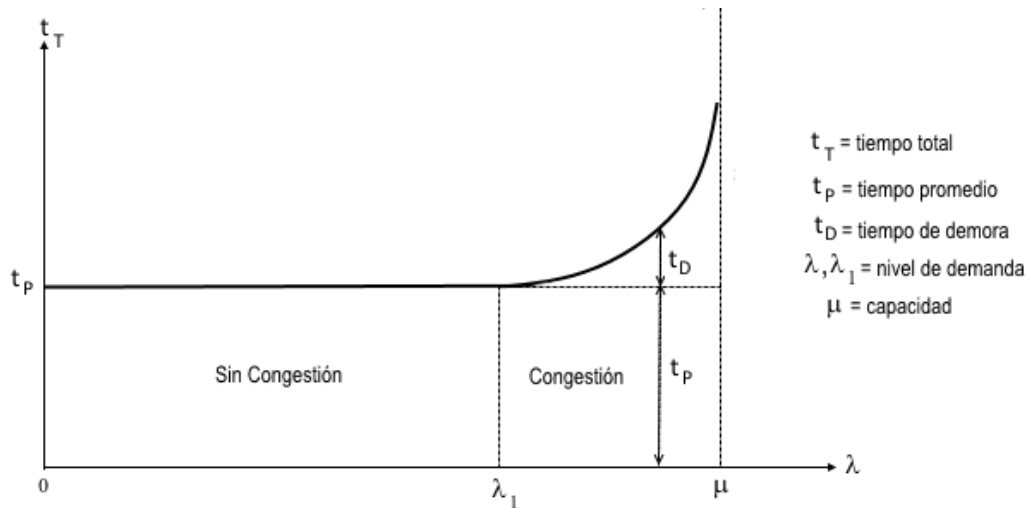
Significado de la congestión ver Figura 17, la cual se puede analizar de la siguiente forma:

- para el rango de llegada $0 < \lambda < \lambda_1$, no hay congestión, $t_T = t_p$, ya que $T_D = 0$.
- Para $\lambda > \lambda_1$, existe congestión puesto que $t_D > 0$, o lo que es lo mismo $t_T > t_p$.

Si λ se incrementa hasta que se aproxime a μ , las demoras t_D se incrementarán aún más.

Para cualquier nivel de demanda λ mayor que la capacidad μ , $\lambda > \mu$, la cola crecerá infinitamente si el nivel de demanda permanece constante. Si λ varía, entonces la cola empezará a disiparse, siempre y cuando λ caiga por debajo de μ .

Figura 17. Significado con congestión en el tiempo de viaje.



Fuente: Elaboración Autor

Es de mencionar que aunque el volumen vehicular es una de las causas más importantes de la congestión, no es la única. La congestión es el resultado de un conjunto de falencias en los diferentes elementos que componen el sistema de transporte Ver Tabla 12 y por consiguiente su solución no depende únicamente de sacar vehículos de las vías, sino que se hace necesaria la inclusión de medidas complementarias para mitigar los efectos de la congestión en el zona de interés del área metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 12. Otras causas de la congestión

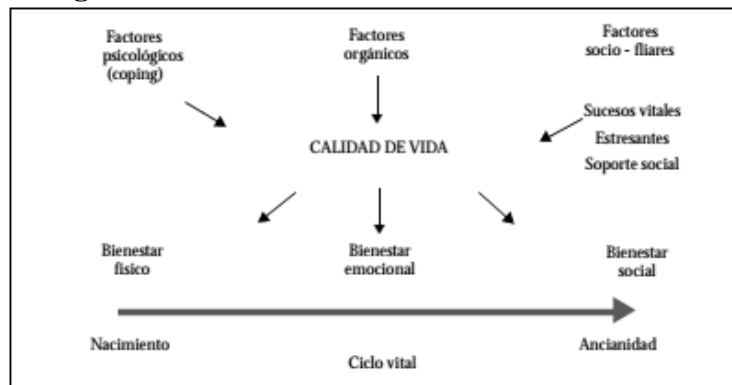
• Inadecuado diseño de la infraestructura vial
• Escasez de mantenimiento de la malla vial
• Señalización vial inapropiada o ausente
• Comportamiento inapropiado de los conductores y peatones
• Desconocimiento de las condiciones de tránsito
• Mal estado de los vehículos
• Vehículos de tracción animal circulando con los vehículos motorizados
• Sistemas semafórico obsoletos y/o desligado de las condiciones del tránsito vehicular y/o con ambigüedad en la prioridad de paso

Fuente: Autor

3.5 MÉTODOS DE CÁLCULO DE LOS CAMBIOS EN EL BIENESTAR SOCIAL – PEAJE DE CONGESTION PIGOUVIANO.

Los procesos de adaptación a las situaciones variantes del medio y el desarrollo de la ciudad van llevando igualmente a cambios en como el individuo valora los patrones temporales ver Figura 18.

Figura 18. Calidad de vida relacionada con la salud



Fuente. Health-Related Quality Of Life: Conceptual Aspects, 2003 [58]

Razón por la cual la medición de los cambios en el bienestar social producidos por un proyecto de transporte requiere considerar los efectos de dicho proyecto sobre el equilibrio de los mercados afectados por el mismo, bien examinando el cambio en los excedentes puesto que los proyectos de transporte alteran los resultados alcanzados en equilibrio en los mercados de transporte y también modifican su reparto entre los agentes implicados, o bien mediante el cambio en la asignación de recursos y la disposición a pagar de recursos productivos asociados a la actividad económica realizada por los agentes sociales participantes en dicho mercado – productores, usuarios, contribuyentes y resto de sociedad – proporcionando a la sociedad unos resultados concretos, en términos de precio, cantidad y calidad de transporte. Es así que el cálculo de los cambios en el bienestar social producidos por un proyecto de transporte puede abordarse entonces desde esas dos perspectivas.

La primera de ellas tiene por objeto calcular las variaciones en los excedentes de los diferentes agentes al pasar del equilibrio sin proyecto al equilibrio con proyecto. En esta sección se analizan con detalle ambos enfoques, mostrando finalmente que se trata de procedimientos equivalentes que conducen al mismo resultado y cuya elección dependerá en gran medida de la información disponible.

Por el contrario, la segunda perspectiva consiste en medir los cambios netos en la utilización de los recursos productivos aportados por la sociedad y en la disposición a pagar de los usuarios que se producen como consecuencia de la realización de un proyecto de transporte. Se trata de comparar los equilibrios con y sin proyecto, y cuantificar el cambio en los recursos productivos y en la disposición a pagar como consecuencia de la ejecución del proyecto, ignorando las transferencias que puedan producirse entre los agentes participantes.

3.5.1 Enfoque y función del cambio en los recursos productivos.

La disponibilidad de datos nos lleva en un gran número de ocasiones a analizar los proyectos en función del cambio en los recursos productivos, siendo necesario entender cuál es el papel de cada uno de ellos.

De esta forma, desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, la producción de infraestructuras y servicios en cualquier mercado de transporte requeriría la utilización de tres clases de recursos productivos, distinguiéndose en razón a su origen entre:

- Los aportados por los productores a la función de producción (capital (K), trabajo (L), equipo móvil (E), energía y repuestos (R), incluyendo dentro del capital la utilización de las infraestructuras en la prestación de los servicios y el resto de activos con excepción de los vehículos).
- El tiempo de viaje, como recurso aportado por los usuarios y,
- finalmente, el conjunto de recursos – naturales o no – aportados por el resto de sociedad.

3.5.2 Los costos sociales del transporte.

El transporte como actividad económica tiene un costo para la sociedad que está definido por el valor monetario de todos los inputs consumidos para trasladar viajeros o mercancías entre orígenes y destinos. Para lograr esta movilidad de viajeros o mercancías, no solamente se consumen ciertas cantidades de factores productivos tradicionales (vehículos o energía), sino que también figura el tiempo que invierten los usuarios en sus viajes y el impacto que dicho traslado ocasiona a otros, en forma de congestión, contaminación, ruido, accidentes, etc.

La preocupación a nivel mundial por encontrar una tarifación que sea justa y eficaz y que brinde eficiencia al transporte representada en la movilidad sostenible⁴ viene desde hace muchos años, pero a finales del anterior milenio y a comienzos de este, esta necesidad se ha incrementado dando paso a la imaginación, investigación e integración de diferentes disciplinas para lograr una equidad y bienestar a la sociedad.

El costo de oportunidad: se define como el valor que tienen los recursos productivos que se emplean para llevar a cabo dicha actividad.⁵

⁴ Movilidad sostenible: concepto que sirve para denominar al transporte organizado que optimiza el consumo de energía, los plazos, los trayectos y las condiciones de transporte de manera que el disfrute de un servicio hoy no hipoteque las posibilidades de disfrute de las futuras generaciones. Dentro de las consecuencias de la movilidad sostenible están: la internalización de los costos del transporte, la intermodalidad y la interoperabilidad.

⁵ De Rus, G., et al., Economía del transporte, edición Antoni Bosch 2003, pg 75-127

El costo marginal: se define como la variación en el costo total, ante el aumento de una unidad en la cantidad producida, es decir, es el costo de producir una unidad adicional. [43], de igual manera sirve para estructurar el procedimiento de la tarificación del costo marginal social que el gobierno colombiano regula se impone la internalización del costo de la congestión introduciendo algunos conceptos de modelización del comportamiento de la demanda. [59].

Para estos costos es ideal tener en cuenta que dentro de las actividades desarrolladas intervienen varios factores indexados que de una u otra forma influye en el comportamiento del consumo y no solo los costos del transportar viajeros o mercancías entre distintos lugares, tales factores pueden ser el valor del tiempo, el impacto que causa al medio ambiente, la congestión que este genera a los demás usuarios, las pérdidas humanas, los costos de operación.

A razón de los diferentes costos que se generan en el transporte se deben identificar cual influye más y sobre cuales recaen los mismos, para lo cual se identifican así; costos del Productor (C_p), Costos del usuarios (C_u) y Costos de las Externalidades ($C_e = C_{RS}$), la unión de estos costos es lo que proporciona los **Costos Sociales del transporte** (C_s) al que una comunidad hace frente para gozar de ciertos niveles de servicios e infraestructura de transporte.

Teniendo en cuenta lo analizado líneas arribas se podrá expresar la relación de los costos sociales del transporte como la ecuación 7:

$$\text{Ecuación 7 } C_s = C_p + C_u + C_e \text{ [43]}$$

El cual representa el costo que supone para la sociedad en su conjunto la asignación concreta de recursos que deben hacer para disponer de una determinada infraestructura y de servicios de transporte a partir de ésta. En términos más intuitivos, este costo social representa todos los otros bienes y servicios que la sociedad deja de percibir por destinar los inputs y recursos al proyecto en cuestión.

3.5.2.1 Costos de los productores

Desde una perspectiva integrada, los costos de los productores en un mercado de transporte corresponden con la utilización de los factores productivos aportados por las empresas que llevan a cabo la provisión de infraestructuras y servicios de transporte en un determinado mercado.

Así, las partidas principales de costos serían las asociadas al factor capital (incluyendo infraestructuras), los costos laborales, los costos asociados al equipo móvil, y los de energía y repuestos tal como se muestra en la ecuación 8:

$$\text{Ecuación 8 } C_p = p_K \cdot K + p_L \cdot L + p_E \cdot E + p_R \cdot R$$

Donde p_K, p_L, p_E, p_R representan los correspondientes precios unitarios de cada input valorados a su costo de oportunidad social.

Si nos aproximamos a esta función desde el punto de vista de un análisis económico de corto plazo en el que alguno de los factores es fijo, normalmente K, E, o ambos, entonces implícitamente las capacidades máximas de la infraestructura o de los servicios de transporte están fijadas (\bar{q}_I, \bar{q}_S), lo que nos permite reformular la función de costos del productor ver ecuación 9.

$$\text{Ecuación 9 } C \cdot (\bar{q}_I; \bar{q}_S; q) = a \cdot \bar{q}_I + b \cdot \bar{q}_S + c \cdot q = F + c \cdot q$$

Donde q es el nivel de utilización real de la capacidad de transporte, determinado por la demanda, y a, b, c son los respectivos costos unitarios (no necesariamente constantes) asociados a incrementar en una unidad la capacidad de la infraestructura, a incrementar en una unidad la capacidad de los vehículos o a atender un viajero adicional, respectivamente. En el largo plazo todos los costos en la ecuación 3 son variables, mientras que en el corto plazo alguno de los dos sumandos iniciales (o ambos) constituye un costo fijo (F), ya que no varía con q.

3.5.2.2 Costos de los usuarios

Los usuarios aportan el tiempo de viaje (τ) para la provisión de servicios de transporte y su costo viene determinado por la desutilidad que generalmente les proporciona a los individuos el tiempo de viaje. Esta desutilidad tiene un valor monetario por unidad de tiempo (v), dado que los usuarios estarían dispuestos a pagar si mejoran las condiciones de viaje y llegan (ellos o sus mercancías) a su destino en menor tiempo. Por tanto, $v \cdot \tau$ representaría el costo de oportunidad de dicho tiempo. En otros casos, no resulta posible establecer una relación tan directa, por lo que conviene considerar de manera separada la valoración de la incomodidad y otros elementos de desutilidad que puede expresarse como θ).⁶

De esta forma, y suponiendo para simplificar que, para el individuo medio, v es el valor monetario del tiempo y θ es el valor monetario atribuido a la desutilidad de los servicios. El costo total soportado por los usuarios (q) será por tanto el expresado en la ecuación 10:

⁶ El parámetro θ es una medida de desutilidad que puede ser interpretada como el “valor monetario atribuido por los usuarios a la desutilidad de los servicios de transporte”. Puede incluir, además de la incomodidad, aspectos como la valoración del riesgo de accidente asociado a utilizar un determinado modo de transporte o, en el caso de las mercancías, cuestiones relativas a la fiabilidad de las entregas, riesgo de roturas o robos, etc. En ocasiones, simplemente se incluye dentro del valor del tiempo.

$$\text{Ecuación 10 } C_u = C_u \cdot (q, \tau) = (v \cdot \tau + \theta) \cdot q$$

Siendo el costo unitario (o medio) por usuario igual a la ecuación 11:

$$\text{Ecuación 11 } C_u = \frac{C_u}{q} = v \cdot \tau + \theta$$

3.5.2.3 Costos del resto de la sociedad (externalidades)

La determinación de los costos que soporta el resto de sociedad asociados a la producción de infraestructuras y servicios de transporte requiere valorar el costo de oportunidad de los recursos naturales, en un sentido amplio, aportados a dicha producción por agentes externos a la actividad de transporte, es decir, aquellos que no son ni productores ni usuarios directos de la misma, debiéndose utilizar para su cuantificación alguna función de valoración $\varepsilon(\cdot)$ adecuada, ver ecuación 12:

$$\text{Ecuación 12 } C_{RS} = \varepsilon \cdot (N)$$

De forma general, cuando N se interpreta como “recursos naturales” esta expresión permitiría valorar los daños causados por la contaminación, intrusión visual, ruido, efectos barrera, residuos, congestión y cualquier otro impacto sobre el medio ambiente⁷.

Identificar y medir los costos del resto de sociedad no siempre resulta sencillo, particularmente en lo que se refiere a su relación con las externalidades. El término externalidad (o costo externo) se utiliza habitualmente para referirse a todos los efectos (tanto negativos como positivos) causados por la actividad de transporte a quienes no participan directamente en ella. Esta definición no genera excesivas dificultades con respecto a los daños medio ambientales del transporte: se trata principalmente de efectos causados sobre terceros (“resto de sociedad”), aunque también afectan al grupo de los productores y usuarios del transporte.

En relación a la congestión, desde el punto de vista del análisis costo-beneficio la distinción fundamental es si ésta se produce dentro del mercado primario o en un mercado secundario. Si el proyecto supone una reducción de la congestión en el mercado primario, dicho efecto está medido en el nuevo tiempo de viaje de los usuarios con proyecto frente a la situación sin proyecto, dentro del propio mercado de transporte. Cuando el cambio de equilibrio en el mercado primario afecta a un mercado secundario en el que existe congestión, el efecto

⁷ Si en N se consideran otros recursos aportados por la sociedad a la producción de infraestructuras y servicios de transporte – en particular, servicios públicos como la policía o el sistema público sanitario – la ecuación (6) reflejaría el costo de oportunidad de estos recursos que resulta imputable a la actividad de transporte, aunque indistintamente pueden estos costos incluirse en el grupo contribuyentes o incluso en el grupo productores públicos, cuyo saldo neto negativo acabaría finalmente en contribuyentes. Lo importante es contabilizar todos los recursos que se utilizan o se ahorran con el proyecto y evitar la doble contabilización.

sigue el mismo tratamiento que cualquier otro efecto indirecto, y deberá incluirse o no en el cómputo de beneficios y costos del proyecto dependiendo de si existe o no diferencia entre el precio y el costo marginal en dicho mercado (tasa óptima de congestión en este caso).

3.5.2.4 La disposición a pagar de los usuarios

Generalmente, los principales beneficios de un proyecto de transporte pueden considerarse reducciones en los costos generalizados de los usuarios existentes (ahorros de tiempo, aumentos de calidad, etc.) y la disposición a pagar de los nuevos usuarios. Idealmente, en ambos casos, habría que calcular el impacto de los cambios producidos por el proyecto sobre el bienestar o utilidad de los individuos. Sin embargo, la utilidad no es medible, por lo que una alternativa utilizada por los economistas consiste en utilizar una valoración monetaria de dichos beneficios.

Tanto para el tiempo ahorrado en el tráfico ya existente como para el valor social del nuevo tráfico (generado o desviado de otros modos), se utiliza el concepto de *disposición a pagar* (DAP) como aproximación monetaria de los cambios en el bienestar individual. Estas mediciones monetarias de los cambios reales en la utilidad sólo son comparables si una unidad monetaria tiene el mismo efecto sobre el bienestar social con independencia de quién es el individuo y su nivel de renta. En adelante, supondremos que una unidad monetaria tiene un mismo efecto sobre el bienestar con independencia del beneficiario⁸.

Los fundamentos de la disposición a pagar se encuentran asentados en la *teoría del comportamiento del consumidor*, particularmente reflejadas en el concepto de *variación compensatoria y equivalente*, de donde se obtiene la demanda de transporte como resultado de un proceso de elección racional en el que un usuario (un pasajero o dueño de mercancías) elige la cantidad de transporte que desea consumir teniendo en cuenta el precio total que debe pagar por ella. De ésta forma, la demanda de transporte (por ejemplo, en términos de viajes diarios en un determinado modo de transporte) está relacionada de manera inversa con el precio generalizado de cada viaje g , donde g puede definirse como la ecuación 13:

$$\text{Ecuación 13 } g = p + v \cdot \tau + \theta$$

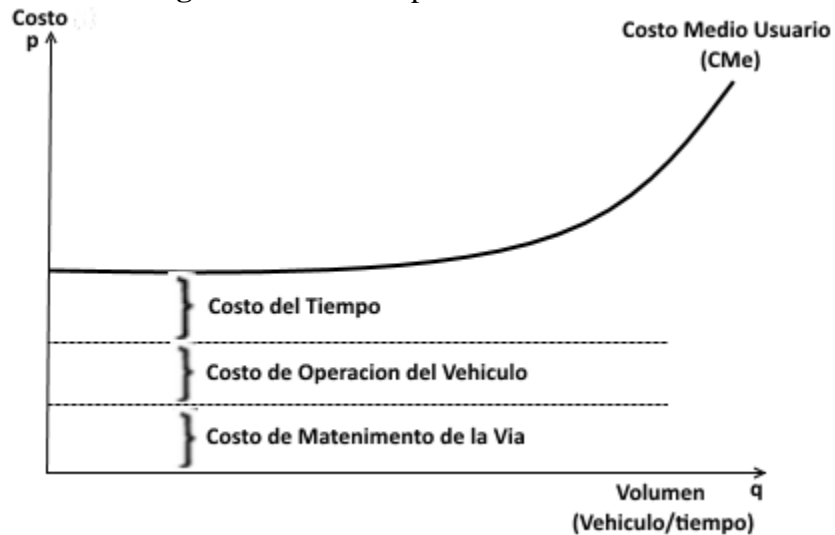
Siendo p el costo pagado por el usuario por cada viaje a un transportista en forma de billete, peaje, flete, etc. Este importe no forma parte del costo del usuario definido en la ecuación (5) desde la perspectiva del costo social excluyendo las transferencias de renta, ya que no se trata de un recurso aportado por la sociedad a la producción de transporte, sino de una mera transferencia de dinero que no se contabiliza bajo el enfoque de los recursos.

El costo en el que cada usuario incurre para transportarse, incluyendo los efectos de agentes externos a su actividad (ej. Congestión), es el promedio de costo medio del usuario. Éste

⁸ En las ponderaciones por razones de equidad (la utilidad social marginal de la renta) incluyen tanto el efecto sobre la utilidad individual de un aumento de renta (utilidad marginal de la renta) como el efecto del cambio de la utilidad individual sobre el bienestar social (utilidad marginal social).

representa lo que cada miembro de la sociedad pierde por movilizarse por medio de la red de transporte .Ver Figura 19

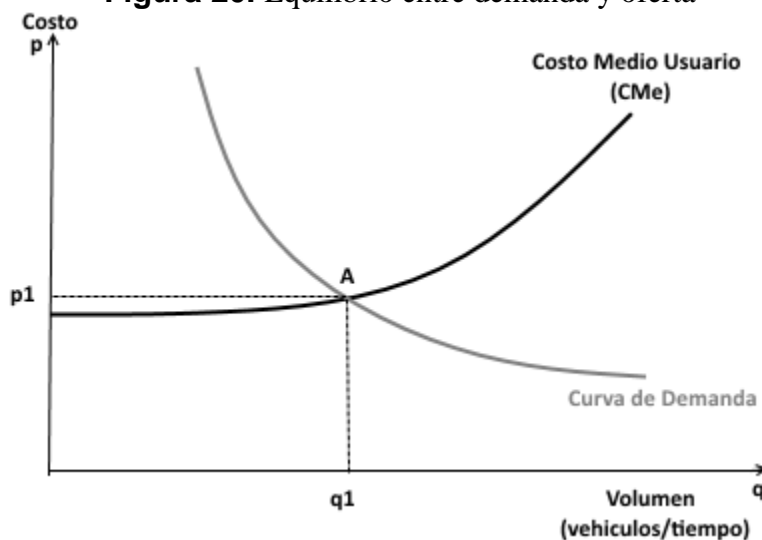
Figura 19. Curva Típica de Costo Variable



Fuente: Autor

En el caso de una vía, la cantidad de vehículos que la utilizan está determinada por el equilibrio del costo individual de los usuarios y la demanda. En la Figura 20, se muestra el punto de equilibrio por costos individuales (Punto A).

Figura 20. Equilibrio entre demanda y oferta

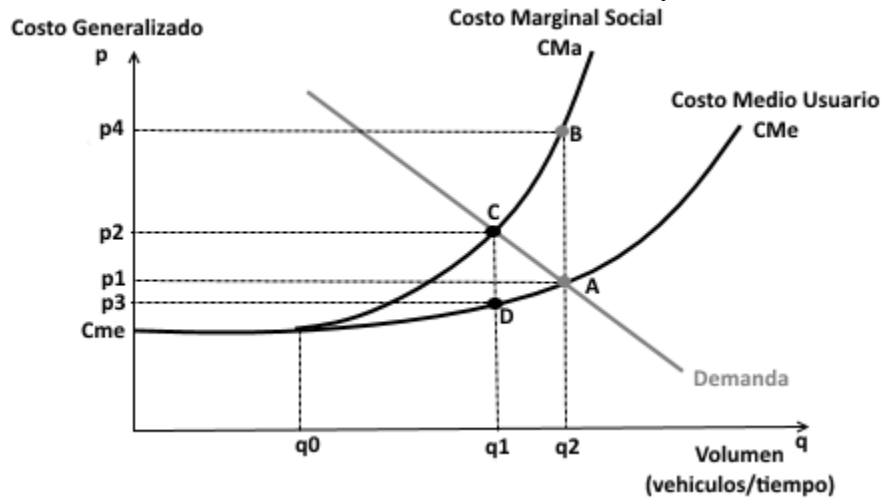


Fuente: Autor

Para la evaluación económica de medidas y políticas, el costo social es uno de los

principales componentes del análisis para la toma de decisión. El costo social [60] hace referencia a la inconveniencia para la totalidad de los usuarios, en conjunto, de determinada situación o escenario. Para la sociedad, cada usuario que quiere utilizar la vía trae un costo que es equivalente a su costo interno (el del usuario) y el que él le genera a los demás. La Figura 21, presenta las curvas de demanda, Costo Medio del usuario (CMe) y costo social marginal (CMA). En ésta se puede observar que CMA es mayor que CMe, esto se debe a que CMA está compuesto por el costo individual (Costo interno) más un componente que representa el costo adicional que cada individuo que utiliza el sistema les trae a los demás (Costo externo) [61].

Figura 21. Curva de Demanda, Costo Medio del Usuario y Costo Social Marginal



Fuente: Autor

La diferencia entre p_1 y p_4 es el costo que cada individuo genera a los demás por la utilización simultánea de la vía, en la situación en que el equilibrio se diera en A.

El punto de equilibrio C, la diferencia entre p_3 y p_2 es el óptimo social, puesto que en este punto todos los usuarios internalizan el costo generado a los demás, reduciendo las pérdidas en tiempo debido al excesivo volumen vehicular y haciendo más eficiente la utilización de la vía.

En términos matemáticos CMA se define según la ecuación 14:

$$\text{Ecuación 14 } CMa = CMe + q \cdot \frac{\partial CMe}{\partial q}$$

Donde,

Cma: costo marginal social

CMe: costo medio del usuario

q: es la cantidad demandada.

3.5.2.5 Cobro por Congestión

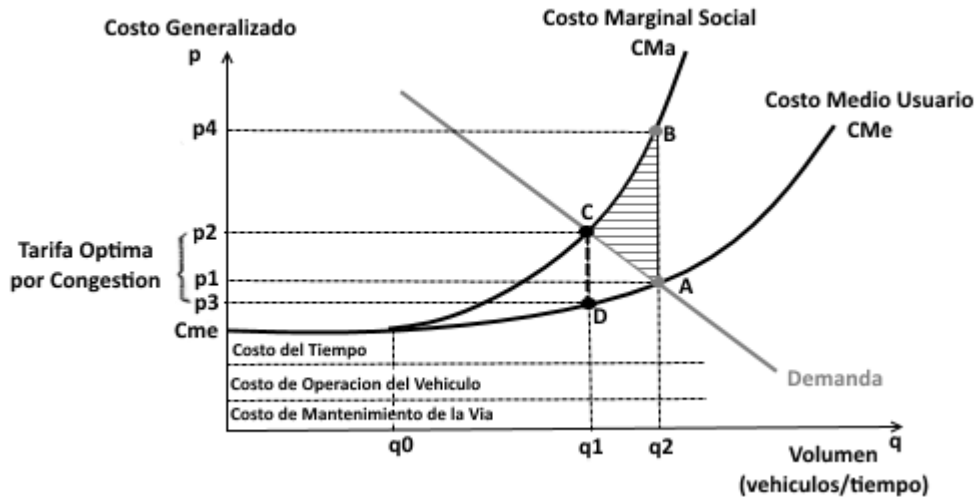
La congestión y el costo de los usuarios se producen cuando, como consecuencia de las limitaciones de capacidad de alguna infraestructura, la presencia de usuarios adicionales hace aumentar los costos (principalmente de tiempo) que soportan la totalidad de los usuarios de la infraestructura situación está, que se está, presentando en los viaductos García Cadena y la cual será objeto de estudio.

Ahora analizando el modelo estándar para la determinación de la tarifa por congestión, se puede estimar inicialmente que cuando una persona decide utilizar su auto hacia o desde el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) incurre en unos costos tales como: gasolina, tiempo perdido en el cuello de botella, mantenimiento del carro, accidentes, ansiedad, etc. Con el fin de lograr un óptimo social, para el cual los conductores perciban un costo individual de cada viaje igual al costo social que generan, es necesario implementar un mecanismo mediante el cual cada usuario internalice los costos generados al resto de la sociedad. El cargo por congestión es herramienta económica que permiten alcanzar este objetivo, imponiendo una tarifa a todo aquel que utilice la infraestructura que se pretende intervenir, logrando así un nivel óptimo de congestión.

Como se mencionó anteriormente, al presentarse equilibrio por costos medios del usuario CMe el sistema percibe únicamente los costos que les representa así mismos la realización del viaje, sin embargo no incluye los costos que les generan a los demás usuarios derivando en una sobreutilización de la infraestructura. Es por esto que, en los periodos congestionados, resulta conveniente que los individuos internalicen los costos que le generan a los demás, y que la respuesta a esta internalización de costos sea una reasignación de recursos que permitan optimizar la utilización del sistema.

En la Figura 22 el punto C representa la situación en la cual los usuarios del sistema internalizan los costos por congestión, y lo hacen percibiendo p_2 que es mayor que lo que percibían en el equilibrio por Costos Medios del Usuario p_1 . La diferencia entre p_2 y p_3 sería el cargo por congestión necesario para optimizar la asignación de recursos y así maximizar los beneficios que la sociedad tiene por la utilización de la infraestructura.

Figura 22. Esquema Típico De Tarificación Por Congestión



Fuente: Autor

Analizando la Figura 19 desde el punto de vista social [13], el flujo q_2 , es excesivo porque recibe un beneficio de q_2A , pero impone los costos de q_2B . El flujo adicional más allá del óptimo q_1 genera los costos q_2BCq_1 , pero solamente disfruta del beneficio q_2ACq_1 . Luego, la tarifa óptima que debe aplicarse para conseguir el flujo óptimo q_1 y así internalizar los costos de congestión está dado por el segmento CD , obteniéndose una ganancia igual al área ABC , la cual representa el costo social de congestión o la pérdida de bienestar que ahorrará la sociedad. Para regular la congestión, esta teoría se basa en la tarificación del costo marginal y, aunque es cuestionada por Rothengatter [62], también es defendida por Nash [63] y tomada como punto de partida para internalizar varias externalidades.

Por último, cabe resaltar que el cobro por congestión es sólo una de las herramientas económicas que permiten gestionar la demanda del vehículo privado y por consiguiente las externalidades asociadas a su uso. Por lo tanto es de considerar que dentro de éste conjunto de medidas se encuentran otras herramientas económicas que pueden utilizarse para lograr los objetivos asociados al uso del vehículo privado en las ciudades colombianas tal como se muestra en la Tabla 13. Principales figuras de gravamen sobre el sistema de transporte y su efecto corrector sobre la congestión.

Tabla 13. Principales figuras de gravamen sobre el sistema de transporte y su efecto corrector sobre la congestión.

	IMPUESTO	OBJETO DE GRAVÁMEN	BASE IMPONIBLE	EFFECTO CORRECTOR	
SISTEMAS DE TARIFICACIÓN FIJA	IVA	Adquisición del vehículo	Precio de adquisición	BAJO/NULO	
	IMPUESTO DE MATRICULACIÓN	Adquisición del vehículo	Precio de adquisición en vehículos nuevos y valor de mercado en vehículos usados	BAJO/NULO	
	IMPUESTO DE CIRCULACIÓN	Propiedad del vehículo	Parámetros técnicos como nº de caballos, centímetros cúbicos, carga, etc.	BAJO/NULO	
SISTEMAS DE TARIFICACIÓN VARIABLES	IMPUESTO SOBRE COMBUSTIBLES	Consumo de combustible	Precio del Combustible	BAJO. La elasticidad de la demanda de combustibles respecto a precio es muy baja.	
	SISTEMAS DE PEAJE URBANO	LICENCIA DE CIRCULACIÓN (Area Licencing Scheme)	El uso de infraestructura vial como zona restringida	El conjunto de costes externos o externalidades negativas generadas por el uso de las infraestructuras viales urbanas por parte de los usuarios, o bien, precio óptimo que se iguala al coste marginal social generado por el usuario.	ALTO dependiendo de los objetivos por los cuales ha sido implantado por la autoridad competente.
		TASA DE ACCESO (Cordon Tolls)	El acceso a una determinada zona geográfica		
		TARIFICACIÓN ELECTRÓNICA (Electronic Road Pricing)	El uso de la infraestructura vial en determinadas bandas horarias sujetas a congestión mediante sistemas electrónicos.		
TARIFAS POR APARCAMIENTO	El uso de la infraestructura vial por estacionamiento y tiempo de permanencia.	El uso privativo del dominio público viario para estacionamiento	DISCRETO, ya que el objetivo no es la reducción de la congestión sino la rotación de plazas de aparcamiento, si bien, el establecimiento de tarifas más progresivas puede proporcionar mayores efectos.		

Fuente: Carrasco D, (2012) [64]

3.6 HISTORIA Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DEL COBRO POR CONGESTIÓN

3.6.1 Historia del Concepto del Cobro por congestión en vías Urbana.

La primera propuesta respecto del uso de impuestos para reasignar el tráfico entre vías, con el objeto de reducir los costos del transporte, inicia con A. Pigou, de la Universidad de Cambridge, que se refirió en un libro publicado en 1920 a un caso hipotético de carretas que tenían la opción de usar cualquiera de dos caminos entre los puntos A y B. [65]. Cuatro años más tarde, F. Knight propuso la aplicación de imposiciones a la congestión, con el propósito de mejorar la eficiencia de uso del espacio vial. [66] [67]. 30 años más tarde el

economista estadounidense J. Buchanan, escribe sobre los costos de la utilización de las vías [68].
(Buchanan, 1952).

Wilfred Owen comenta al respecto que: “El motorista urbano no recibe una subvención; es más bien él quien subsidia el camino rural” [69]. Agregan John Meyer y Merton Peck: “Si se adopta como política el principio de la fijación de tarifas sobre la base del costo marginal, debería aplicarse a toda la infraestructura de transporte” [70]

Durante el siguiente decenio, esos conceptos bastante restrictivos fueron desechados y se empezó a poner énfasis en los costos sociales marginales de la congestión. R. Smeed, G. Roth y J. Thomson. Agregaron una dimensión cuantitativa a la teoría de los costos por concepto de congestión. Los primeros trabajos de Smeed y Roth estimaron los costos sociales marginales causados por la introducción de un vehículo adicional en una calle ya congestionada, es decir, consideraron la oferta [71], pero no analizaron la interacción entre la demanda y la oferta. Luego, J. Thomson investigó esta interacción, suponiendo distintos niveles de elasticidad de la demanda, y calculó tarifas óptimas para casos hipotéticos [72].

Un trabajo muy importante que hay que tener en cuenta, fue el informe conocido como el Smeed Report publicado en 1964 [73]. Los autores consideraron conveniente adoptar un sistema de licencias diarias suplementarias (supplementary licensing) para hacer uso del sistema vial de una zona congestionada. Con esto se estaba implementando la posibilidad de cobrar automáticamente, instalando en el vehículo una tarjeta inteligente (smart card).

En Estados Unidos se analizaron los conceptos de la tarificación vial para internalizar los costos de la congestión. El más conocido de ellos fue el profesor William Vickrey, de la Universidad de Columbia en Nueva York, quien en 1963 publicó un artículo que corrigió las ideas de la escuela de Owen, Meyer y Peck, diciendo: “Los flujos de tránsito (en las autopistas urbanas) no permiten que los impuestos aplicados amorticen los costos de la inversión” [74], donde se cuantificaron los costos de la congestión.

J. Thomson realizó un estudio interesante en 1966, en que usó un modelo elemental de la red vial de Londres, concluyendo que el control de la congestión mediante la tarificación vial sería mucho más eficiente que por medio de la aplicación de tasas por concepto de estacionamiento. Esto se debería, principalmente, a que los beneficios de la segunda alternativa tenderían a ser anulados porque el menor uso de las calles céntricas para efectuar viajes que terminan allí liberaría espacio vial, atrayendo así los viajes que normalmente circunvalarían el centro [72].

Durante los 20 años siguientes. Las autoridades gubernamentales de países industrializados se encargaron de realizar estudios, mediante modelos, para la tarificación vial, de igual manera surge una nueva categoría de análisis en el área de las preferencias declaradas, considerada conveniente porque la tarificación vial fue interpretada como una idea tan innovadora para los usuarios de la vía que no sería factible simular la reacción de éstos mediante la aplicación de modelos calibrados en una situación existente [75] [76].

Más recientemente, algunos trabajos basados en modelos han explorado territorio nuevo. En un estudio se compararon las siguientes opciones, usando la red de una ciudad real (Cambridge):

- i) El cobro de peajes en cordones perimetrales.
- ii) Tarifas basadas en el kilometraje recorrido dentro de la zona sujeta a tarificación.
- iii) Un sistema de tarificación basado en los tiempos de demora del tránsito.
- iv) Recargos relacionados con el tiempo promedio de viaje en la zona tarificada.

3.6.2 Experiencias Internacionales del cobro por congestión

Dada la gran preocupación existente por problemas como el cambio climático, la contaminación local y el caótico tráfico en las ciudades producto del transporte han despertado el interés internacional en mecanismos para la reducción del uso del auto privado. El auto privado no es un modo de transporte sostenible debido a la gran cantidad de efectos negativos que tiene para las ciudades, donde se destacan principalmente la congestión vehicular y la contaminación. Una de las soluciones planteadas a nivel internacional para mitigar estas externalidades es la implementación de la tasa por congestión, que consisten en el cobro de una tarifa por parte del estado para poder ingresar a ciertas zonas en ciertos horarios.

El debate del cobro por congestión ha evolucionado en los últimos años a medida que más esquemas se han aplicado y objetivos de la política han cambiado [77]. La implementación de la tasa por congestión ha mostrado no sólo la reducción de la congestión sino la consecución de otros objetivos, como la disminución de emisiones, la provisión de transporte público y un enfoque más equilibrado de los espacios urbanos.

Los incrementos de los costos en inversiones de infraestructuras viales para aliviar la congestión, así como las preocupaciones sobre el cambio climático y el impacto de las mejoras de ahorro de combustible en los ingresos sobre el consumo, dictan la necesidad de alejarse de los enfoques existentes de la construcción de más infraestructura vial. La implementación de cobro por congestión a nivel internacional ha generado debates en muchas ciudades y países donde se ha discutido la tarificación. Sin embargo, no está del todo claro que la opinión pública mayoritaria está en contra de la tarificación por congestión; sobre todo si se acompaña de mejoras en alternativas de transporte. Es importante la participación positiva y activa de las entidades gubernamentales en el desarrollo de las etapas de diseño e implementación de esquemas cruciales reforzadas éstas con la legislación que avale y reglamente la tarifa por congestión.

En las tablas 14, 15, 16, 17 y 18, se resumen brevemente los estudios y aplicaciones que se han hecho alrededor del mundo para implementar un tipo de tarificación que gestione la movilidad y reduzca los efectos de la congestión (value pricing).

Tabla 14. Casos internacionales de value pricing - Singapur.



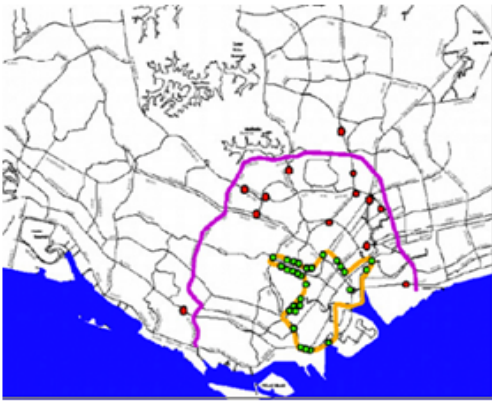
SINGAPUR			
Año (Implementación cobro por congestión)	1975		
Superficie total	697	Km2	
Población	5.469.700	hab	
Densidad	7847,49	hab/Km2	
Antecedentes		Topología Tarifaria	
<p>La introducción de esquemas de tarifas de congestión en Singapur desde los años setenta, ha sido una entre muchas políticas que han sido implementadas para evitar la congestión del tránsito urbano. Estas políticas restrictivas obedecen a las limitaciones de tierra disponibles en el país, a la necesidad de mantener competitividad económica y para evitar la paralización total del tráfico. Un aspecto clave de las políticas de administración de la demanda (TSM por la sigla en inglés de "Transportation Demand Management") utilizadas en Singapur han sido las medidas para restringir la adquisición de vehículos, ya sea a través de la imposición de altos costos a la propiedad de los vehículos, o mediante restricciones en el crecimiento de la flota de vehículos privados, las altas tarifas de estacionamiento, y las tarifas de congestión (el ALS primero y el ERP después), también se suman a las medidas utilizadas por las autoridades públicas de Singapur para restringir todavía más los viajes en automóvil</p>			
		Tarifa basada en un área	
Costo de la Tarifa por congestión			
<p>El sistema electrónico implementado permite un cobro automático a los vehículos que ingresan al área restringida sin necesidad de detenciones o generación de colas. La aplicación del cobro rige durante los días laborales durante la mayor parte del día (7:30am – 7:00pm), con un periodo libre de cobro de 10am – 12m. Otras vías tienen cobro sólo durante el periodo pico de la mañana (7:30am – 9:30am). La ventaja del sistema electrónico es que hace posible variar la tarifa dependiendo de la locación, período del día y tipo de vehículo, lo cual permite relacionarlo con el nivel de congestión actual. La máxima tarifa para automóviles es de SGD\$3.00 en vías rápidas y SGD\$2.50 (Olszewski, L. Xie, 2005) en el área restringida. El indicador del nivel de servicio del sistema fue definido como un rango de velocidad de 45-65 km/h para vías rápidas y de 20-30 km/h para arterias y vías que cruzan el área restringida, ¹ Las tasas de cambio corresponden al 6 de agosto de 2015.</p>	Hora del día	Tasa de cobro	Otras monedas ¹
	00:00 – 06:29		
	06:30 – 06:59		
	07:00 – 07:29		
	07:30 – 08:29		
	08:30 – 08:59		
	09:00 – 15:29	3,00 SGD/día 2,50 SGD/día	2,16 USD/día - 6.358 COP/día 1,80 USD/día - 5.298 COP/día
	15:30 – 15:59		
	16:00 – 17:29		
	17:30 – 17:59		
18:00 – 18:29			
18:30 – 23:59			
Resultados obtenidos luego de la implementación del cobro por congestión			
<p>Con base en las estadísticas del The Journey - "Singapore's Land transport Story", inicialmente el volumen de tráfico entrando a la Zona Restringida era de 32.500 vehículos en junio de 1975. Cuando el sistema de permisos ALS entró en operación, el flujo de vehículos cayó para 7.700, entre 07:30 - 9:30, una impresionante reducción del 76%; con 9% de los usuarios cambiando su modo de viaje para transporte público, luego con la implementación del ERP influyó los patrones de viaje hacia el área central de Singapur desde su implantación en 1998. La LTA reporta que con el ERP el flujo de tránsito disminuyó en casi 25.000 vehículos durante las horas pico, mientras que las velocidades de operación aumentaron en casi un 20%. Dentro de la propia zona restringida, el volumen de tráfico se redujo en casi un 13% durante las horas de operación del ERP, También fue observado que el número de usuarios compartiendo el viaje mediante el sistema de car-pool (vehículo compartido) se ha incrementado dado que si estos tienen mas de 4 pasajeros están libre de pago. de igual manera se evidenció el uso más productivo del limitado espacio vial y se observó que las velocidades medias en vías expresas y arterias principales se ha mantenido casi constante, a pesar de que los volúmenes de tránsito han aumentado en el transcurso de los años</p>			

Tabla 15. Casos internacionales de value pricing - Roma.



ROMA (Italia)			
Año (Implementación cobro por congestión)	1998		 <p>Las señales indican las fronteras del área de peaje urbano Control de acceso a zona de tráfico limitado ZTL</p>
Superficie total	1.285	Km2	
Población	2.874.038	hab	
Densidad	2236,07	hab/Km2	
Antecedentes		Topología Tarifaria	
<p>En 1989, se establece una zona de tráfico limitado muy reducida en la que sólo se permite el acceso a residentes o a vehículos autorizados pero la vigilancia es escasa y la tasa de infracción elevada. El objetivo era reducir la congestión y mejorar la calidad ambiental en el centro histórico, San Lorenzo y del Trastevere. En este año se establece la zona de tráfico limitado ZTL para el acceso a dichas zonas y para el año 2001 se Automatiza el sistema del control de acceso.</p>		 <p style="text-align: center;">Cordon con 23 puntos de control</p>	
Costo de la Tarifa por congestión			
<p>Para la tarificación se tienen 23 puntos de control en el centro histórico y Trastevere funciona con un control convencional, las horas de funcionamiento del cobro para minimizar la congestión es de lunes a viernes de 6:30 a 18:00, viernes además de 23:00 a 3:00 y sábado de 14:00 a 18:00 y 23:00 a 3:00, las tarifas son anuales las cuales tienen un costo hasta 340 euros/año (373 USD/año, 1'096.041 COP/año), con las cuales se tienen diversos tipos de permisos tales como atravesar, circular entre otras. Las exenciones son establecidas para residentes dos permisos por domicilios usables por 12 vehículos, para cada permiso suplementario 325 euros/año (356,49 USD/año, 1'047.528 COP/año), discapacitados, motos, artesanos, talleres de reparación, locales empresariales con un permiso por plaza de aparcamiento con un valor de 117,91 euro/año (129,33 USD/año, 380.029 COP/año), distribución de mercancía tiene una hora libre en la mañana, trabajadores nocturnos 73 euros/año (80 USD/año, 235.076 COP/año) y permisos temporales para eventos.</p>	Hora del día	Tasa de cobro estimada día	Otras monedas ¹
	00:00 – 06:29	0,00 EURO/día	0,00 USD/día - 0,00 COL/día
	06:30 – 06:59	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	07:00 – 07:29	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	07:30 – 08:29	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	08:30 – 08:59	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	09:00 – 15:29	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	15:30 – 15:59	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	16:00 – 17:29	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
	17:30 – 17:59	1,09 EURO/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día
18:00 – 18:29	0,00 EURO/día	0,00 USD/día - 0,00 COL/día	
18:30 – 23:59	0,00 EURO/día	0,00 USD/día - 0,00 COL/día	
Resultados obtenidos luego de la implementación del cobro por congestión			
<p>La aplicación de las nuevas formas de control del pago de la tarifa en 2001, llevó a un descenso del tráfico entrante estimado entre el 15 y el 20% y un aumento de la velocidad media en torno al 4% en el interior del Centro Histórico. También se detectó un aumento del 11% en el aumento de las motocicletas y un 4% en el uso del transporte público. La distribución horaria del acceso al Centro Histórico cambió para ajustarse al horario de peaje. En la actualidad, las dos horas de máximo tráfico son entre las 18:00 y las 20:00, una vez que el sistema deja de funcionar. Los índices de emisión de benceno (C6H6), disminuyeron entre un 19% y un 39% en las cuatro zonas estudiadas, aunque no se conoce la importancia que puede haber tenido en ella la implementación de la Zona de Tráfico Limitada, que fue acompañada de otras medidas medioambientales en relación con los vehículos (NUSSIO, 2005).</p>			

Tabla 16. Casos internacionales de value pricing - Londres.



LONDRES (Reino Unido)			
Año (Implementación cobro por congestión)	2003		
Superficie total	1.575	Km2	Las señales indican las fronteras del área de peaje urbano
Población	9.787.426	hab	
Densidad	6214,24	hab/Km2	
Antecedentes		Topología Tarifaria	
<p>El peaje urbano de Londres ("London Congestion Charge") es una tasa que se aplica a determinados vehículos que circulan dentro de la zona central de Londres. Específicamente, se trata de una tarifa de congestión que busca disminuir el tráfico en zonas sensibles del área urbana de Londres con el objetivo último de I) financiar alternativas a la carretera centradas en el transporte público, y II) financiar políticas medioambientales.</p> <p>Los gestores del peaje de Londres se enfrentan en la actualidad a un dilema muy complicado, al haberse generado una estructura muy costosa para los beneficios que se derivan del sistema, beneficios que muy probablemente se vean superados cuando se desplieguen de forma generalizada las nuevas tecnologías limpias asociadas al vehículo.</p>			
Tarifa basada en un área			
Costo de la Tarifa por congestión			
<p>Las tarifas de congestión de Londres (en inglés: London congestion charge) es un peaje urbano que funciona como tasa que se aplica a determinados conductores que circulan en la zona central de Londres. La tasa se introdujo el 17 de febrero de 2003. En un principio se estableció un peaje de 5 libras (GBP, £), que fue aumentado el 4 de julio de 2005 a 8 libras y para el año 2011 aumento en 11,5 libras. La tasa diaria debe ser pagada por el dueño de un vehículo que entra, sale o se desplaza por la zona delimitada desde las 7:00 de la mañana a las 6:00 de la tarde. El control de los vehículos que circulan dentro de la zona que obliga al pago del cargo de congestión se realiza mediante 230 cámaras de circuito cerrado que graban videos de la zona. También hay un importante número de cámaras móviles que pueden ser desplegadas por cualquier punto. Abonos semanales, mensuales y anuales con descuento del 15%. Tarifas reducida de residentes: 90% de la normal (1,78 USD/día, 5.229 COP/día). Exenciones: Discapacitados, servicios de emergencia, fuerzas armadas y motos. Vehículos con nueve o más asientos. Vehículos con combustibles alternativos. no se paga fines de semana y días festivos (Ferrando, J. F. P. 2011). ² Las tasas de cambio corresponden al 6 de agosto de 2015.</p>	Hora del día	Tasa de cobro	Otras monedas¹
	00:00 – 06:29	0,00 GBP/día	0,00 USD/día - 0,00 COP/día
	06:30 – 06:59	0,00 GBP/día	0,00 USD/día - 0,00 COP/día
	07:00 – 07:29	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
	07:30 – 08:29	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
	08:30 – 08:59	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
	09:00 – 15:29	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
	15:30 – 15:59	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
	16:00 – 17:29	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
	17:30 – 17:59	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día
18:00 – 18:29	11,50 GBP/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día	
18:30 – 23:59	0,00 GBP/día	0,00 USD/día - 0,00 COP/día	
Resultados obtenidos luego de la implementación del cobro por congestión			
<p>El impacto inmediato de la introducción del peaje (1-24 meses) fue bastante relevante. Según los datos de Transport for London (TfL), se consiguió una reducción de un 20% en el número de vehículos que entraban en la zona, una reducción de tiempos de viaje en un 15%, un aumento de la puntualidad de los autobuses en un 25%, y una disminución del 7% en las ventas de comercios basados en la zona. En términos de seguridad vial, se ha reducido en un 7% el número de accidentes con víctimas. En cuanto al nivel de emisiones, hay un moderado impacto favorable en las reducciones del 2,5% en las emisiones de NOX, de 4,2% para PM y del 6,5% en el caso del CO2.</p> <p>El sistema afronta dos retos principales a corto plazo: uno que es la implantación de una solución técnica definitiva (haciendo evolucionar el sistema de reconocimiento de matrículas a un sistema de cobro electrónico vía "transponders" o vía sistemas de posicionamiento por el satélite) y el otro referente a la reducción de los elevados costes de estructura y de gestión actuales.</p>			

Tabla 17. Casos internacionales de value pricing - Estocolmo.

ESTOCOLMO (Suecia)			
Año (Implementación cobro por congestión)	2007		
Superficie total	187,84	Km2	
Población	782.885	hab	
Densidad	4167,83	hab/Km2	
Antecedentes		Topología Tarifaria	
<p>En enero del año 2006, en la ciudad de Estocolmo, se implementó un esquema de cobro por congestión a manera de prueba durante seis meses. En el transcurso del periodo de prueba hubo un extensivo programa de monitoreo y evaluación que evidenció reducciones importantes del volumen vehicular, de la congestión y de la variabilidad en los tiempos de viaje. Así mismo, se realizó un seguimiento a la opinión pública, la cual evolucionó de una oposición general a una mayoría que estaba a favor de la implementación del sistema de cobro por congestión. Una vez finalizado el periodo de prueba se empezó un referendo en la ciudad de Estocolmo y en gran parte de sus municipios vecinos. El referendo en la ciudad de Estocolmo resultó en un apoyo de la mayoría de la población para la implementación del esquema de cargo por congestión, contrario al resultado general en el resto de los municipios. Terminado el proceso de referendo el sistema de cobro por congestión fue reintroducido en Estocolmo en Agosto del 2007.</p>			
Cordon con 18 puntos de control			
Costo de la Tarifa por congestión			
<p>El sistema implementado en Estocolmo, que actualmente continua en operación, consiste en un peaje de cordón localizado alrededor del centro de la ciudad. El cobro solo se realiza en días hábiles durante el periodo horario comprendido entre las 6:30 y las 18:29. El costo del peaje por atravesar el cordón durante el periodo pico de la mañana y el de la tarde se detalla en la tabla de horarios. El peaje se cobra en dos direcciones, es decir, se cobra al ingresar al centro y al salir al centro de la ciudad. El cargo se realiza tantas veces como un vehículo atraviese el cordón hasta un máximo de 60 SEK (\$ 20.169 COP - US\$6,86), ¹ Las tasas de cambio corresponden al 6 de agosto de 2015.</p>	Hora del día	Tasa de cobro	Otras monedas¹
	00:00 – 06:29	0 SEK	0 USD - 0 COP
	06:30 – 06:59	10 SEK	1,14 USD - 3.361 COP
	07:00 – 07:29	15 SEK	1,71 USD - 5.042 COP
	07:30 – 08:29	20 SEK	2,28 USD - 6.723 COP
	08:30 – 08:59	15 SEK	1,71 USD - 5.042 COP
	09:00 – 15:29	10 SEK	1,14 USD - 3.361 COP
	15:30 – 15:59	15 SEK	1,71 USD - 5.042 COP
	16:00 – 17:29	20 SEK	2,28 USD - 6.723 COP
	17:30 – 17:59	15 SEK	1,71 USD - 5.042 COP
18:00 – 18:29	10 SEK	1,14 USD - 3.361 COP	
18:30 – 23:59	0 SEK	0 USD - 0 COP	
Resultados obtenidos luego de la implementación del cobro por congestión			
<p>Desde la estructuración del esquema de cobro por congestión se definió como objetivo principal una mejora de la movilidad y el ambiente de la ciudad. Estos objetivos se lograron y han permanecido a través del tiempo. Según el estudio realizado por Börjesson et al, durante el periodo de prueba se logró una disminución del volumen vehicular del 28% respecto al año 2005 (año de referencia). Una vez finalizó el periodo de prueba y se quitó el peaje por congestión el volumen vehicular aumentó inmediatamente, sin embargo, el tráfico vehicular permaneció entre 5-10% por debajo que el del 2005, evidenciando que los efectos del periodo de prueba permanecieron aún sin la existencia del cobro, esto debido a nuevos hábitos de desplazamiento inducidos por el peaje de congestión temporal (Börjesson et al, 2012). Cuando se reintrodujo el sistema de cobro por congestión en Estocolmo, en Agosto de 2007, hubo una reducción del 21% del total de viajes en las horas de cobro con respecto al 2005 (Börjesson et al, 2012). Entre 2008 y 2009 la reducción fue de 18% respecto al 2005, en 2010 de 19% y en el 2011 de 20% (Börjesson et al, 2012). Los ligeros cambios en la reducción del volumen vehicular de año a año no necesariamente significan que los efectos del cobro se atenúen con el tiempo, pues es necesario considerar que efectos externos como el crecimiento de la población y la nueva oferta de empleo que afectan directamente el volumen vehicular de la ciudad y de la zona de cobro. Así mismo, otros factores como la inflación que ha reducido el cobro aproximadamente en 2% por año y la deducción del cobro introducida en 2007, para cierto tipo de viaje y vehículos, han cambiado el valor del cobro por congestión en términos reales a través del tiempo y esto ha influenciado el volumen vehicular en la zona de cobro (Börjesson et al, 2012).</p>			

Tabla 18. Cuadro resumen de las Características de los principales peajes urbanos.

Ciudad	SINGAPUR	ROMA	LONDRES	ESTOCOLMO
Año	1975	1998	2003	2007
Objetivo explícitos	Reducir la congestión Circulatoria	Reducir el tráfico en el centro para evitar su deterioro	Reducir la congestión Mejorar el transporte público en autobús Mejorar la fiabilidad para los usuarios de automóviles Hacer más eficiente la distribución de mercancías y servicio	Reducir la congestión. Mejorar la accesibilidad Mejorar el medio ambiente.
Superficie del ambito de peaje (km2)	7,2	8,8	22	50
Puntos de control de acceso (no.)	28	23	230	18
Horario de funcionamiento (Laborable - Sabado)	7:30 a 18:30 - 7:30 a 14:00	6:30 a 18:30 - 23:00 a 00:30	7:00 a 18:30	6:30 a 18:30
Tarifas Promedio (USD - COP)	2,16 USD/día - 6.358 COP/día 1,80 USD/día - 5.298 COP/día	1,19 USD/día - 3.513 COL/día	17,80 USD/día - 52.294 COP/día	1,14 USD - 3.361 COP 2,28 USD - 6.723 COP
Exenciones de la tarifa	Emergencia, Autobuses urbanos Taxis (parcial), Motos (parcial) Combustible alternativo (parcial)	Emergencia, Autobuses urbanos Taxis, Motos, Residente	Emergencia, Autobuses urbanos Taxis, Motos, Residentes (Muy Alta) Combustible alternativo	Emergencia, Autobuses urbanos Taxis, Motos, Combustible alternativo
Distribucion de la Forma de Pago	Smart card	Smart card	Telefono 20% Comercios 30% Mensajes SMS 22% Internet 28%	Bancos 14% Comercios 21% Transponder (Tag) 65%
Monto de las sanciones por el no pago (USD - COP) Las tasas de cambio corresponden al 6 de agosto de 2015.	38,39 USD - 112.806 COP	74,59 USD - 219.178 COP	162,34 USD - 477.028 COP	59,67 USD - 175.337 COP
Efectos sobre la reducion del Trafico entrante (%)	50	15 a 20	21	22
Inversión implementación del peaje (USD - COP)	107.496.200 USD 315.872.208.890 COP	8.007.370 USD 23.529.256.376 COP	269.508.330 USD 791.936.752.288 COP	390.935.160 USD 1.148.743.420.900 COP
Ingresos/año (USD - COP)	43.600.000 USD 128.096.800.000 COP	63.220.000 USD 185.740.360.000 COP	407.224.000 USD 1.196.424.122.000 COP	Sin Datos
Gastos/año (USD - COP)	8.720.000 USD 25.617.360.000 COP	3.488.000 USD 10.247.744.000 COP	141.264.000 USD 415.033.632.000 COP	Sin Datos
Beneficios/año (USD - COP)	34.880.000 USD 102.477.440.000 COP	59.732.000 USD 175.492.616.000 COP	156.960.000 USD 461.148.480.000 COP	Sin Datos

Fuente: Autor

3.7 TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA EL COBRO POR CONGESTIÓN

La aplicación de nuevas tecnologías a la gestión de los peajes urbanos, ha supuesto una importante mejora de su funcionamiento, con aumentos significativos en su exactitud y en su fiabilidad, es así, que la implementación de un esquema de cobro por congestión trae consigo desafíos tecnológicos, sociales y operacionales. Actualmente existen diversas tecnologías que permiten la identificación de vehículos que pasan por un punto determinado. Ahora para la escogencia de la tecnología de cobro es necesario tener en cuenta las características del esquema y de la infraestructura que se va a intervenir para su puesta en marcha. Así mismo, la tecnología que se escoja depende de los objetivos perseguidos, idealmente, debe involucrar la visión a largo plazo que se tenga de la ciudad o región en que se implemente de las cuales resultan los siguientes cuestionamientos [78]:

¿Se espera expandir el sistema en el futuro?

¿Se espera que con el tiempo sirva otros propósitos adicionales, tales como cobros ambientales, seguridad o cargos a vehículos de carga por distancia recorrida?

¿Se espera que regiones cercanas instalen otros sistemas de cobro en el mediano o largo plazo, con las cuales sería necesaria una compatibilidad en la fiscalización? [79].

En la Tabla 19 se resumen los tipos de tecnologías de cobro; tanto no electrónicos, como electrónicos. Vale mencionar que dentro de las tecnologías basadas en infraestructura de

pórticos o postes también existen otros equipos de reconocimiento automático de vehículos, tales como, conteo por circuito de radiofrecuencia, ultrasonido y escáner de láser. Estas tres tecnologías se comparan por aparte más adelante.

Tabla 19. Clasificación de Tecnología

Familia	Clase	Tecnologías	Elementos o Subtecnologías
Sistemas de cobro No Electrónico	Manual	Sistemas de papel	Licencia / Permiso / Calcomanía
			Regulación a infractores en puntos de control
		Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Efectivo/vouchers/Tarjetas Electrónicas o Inteligentes
			Plaza o Caseta Valla pivotable
Sistemas de Cobro Electrónico	Basados en Infraestructura de Pórticos o Postes	Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Cámaras
			Dispositivos de Iluminación
			Pórticos / Postes
			Dispositivos de Clasificación de Vehículos
			Centro de control (Procesamiento de datos y verificación)
	Basados en Equipos Intra Vehiculares	DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos	Antenas
			Pórticos / Postes
			Tags/Transpondedores/OBU (Unidad Intra Vehicular)
			Radio frecuencia/ Microondas / Infrarrojo
			Puntos de venta o Distribución (para OBU)
Basados en Equipos Intra Vehiculares	Tecnologías de localización vehicular (VPS) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	OBU / Odómetro / Tacógrafo	
		Tarjeta Inteligente	
		Repetidores de señal	
		OBU	
		Sistemas de Redes de Telefonía Celular	
Basados en Equipos Intra Vehiculares	Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Tarjeta Inteligente	
		Odómetro / Tacógrafo	

Nota: ALPR: Automatic License Plate Recognition, por sus siglas en inglés, ANPR: Automatic Number Plate Recognition, DSRC: Dedicated Short Range Communications, VPS: Vehicular Positioning Systems, GNSS: Global Navigation Satellite Systems, OBU: On Board Unit.

Fuente: Federal Highway Administration 2008, Plama & Lindsey 2011, Steer Davies Gleave 2009 y The World Bank Group 2008.

A pesar que las tecnologías presentadas en la tabla anterior se clasifican de manera separada. Con frecuencia se aplican de manera combinada dentro de un mismo esquema de cobro. Tal es el caso de Singapur ver figura 23, que utiliza el sistema DSRC para el reconocimiento de los vehículos y la fiscalización del cobro, unido a un sistema de reconocimiento por video (ANPR o ALPR) para el control de los infractores.

Figura 23. Sistemas de tecnología aplicada en Singapur para el cobro por congestión



Fuente: Autor

En la Tabla 20 se presenta una comparación entre las distintas tecnologías disponibles para el cobro por congestión. Así mismo, la Tabla 21, muestra una comparación de la tecnología referente a los principales criterios.

Tabla 20. Tecnologías disponibles para el cobro por congestión

Tecnologías	Descripción
Sistemas de papel	El usuario compra en puntos de distribución licencias de papel o calcomanías adheribles al parabrisas del vehículo que le permiten ingresar a un área determinada de la ciudad, a un corredor o atravesar un cordón. El control de infractores se realiza con personal en puntos de control al interior de la zona/corredor.
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	El cobro se realiza en casetas fijas localizadas en los accesos a corredores o sobre cordones de acceso a una zona. La fiscalización se puede realizar utilizando operarios o sistemas automáticos de reconocimiento de tarjetas electrónicas o inteligentes, entre otras.
Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Un conjunto de cámaras instaladas en pórticos sobre la vía, o postes al lado de la vía, junto con dispositivos de iluminación infrarroja o flash intermitente, graba y reconoce, a partir de software especializado, las placas de los vehículos. Los números de placa obtenidos se cruzan con las bases de registro para reconocer el propietario y cargar a éste el cobro. Si las bases están unidas a una cuenta bancaria, la transacción se realiza automáticamente. La fiscalización descrita se puede realizar en un centro de control remoto (back office) o en equipos instalados junto con las cámaras. La información se puede transmitir al centro de control por señal de radio o por fibra óptica. La Fiscalizar con equipos en la vía tiene la ventaja de disminuir el volúmen de información que debe ser transmitida al centro de control. Requiere de operarios que verifican el correcto reconocimiento de las placas vehiculares.
DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos Transponders and Gantries	Un conjunto de emisores y antenas lectoras de señal infrarroja, microondas o de radio se instalan en pórticos o postes. Estos dispositivos se comunican con una unidad intravehicular que puede ser ligera (Thin-Client), la cual contiene únicamente la información necesaria para la fiscalización (número de placa, propietario, clase de vehículo) o pesada (Thick-Client), ésta última es costosa y permite vincular el vehículo a una cuenta bancaria o utilizar tarjetas inteligentes prepago, entre otros. Usualmente éstos sistemas utilizan cámaras para el control de infractores.
Tecnologías de localización vehicular (VPS) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	Éste tipo de tecnología utiliza los sistemas satelitales, sea el Estadounidense, Europeo o Ruso, para localizar geográficamente los vehículos. Se basa en la instalación de una unidad intravehicular pesada (Thick-Client) que se comunica con éstos, transmitiéndoles su posición y demás datos necesarios. Requiere de puestos terrestres de control a infractores, los cuales pueden incluir unidades de personal móvil al interior de la zona o corredor que se está tarifando, así como sistemas de cámaras en pórticos o postes. Por el efecto de cañón que se presenta en los entornos urbanos, el cual consiste en la reflexión de las señales en objetos altos (edificios), requiere de equipos de repetición de señal para asegurar una correcta transmisión. Así mismo, requiere medidas especiales de protección de la información.
Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Esta tecnología también consiste en la localización geográfica de los vehículos. Parte de la utilización de los celulares (o de unidades intra vehiculares que funcionen igual) para comunicarse con las antenas de las redes de telefonía celular y así localizar el vehículo y realizar la fiscalización. Actualmente no se ha implementado ningún cobro por congestión utilizando ésta tecnología. Sin embargo, pilotos realizados en EEUU, entre otros, han arrojado resultados positivos en cuanto a su factibilidad. Requiere de medidas especiales para proteger la información transmitida y de sistemas de cámaras para controlar a los infractores.

Fuente: Federal Highway Administration 2008, Plama & Lindsey 2011, Steer Davies Gleave 2009 y The World Bank Group 2008.

Tabla 21. Comparación de la tecnología referente a los principales criterios.

Tecnologías	Infraestructura e impacto Urbano	Costo	Exactitud	Flexibilidad de cobro de tarifas	Complejidades de operación y administrativas
Sistemas de papel	Alto: Casetas, vallas y puntos de control	Bajo por: Personal contratado, distribución de permisos, casetas.	Alta	Permite discriminar por tipo de vía, vehículo, momento del día, pero no por situación del tráfico. Permite prepago	Falsificación de las licencias. Requiere numerosos puntos de control de infractores.
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Alto: Casetas, vallas y puntos de control	Medio por: Personal, casetas, vallas, carriles adicionales.	Alta	Permite discriminar por tipo de vía, vehículo, momento del día, pero no por situación del tráfico. Permite prepago si se utilizan tarjetas inteligentes	Puede generar congestión adicional al detener el vehículo para el cobro.
Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Alto: Pórticos en puntos de cobro y de control a infractores (Éste último depende del esquema de cobro)	Medio por: Infraestructura de pórticos, cámaras, dispositivos de iluminación, operarios, etc. Depende del número de puntos de cobro.	Media: Fallas de lectura entre 10 y 30%	Permite discriminar por tipo de vía, vehículo y momento del día. Es costoso cambiar de esquema y no se recomienda para aplicación de cobros por distancia recorrida debido a las fallas de exactitud. Depende de la calidad de información en los registros de placa. Permite pago por cuenta bancaria	Las fallas de lectura implican la utilización de verificadores manuales. Depende de condiciones climáticas y de iluminación. Depende de buena fiscalización de los registros vehiculares. Depende de cultura de evasión (modificaciones ilegales de placas, etc.)
DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos Transponders and Gantries	Alto: Pórticos en puntos de cobro y de control a infractores (Éste último depende del esquema de cobro)	Medio-Alto por: Infraestructura de pórticos, OBU, cámaras, antenas, etc. Depende del número de puntos de cobro y control.	Alta: Fallas de lectura alrededor de 0.002%	Permite diferenciar por tipo de vehículo y momento del día. Permite prepago y a través de cuenta bancaria. La expansión del sistema a nuevos puntos es costosa, por lo que esquemas de cobro por distancia, aunque exactos, resultarían costosos.	Dependiendo del tipo de señal utilizada (Infrarrojo, Microondas, radio) puede sufrir de interferencia por luz solar, clima, u otras señales de radio frecuencia.
Tecnologías de localización vehicular (VPS) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	Menor: Sólo requiere pórticos o postes con cámaras en puntos de control	Alto costo por: OBU, repetidores de señal, seguridad de información, puntos de control de infractores	Alta	Permite discriminar por tipo de vehículo, ubicación, momento del día. Junto con otras tecnologías incluso por ocupación vehicular, la expansión del sistema es relativamente económica. Permite prepago y pago por cuenta bancaria. En la actualidad se utiliza para cobros por distancia recorrida.	Efecto cañón: Dificultades en recibir señales dentro de entornos urbanos por reflexión de estructuras altas, interferencias de puentes, pérdida de señal en túneles, entre otros. Requiere sistemas de protección a la privacidad y de la información.
Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Mínimo: Los equipos de calle consisten en transceptores como los que ya utiliza la red de telefonía celular	Medio Alto: Transceptores, unidades vehiculares, cámaras para control de infractores. Depende de número de puestos de control	Alta	Permite discriminar por tipo de vehículo, ubicación y momento del día. Permite prepago o pago por cuenta bancaria	Posibles interferencias con otras radiofrecuencias, aunque es mínima. Saturación de la red si no hay suficiente densidad de transceptores.

Fuente: Federal Highway Administration 2008, Plama & Lindsey 2011, Steer Davies Gleave 2009 y The World Bank Group 2008.

Continuación **Tabla 21.** Comparación de la tecnología referente a los principales criterios.

Tecnologías	Usuarios Infrecuentes	Cumplimiento del Pago y Seguimiento de infractores	Mantenimiento y Vida Útil	Aceptación	Interoperabilidad
Sistemas de papel	Utilizan el mismo sistema que los otros usuarios	Requiere puestos móviles (policivos) de control a infractores	Larga duración, mantenimiento relacionado con los canales de distribución de licencias e infraestructura (casetas y vallas) utilizadas para el control	Altamente visible y legible, por lo que es históricamente aceptado	Puede presentar problemas con otros esquemas (regionales, municipales, nacionales) y sistemas si no se establecen estándares
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Utilizan el mismo sistema que los otros usuarios	No requiere infraestructura adicional para el control de infractores	Larga duración, mantenimiento relacionado con la infraestructura (casetas y vallas) utilizadas para el cobro.	Altamente visible y legible, por lo que es históricamente aceptado	Puede presentar problemas con otros esquemas (regionales, municipales, nacionales) y sistemas si no se establecen estándares
Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Utilizan el mismo sistema que los otros usuarios	No requiere infraestructura adicional para el control de infractores ya que el mismo sistema de video los reconoce	Requiere limpieza periódica de cámaras para asegurar calidad de imágenes. Requiere de dispositivos de iluminación que duran entre 2 y 5 años	Dependiendo del tipo de información manejada, puede tener implicaciones en la privacidad. Sin embargo, puesto que son puntos específicos, no tiende a tener fuertes oposiciones	Normalmente opera en conjunto con otras tecnologías: VPS, DSRC, Redes Celulares.
DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos Transponders and Gantries	Requiere utilización de cámaras adicionales para reconocimiento	Requiere de la utilización de cámaras en distintos puntos para control de infractores	La infraestructura es susceptible a vandalismo e impactos. Las unidades intra vehiculares (OBU) tienen una vida útil de alrededor 5 años	Sin dificultades de aceptación en las experiencias internacionales	Puede operar con otras tecnologías, tales como ANPR o ALPR, GPS y Redes Celulares. Sin embargo, requiere el establecimiento de estándares con otros esquemas DSRC para evitar problemas de legibilidad
Tecnologías de localización vehicular (VPS) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	Requiere utilización de cámaras adicionales para reconocimiento	Requiere unidades fijas y móviles en tierra de control a infractores. Dependiendo del esquema de cobro, requiere más unidades	Las unidades intravehiculares tienen una vida útil de alrededor de 5 años. El mantenimiento está relacionado a los repetidores de señal y cámaras de control de infractores.	Dificultades de aceptación pública por cuestiones de privacidad.	Requiere de tecnologías complementarias tales como ANPR o ALPR y DSRC- Su expansión a otros servicios y propósitos (seguridad, cobros ambientales, etc.) es costo efectiva
Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Requiere utilización de cámaras adicionales para reconocimiento	Requiere unidades fijas y móviles en tierra de control a infractores, pero menos que las demás tecnologías	Requiere mantenimiento de los transeptores y unidades intravehiculares. Éstas últimas son más sencillas que las requeridas por VPS, por lo que son menos costosas	Puesto que la red de telefonía celular ya tiene un uso generalizado, no es de esperar que tenga inconvenientes de aceptación pública un cobro por congestión con ésta tecnología	Su interoperabilidad puede ser menos sencilla que otras tecnologías. Sin embargo, permite expansión a otros servicios y propósitos (Seguridad, cobros ambientales, etc.)

Fuente: Federal Highway Administration 2008, Plama & Lindsey 2011, Steer Davies Gleave 2009 y The World Bank Group 2008.

Como se mencionó anteriormente, dentro de las tecnologías basadas en infraestructura de pórticos y postes, existen sistemas de escaneo por láser, ultrasonidos o conteos mediante circuitos de radiofrecuencias. Estos tres tipos de tecnologías se comparan a continuación ver tabla 22:

Tabla 22. Comparación de 3 tecnologías para reconocimiento automático de vehículos en movimiento

	Video	Circuito de Radio Frecuencias	Ultrasonido	Escáner de Laser
Desempeño	Medio	Bajo	Medio	Alto
Precio	Medio	Bajo	Alto	Alto
Costo Operación y Mantenimiento	Alto	Alto	Medio	Bajo

Fuente: CPG Consultants, 2002

Las tablas anteriores muestran que cada tecnología tiene ventajas y desventajas específicas. Por ello, dependiendo de los contextos económicos, políticos y sociales, así como de los propósitos perseguidos [80], la tecnología a escoger deberá ser distinta. Como ejemplo de lo anterior, en Santiago de Chile existe una fiscalización de placas y registros automovilísticos débil. Por esto, la aplicación de una tecnología tipo ANPR o ALPR presentaría mayores niveles de falla en el reconocimiento de vehículos y en la fiscalización [81].

Así mismo, vale la pena mencionar que las tecnologías de red celular aún no se han implementado en esquemas de cobro por congestión. Se han realizado pruebas pilotos para evaluar ésta tecnología en éste tipo de aplicación en Maryland y California, de los Estados Unidos y en Newcastle y Londres, del Reino Unido [82]. Las pruebas han arrojado resultados positivos que establecen la viabilidad de la aplicación de redes celulares a los cobros por congestión.

En lo que se refiere a los sistemas satelitales (VPS o GNSS, por sus siglas en inglés), en la actualidad los costos de las unidades intra-vehiculares requeridas (OBU) son prohibitivos para implementaciones de escala zonal (urbana). Así mismo, las tecnologías de soporte necesarias (repetidores de señal, mapas de información geográfica, protección de privacidad, entre otros) para viabilizar su desempeño en los contextos urbanos, escalan aún más sus costos. Por ésta razón, las implementaciones existentes (Suiza, Alemania, entre otros) se enfocan en cargos por distancia recorrida a vehículos de carga en escala regional. Puesto que los cargos impuestos a dichos vehículos son altos, y en la escala regional recorren grandes distancias, los ingresos obtenidos con éste esquema justifican la inversión. Por su capacidad de determinar las distancias recorridas por cada vehículo, tienen alto potencial para reemplazar los impuestos sobre la gasolina. Esto, como en el caso del modelo Alemán, puede mejorar la aceptabilidad de este esquema. [79]. Ver tabla 23.

Tabla 23. Sistemas electrónicos en tierra (ANPR/ALPR) Vs sistemas satelitales (VPS o GNSS)

ANPR/ALPR	VPS o GNSS
Costo efectivo a escala zonal	Costo efectivo a escala regional
Poco práctico para determinación de distancias de recorrido.	Capaz de determinar distancias de recorrido. Potencial de reemplazar impuestos sobre la gasolina
Actualmente utilizado para cobro por congestión (C.O)	Actualmente utilizado para cargos por distancia recorrida a vehículos de carga
Legible y mejor aceptado públicamente para C.O	Poco legible y menos aceptado públicamente para C.O

Fuente: Palma. A & Lindsey. R, 2011

A largo plazo con la introducción de nuevas tecnologías complementarias a los VPS, tales como el DSRC 5.9 G-Hz, WiFi (Wireless Fidelity) y WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) y teniendo en cuenta sus ventajas en cuanto a versatilidad y generación de servicios de valor agregado, facilidad de cubrimiento de redes viales a escala regional, interoperabilidad, economías de escala y, el ya mencionado potencial de reemplazo de impuestos a la gasolina; se espera que el uso de esta tecnología (VPS o GNSS) se expanda y pueda llegar a convertirse en una opción atractiva para implementar cobros por congestión [79].

Por último, es válido mencionar que en los sistemas implementados en diferentes ciudades del mundo se presentan excepciones de cobro por diferentes motivos. En primera instancia los vehículos de atención de emergencias no son cargados por razones de seguridad, la exención del cobro a otros tipos de vehículos (como: vehículos oficiales, taxis, buses o motos) se presenta en ciertos casos aludiendo a razones diferentes. Sin embargo, teóricamente, la exención de cualquier tipo de vehículo en el cobro por congestión representa una pérdida de eficiencia en el esquema, puesto que el vehículo no está internalizando costos externos, pero si está generándolos a los demás; estrictamente hablando, sin importar qué tipo de vehículo utilice, todos los usuarios de la vía congestionan en cierta medida. Existen tecnologías complementarias que pueden ayudar a mejorar la eficiencia del cobro, aún después de establecer excepciones ver tabla 24.

Tabla 24. Tecnologías complementarias al cobro.

Influenciar viajeros en ruta (Letreros y señales de tránsito dinámicas)
Influenciar viajeros antes del viaje (información de tránsito por la web, red telefónica o en servicios especializados)
Influenciar comportamiento personal (Servicios de información de tránsito al intra vehicular, campañas de educación, teletrabajo)
Control del flujo de tráfico: Límites de velocidad variables, control centralizado y dinámico de semaforización y señalización, manejo integral de corredores y carriles.

Fuente: FHWA, 2008

3.8 INFLUENCIA SOCIO-POLÍTICA DEL COBRO POR CONGESTIÓN

La aplicación de la tarifa de peaje urbano como criterio de eficiencia en el transporte y movilidad se presenta como un argumento de difícil aceptación por parte de los ciudadanos afectados por el pago de la misma [83], para quienes esta es percibida como un impuesto o tasa adicional que deben pagar por el uso de la infraestructura vial urbana, circunstancia que, además de provocar rechazo social, supone un importante factor de resistencia para que las administraciones públicas implicadas adquieran el compromiso para su puesta en funcionamiento, debido fundamentalmente a las implicaciones electoralistas negativas que podrían derivarse de su aplicación [84].

Un aspecto decisivo que ha contribuido notablemente a la aceptación social progresiva de estos sistemas se encuentra vinculado a la inversión de los fondos procedentes del peaje en el fomento y desarrollo del transporte, y más concretamente a la percepción de mejoras reales y efectivas en el transporte público [85], así como también a la aceptación popular mediante referéndum “como el caso del peaje de Estocolmo tras el periodo de prueba”, factor muy significativo para evitar la elevada resistencia y oposición social sobre la medida cuando esta es implantada de forma imperativa e inminente [86]. Los efectos sociales y su posible incidencia sobre la falta de equidad o justicia social constituyen igualmente un factor decisivo sobre la aceptación social [83], fundamentalmente por el potencial riesgo que estos sistemas presentan para generar efectos regresivos sobre las condiciones de movilidad, donde el pago de la tarifa de peaje puede provocar un efecto de exclusión social en el acceso al lugar de trabajo, educación u ocio sobre los estratos más bajos [87], solo proporcionando beneficios a los individuos que tienen capacidad económica para soportar el pago de la misma [88].

Por lo tanto, los distintos grupos sociales, por razones económicas o socioeconómicas, pueden verse altamente afectados por la aplicación de la medida cuando no existen alternativas suficientemente competitivas y accesibles de transporte público [89] en el marco de la actual configuración que presentan las grandes urbes como ciudades dispersas, debido al elevado proceso de sub-urbanización poblacional y deslocalización de los negocios, donde la transparencia sobre el destino de los ingresos procedentes del peaje urbano juega un papel crucial en la motivación de la aceptabilidad social ciudadana [90], lo que deja patente que una redistribución social de los fondos hacia inversiones en transporte público y movilidad, servicios de transporte unido al establecimiento de un conjunto de exenciones que aseguren un nivel aceptable de equidad social impuesta por el sistema, deben considerarse aspectos clave en la toma de decisiones por parte del gestor político implicado en la aplicación de la medida.

CAPITULO 4

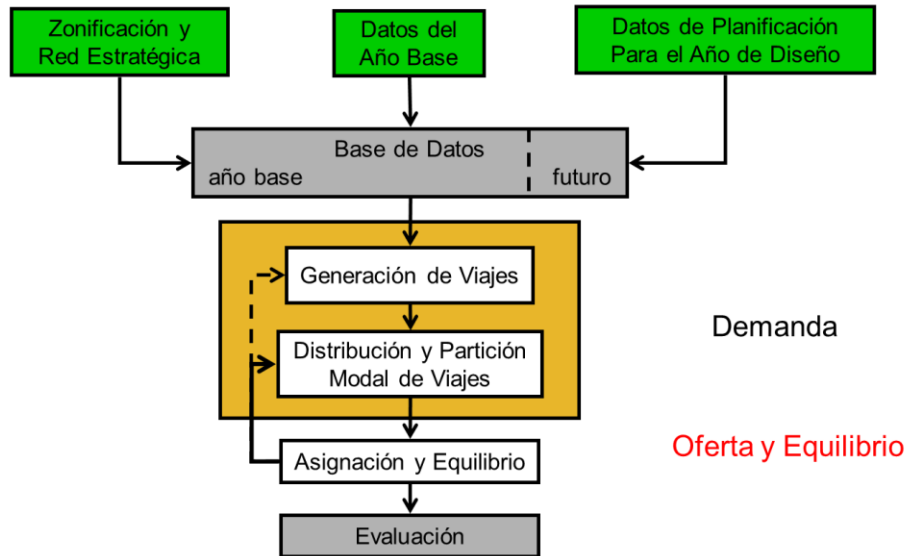
4.0 CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TASA POR CONGESTIÓN MEDIANTE MODELACIÓN DE LA DEMANADA.

La regulación de precios e infraestructuras de transporte, las decisiones de inversión en capacidad a largo plazo y las políticas que afectan la distribución intermodal del tráfico requieren, para su evaluación, la capacidad de predecir previamente el comportamiento de la demanda. Una gran parte de los problemas de economía del transporte pueden reducirse al compromiso que se establece entre producción y costos de usuario. Las grandes inversiones que requieren las redes de transporte suponen costos de construcción, conservación y mantenimiento elevados que permiten reducir el costo de viajar. Mayores costos de producción se justifican si se reducen suficientemente los tiempos, y se incrementa la calidad y la seguridad de los desplazamientos [91] [92].

Ahora el costo de desplazarse no sólo se reduce a la tarifa o al costo operativo del vehículo propio, sino que también conlleva un consumo de tiempo que los individuos valoran de diferente manera. Por esta razón, en economía del transporte se utiliza el concepto de costo generalizado, que incluye, además de los costos directos del transporte, la valoración económica de las variables que influyen en las decisiones de los viajeros. El costo generalizado es un reflejo directo de la idea de utilidad indirecta que a su vez representa la desutilidad de viajar [93].

Es así, que el problema de modelar la demanda de transporte se fue resolviendo progresivamente en forma más satisfactoria a través de las cuatro últimas décadas, hasta establecer una metodología a la que generalmente se reconoce como enfoque clásico ver figura 24. Considerando está el problema del transporte como un proceso secuencial en que interactúan diferentes submodelos: generación-atracción de viajes, distribución, reparto modal y asignación de tráfico a la red (últimamente se ha añadido, al menos en concepto, la elección de la hora del viaje). La entrada de estos modelos está constituida por variables de naturaleza agregada que están relacionadas con el comportamiento conjunto de un determinado grupo de individuos. Estos modelos, también llamados de primera generación, no han estado exentos de crítica, debido principalmente a su poca flexibilidad, escasa precisión, elevado costo y a su débil orientación a la toma de decisiones políticas [94].

Figura 24. Visión moderna modelo clásico análisis de demanda



Fuente: Márquez L., 2014

4.1 MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA

Los modelos de elección discreta, son ampliamente utilizados en microeconomía. La ventaja fundamental de estos es que nos permite estudiar observaciones que no pueden ser abordadas en el contexto de sección cruzada o de series temporales, únicamente. En particular, los modelos de elección discreta permiten tener en cuenta la existencia de efectos individuales inobservables, que pueden estar correlacionados con otras variables incluidas en la especificación de una relación econométrica. Otra ventaja fundamental de estos es que permiten modelizar relaciones dinámicas entre las variables. En este contexto, la distinción entre **variables estrictamente exógenas** (variables independientes o explicativas, cuyo valores numéricos se determinan fuera del modelo; estas se pueden dividir, a su vez en variables de política, esto es, variables bajo control del modelador y en variables adicionales) y **variables endógenas** (variable dependiente, cuyo valor resulta de la operación del modelo) estas variables predeterminadas se considera fundamental en el análisis aplicado. [95]

En la práctica los modelos más usados son el logit multinomial (MNL) y el logit jerárquico (NL), que son relativamente sencillos de estimar y presentan la ventaja de que disponen de una formulación cerrada para el cálculo de probabilidades. Con estos modelos la atención se centra en estimar la eliminación del sesgo debido a la existencia de heterogeneidad inobservable e invariante en el tiempo entre individuos y de tener en cuenta la existencia de variables explicativas predeterminadas. Se estudia el llamado enfoque de «efectos-fijos». En principio este enfoque es muy atractivo, ya que no requiere realizar supuestos paramétricos sobre la distribución condicional de la heterogeneidad inobservable dadas las

variables explicativas. Sin embargo, una desventaja de este método es que sólo puede utilizarse para ciertas distribuciones y, normalmente, requiere hacer supuestos muy restrictivos sobre la distribución de los errores. Estos problemas se pueden resolver, en parte, mediante el enfoque de «efectos aleatorios». Aunque este enfoque siempre puede utilizarse, las características restrictivas del enfoque anterior se eliminan a costa de imponer una especificación paramétrica para la distribución condicional de los efectos individuales inobservables. Se han desarrollado modelos menos restrictivos, tales como otros modelos de valor extremo generalizados (GEV) más complejos que el NL y el modelo probit, pero las dificultades para su especificación y estimación han limitado su uso [94], es de indicar que en los últimos años, se ha puesto de moda en la literatura científica sobre este ámbito el modelo logit mixto, el cual es denominado “el modelo del futuro”, afirmando que casi cualquier estructura de error deseable puede ser representada por este modelo [96]

4.1.1 Clasificación de los modelos de elección discreta

Según el número de alternativas incluidas en la variable endógena, se distinguen los modelos de respuesta dicotómica frente a los denominados modelos de respuesta o elección múltiple. Según la función utilizada para la estimación de la probabilidad existe el modelo de probabilidad lineal truncado, el modelo Logit y el modelo Probit. Según las alternativas de las variables endógenas sean excluyentes o incorporen información ordinal se distingue entre los modelos con datos no ordenados y los modelos con datos ordenados. Dentro de los primeros, según los regresores hagan referencia a aspectos específicos de la muestra o de las alternativas entre las que se ha de elegir, se distingue entre los modelos multinomiales y los condicionales. Teniendo en cuenta todos los elementos que influyen en el proceso de especificación de los modelos de elección discreta, se puede establecer una clasificación general de los mismos, ver tabla 25.

Tabla 25 Clasificación de los modelos de elección discreta

No. De alternativas	Tipo de alternativas	Tipo de función	El regresor se refiere a:	
			Características (de los individuos)	Atributos (de las alternativas)
Modelos de respuesta dicotómica (2 alternativas)	Complementarias	Lineal	Modelo de Probabilidad Lineal Truncado	
		Logística	Modelo Logit	
		Normal tipificada	Modelo Probit	
Modelos de respuesta múltiple (más de 2 alternativas)	No ordenadas	Logística	Logit Multinomial	Logit Condicional
			*Logit Anidado	*Logit Anidado
			*Logit Mixto	*Logit Mixto
		Normal tipificada	Probit Multinomial	Probit Condicional
	Ordenadas	Logística	Logit Ordenado	
		Normal tipificada	Probit Ordenado	

Fuente: Medina 2003 [97]

4.1.2 El proceso de elección

Una elección puede analizarse como una secuencia de decisiones que incluya los siguientes pasos [98]:

1. Definición del problema de elección
2. Generación de alternativas
3. Evaluación de los atributos de las alternativas
4. Elección
5. Ejecución de la alternativa elegida

Las reglas de decisión describen el mecanismo interno que utiliza el decisor para procesar la información disponible y alcanzar una elección única. Existen numerosas reglas de decisión propuestas [99], que se pueden clasificar en las siguientes categorías [98]:

Dominancia: una alternativa es dominante respecto a otra si al menos un atributo es mejor y en los demás no es peor. Esta regla puede no conducir a una elección única. Puede añadirse complejidad definiendo un rango de indiferencia (umbral mínimo de diferencia de valores para considerar un atributo mejor que otro).

Satisfacción: para cada atributo se considera un umbral mínimo de satisfacción para el individuo, una alternativa puede ser eliminada si no alcanza este mínimo para algún atributo.

Reglas lexicográficas: se supone que los atributos están ordenados por importancia, de modo que el individuo elige la alternativa que tiene el mayor valor en el atributo más importante, en caso de igualdad se pasa al siguiente atributo (del mismo modo que se realiza el orden alfabético de las palabras en los diccionarios). También se puede utilizar esta regla para ir eliminando las alternativas peores en cada atributo por orden de importancia.

Eliminación por aspectos: es la combinación de las reglas lexicográficas y de satisfacción. El individuo comienza por el atributo más importante y elimina las alternativas que no alcanzan su umbral de satisfacción, si todavía hay varias alternativas disponibles pasa al siguiente atributo en importancia; [100], [101] plantean la equivalencia de este tipo de elección con la maximización de la utilidad aleatoria que se expone a continuación.

Utilidad: se considera que los atributos son conmensurables y que el atractivo de una alternativa, expresado por un vector de valores de los atributos, se puede expresar mediante un escalar, denominado en general utilidad. El individuo buscará maximizar esta utilidad (o minimizar sus costes). Esta regla implica un comportamiento de tipo compensatorio, en el que una disminución en un atributo puede ser compensada por una mejora en otro (al contrario de lo que sucedía con las reglas anteriores).

Este comportamiento hipotético de maximización de la utilidad es el que ha fundamentado casi todo el desarrollo de los modelos de elección en transportes, si bien los últimos estudios están tratando de incluir otras reglas [94]. También existen análisis para la

detección de elecciones que no siguen los principios de máxima utilidad, especialmente con datos de preferencias declaradas [102]

4.1.3 Fundamentos Metodológicos, Teoría de la Utilidad Aleatoria.

El modelo teórico postulado para realizar las estimaciones y los pronósticos con la implantación de una tasa por congestión se basan en la teoría de utilidad aleatoria soportados en los modelos de elección discreta [103]. Los modelos de elección discreta han sido de amplio uso para estimar la demanda en los sistemas de transporte y la influencia de ellos en los individuos [104]. Se plantea que el individuo escoge la alternativa que maximice su utilidad personal. Cada alternativa $A_j \in A(q)$, siendo $A(q)$ el conjunto de alternativas disponibles para el individuo q , tiene asociada una utilidad neta U_{jq} que es conocida por el individuo, pero no por el modelador, quien no posee información completa. Por consiguiente, este último asume que U_{jq} puede representarse como la suma de dos componentes: una sistemática, representativa o medible (V_{jq}) , que es función de un vector de atributos observados X_{jq} , y un error aleatorio (ε_{jq}) que permite reflejar características no observadas [103]. De esta manera, se postula la ecuación 15:

$$\text{Ecuación 15 } U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq}$$

En la función de utilidad se ven incluidas los atributos observados y también las constantes específicas (ACS), la cual representa la influencia de atributos y características de los individuos no medibles u observables o no explícitas en la función de utilidad [105]. Según Train; la ACS para una alternativa recoge el efecto promedio sobre la función de utilidad de todos los factores no incluidos en el modelo [106]. La mayoría de las variables que inciden en la magnitud de las ACS están relacionadas con variables latentes como la seguridad, el confort [107].

Según la Teoría de Utilidad Aleatoria el individuo selecciona la alternativa A_j si y solo si $U_{jq} \geq U_{iq} \forall A_j \in A(q)$; mientras que el modelador sólo puede plantear la probabilidad de que el individuo escoja esa alternativa ver ecuación 16:

$$\text{Ecuación 16 } P_{jq} = \text{Prob} \left\{ \varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A_{c(q)} \right\}$$

Si $f(\varepsilon) = f(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_N)$ es la función distribución de las variables aleatorias, se tiene la ecuación 17:

$$\text{Ecuación 17 } P_{jq} = \int_{\varepsilon_{jq}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{1q}=-\infty}^{V_{jq}-V_{1q}+\varepsilon_{jq}} \dots \int_{\varepsilon_{Nq}=-\infty}^{V_{jq}-V_{Nq}+\varepsilon_{jq}} f(\varepsilon_{1q}, \varepsilon_{2q}, \dots, \varepsilon_{Nq}) d\varepsilon_{1q} \dots d\varepsilon_{Nq}$$

Nótese que la probabilidad de elección es una integral multidimensional sobre la densidad de la porción no observada de la utilidad. Es importante señalar que pueden obtenerse diferentes modelos dependiendo de los supuestos sobre la distribución de los ε . Así por ejemplo, si los errores distribuyen independiente e idénticos (IID) Gumbel con media cero y varianza σ^2 , la probabilidad de la ecuación 18 está dada por:

$$P_{jq} = \frac{\exp(\lambda \cdot V_{jq})}{\sum_{A_i \in A_{(q)}} \exp(\lambda \cdot V_{iq})}$$

Ecuación 18

Que corresponde al modelo Logit Simple o Multinomial (MNL), donde λ es un factor de escala relacionado con la varianza del término de error tal como se muestra en la ecuación 19:

$$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma}$$

Ecuación 19

El factor de escala generalmente no es identificable, por lo que es necesario normalizar (fijar) este valor (escalamiento de la matriz de varianza covarianza); usualmente se asume

$\lambda = 1$ lo que implica que $\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6}$. Dada su matriz de covarianza, por definición el MNL no acepta correlación entre alternativas, heterocedasticidad ni variaciones en los gustos. Por otro lado, es común especificar la utilidad sistemática como lineal en los parámetros, ver ecuación 20:

$$V_{jq} = \theta X_{jq}$$

Ecuación 20

Donde θ es un vector de parámetros de dimensión $1 \times K$ y X_{jq} un vector de atributos de dimensión $K \times 1$; las constantes específicas hacen parte del vector de atributos, tomando cada una de ellas el valor de 1 en la alternativa donde se especifica y cero en otro caso. La estimación del vector de parámetros requiere observaciones respecto de los atributos y de las elecciones de una muestra de Q individuos; con esto es posible construir la función de log-verosimilitud, dada por la ecuación 21:

$$l(\theta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_i \in A_{(q)}} g_{iq} \ln P_{iq}$$

Ecuación 21

Donde g_{iq} toma el valor uno si el individuo q escoge A_i y cero en otros casos. Maximizando la ecuación 22 es posible encontrar un conjunto de estimadores máximo verosímiles θ^* que distribuyen asintóticamente normal (θ, S^2) [31], donde:

$$S^2 = - \left[E \left(\frac{\partial^2 l(\theta)}{\partial \theta^2} \right) \right]^{-1}$$

Ecuación 22

Además, $-2l(\theta^*)$ distribuye asintóticamente χ^2 con Q grados de libertad. De esta forma, es posible comparar dos modelos cuando uno de ellos es una versión restringida del otro, utilizando el estadígrafo razón de verosimilitud de la ecuación 23:

$$LR = -2\{l(\theta_r^*) - l(\theta^*)\}$$

Ecuación 23

Donde $l(\theta_r^*)$ y $l(\theta^*)$ son las log-verosimilitudes en convergencia de los modelos restringido y no restringido, respectivamente; el estadígrafo distribuye asintóticamente χ^2 con r grados de libertad, en que r es el número de restricciones lineales. LR se debe comparar con el valor crítico de χ^2 con r grados de libertad al nivel de significancia deseado (generalmente el 95%).

Por otro lado, a partir de la matriz de covarianza de la ecuación 24, se pueden obtener los errores estándar de los parámetros estimados; de este modo es posible verificar estadísticamente si el parámetro θ_k es significativamente igual a un valor θ_k definiendo el estadígrafo:

$$t = (\theta_k - \theta_k) / skk$$

Ecuación 24

Que distribuye asintóticamente normal (0,1). Típicamente se evalúa la hipótesis nula considerando $\theta_k = 0$ o $\theta_k = \theta_{kv}$, donde θ_{kv} es el valor “verdadero” o de referencia del parámetro. El estadígrafo de la ecuación 24 se prueba con la distribución normal estándar al nivel de significación deseado (usualmente el 95%, por lo cual el valor crítico es $t = 1.96$).

Para la consideración de correlación entre alternativas, ha sido extendido el uso del modelo Logit Mixto (ML), también conocido como Logit de componentes de error o Logit Kernel [108]; éste permite definir funciones de utilidad altamente flexibles que pueden aproximarse tan cercanamente como se desee a cualquier modelo de utilidad aleatoria e incluso considerar una matriz de covarianza arbitraria. A diferencia del también conocido modelo Probit [109], el ML no está restringido a distribuciones normales, su derivación es directa y puede ser estimado en forma simple utilizando la técnica de máxima verosimilitud simulada [106]. El ML también permite considerar variaciones en los gustos a través de la especificación de parámetros aleatorios; esto es, el vector de parámetros θ_q para cada individuo se puede expresar como la suma de la media poblacional θ_m y desviaciones individuales η_q . Si $f(\theta/g)$ es la función densidad según la cual varían los gustos, donde g representa los parámetros de la distribución, la probabilidad de elección está dada por la ecuación 25 (normalizando el factor de escala $\lambda=1$):

$$P_{jq}(\mathbf{g}) = \int \frac{\exp(\boldsymbol{\theta}_{jq} \mathbf{X}_{jq})}{\sum_{A_i \in A(q)} \exp(\boldsymbol{\theta}_{iq} \mathbf{X}_{iq})} f(\boldsymbol{\theta} | \mathbf{g}) d\boldsymbol{\theta}$$

Ecuación 25

La ecuación 26 es difícil de resolver porque involucra integración múltiple, siendo necesario utilizar simulación calculando las probabilidades logit simple Λ_q para una serie de repeticiones N que en cada iteración n se utiliza un valor fijo de los parámetros $\boldsymbol{\theta}^{n/g}$, extraído de la distribución F; el estimador, consistente e insesgado y dos veces diferenciable, es el promedio de las anteriores. Por lo tanto, la probabilidad simulada se calcula de la siguiente manera:

$$\hat{P}_{jq}(\mathbf{g}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Lambda_q(\boldsymbol{\theta}^{n/g})$$

Ecuación 26

Previo a la estimación de modelos tipo Logit Mixto, debe evaluarse las condiciones de identificabilidad de los parámetros del modelo. Walker señala tres pasos para evaluarla: en primera instancia determinar la condición de orden, según la cual sólo es posible estimar un máximo de $(J(J-1)/2)-1$ parámetros de la matriz de covarianza; en el segundo paso se debe determinar la condición de rango, que establece el número de ecuaciones independientes disponibles en la matriz de covarianza; finalmente, se debe verificar que esa matriz sea positiva definida para asegurar la validez de la normalización propuesta [110]. Cabe resaltar que recientes desarrollos han permitido incorporar hipótesis de comportamiento no compensatorio [111].

Los modelos desagregados o de elección discreta, son una herramienta apropiada para enfrentar el problema de modelar, que además cuenta con una sólida base microeconómica [112]. Una de sus grandes ventajas sobre los modelos agregados tradicionales, es la posibilidad de realizar análisis a nivel individual de elementos importantes para la evaluación de proyectos de transporte que presentan efectos barreras, como el valor subjetivo del tiempo (VST), o la disposición a pagar (DAP) por mejoras en diversas externalidades que afectan al sistema.

En particular, el valor subjetivo del tiempo (VST), corresponde a la tasa marginal de sustitución entre el tiempo percibido T_i (tiempo de viaje, de caminata o de espera, costo del suelo entre otros) y el costo C_i a una utilidad constante (Gaudry, et al. 1989).

Otra medida de evaluación es la variación compensatoria (VC) agregada tras la aplicación de una política de transporte que produce cambios en el vector de utilidades de un individuo. Si los errores ϵ distribuyen IID Gumbel y las utilidades indirectas se han especificado lineales en los parámetros con un coeficiente del costo θ^c genérico (que no varía entre alternativas), la VC está dada por la ecuación 27:

Ecuación 27

$$VC_q = \frac{1}{\theta_c} \left\{ Ln \sum_{A_j \in A(q)} e^{(v_{jq}^1)} - Ln \sum_{A_j \in A(q)} e^{(v_{jq}^0)} \right\}$$

4.1.4 Técnica para el diseño de preferencia declarada.

Esta técnica se desarrolló originalmente para estudios de marketing [113] y desde principio de los años 80 se ha desarrollado de manera creciente en los estudios de transportes [114]. Se denomina técnicas de preferencias declaradas (PD) a un conjunto de metodologías que se basan en juicios (datos) efectuados por individuos acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que les son presentadas, esta técnica, originadas en la psicología matemática [115], tiene en común el uso de diseños experimentales para construir las alternativas hipotéticas; esto las diferencia de las técnicas de preferencias reveladas (PR), que emplean datos sobre situaciones observadas, es decir, situaciones reales. El objeto de estas técnicas es estimar las funciones de utilidad para las alternativas presentes en el experimento. Por su naturaleza, las metodologías de preferencias declaradas requieren del diseño de una encuesta con un propósito específico que depende del tipo de estudio por realizar.

Las alternativas de elección que se le plantean a los encuestados son, típicamente, descripciones de una situación o contexto construido por el investigador, que se diferencia a través del valor que toman sus atributos. Existen diferentes técnicas de preferencias declaradas bajo una amplia gama de nombres, de los cuales los más conocidos son:

- Análisis Conjunto (conjoint analysis)
- Medición Funcional (functional measurement)
- Valoración Contingente (contingent valuation)

Existe cierta confusión acerca de estos métodos, ya que no se ha unificado la forma de referirse a ellos en distintas disciplinas, ni tampoco se ha delimitado el alcance de cada uno [116] [105]. Sin embargo, cualquier método de preferencia declarada debe usar procedimientos de diseño experimental para general las opciones que serán evaluadas por el encuestador [117]

4.1.5 Preferencia declaradas Versus Preferencias Reveladas.

Tradicionalmente, los modelos de demanda de viajes se han basado en datos sobre preferencias reveladas (PR), obtenidos a través de encuestas sobre el comportamiento real de los individuos. De este modo, conocida la elección de cada persona y el conjunto de opciones disponibles no escogidas por esta, es posible determinar sus preferencias de viaje, utilizando técnicas estadísticas apropiadas para el análisis de decisiones de elección discretas. Sin embargo se debe diferenciar las limitaciones de las preferencias reveladas

(PR) referente a sus limitaciones que restringe su uso como herramienta general tal como se muestra en la Tabla 26 comparativo entre PR y PD.

Tabla 26. Limitaciones de las Preferencias Reveladas Vs Preferencias Declaradas

Limitación Preferencias Reveladas (PR)	Alternativas Preferencias Declaradas (PD)
Al observar la realidad, se detectan variaciones insuficientes para la adecuada calibración de modelos que incorporen todas las variables de interés.	El de variación de los atributos (variable explicativas) pueden ser extendido al nivel requerido o deseable; además, es posible incorporar factores, e incluso opciones, que no estén presentes en el año base del estudio
Las variables explicativas más relevantes normalmente están fuertemente correlacionadas (en particular el costo y tiempo de viaje), lo que impide obtener estimadores precisos de la importancia de cada atributo.	Es posible construir escenarios que reduzcan completamente la correlación entre las variables explicativas; además, el conjunto de alternativas disponibles puede ser previamente especificado
Los métodos de preferencias reveladas no pueden utilizarse directamente en la modelación de la demanda de alternativas que no estén disponibles en el año base. Esta es una importante limitación para el empleo de las preferencias reveladas en la evaluación de proyectos que contemplen la introducción de una nueva alternativa de transporte.	Los efectos de variables de especial interés pueden ser aislados totalmente; asimismo, es posible incorporar fácilmente variables secundarias cuya unidad de medición sea cualitativa
Los métodos de preferencias reveladas requieren que las variables explicativas sean expresadas en unidades cuantitativas (objetivas o ingenieriles), lo que dificulta la posibilidad de considerar variables secundarias (tales como seguridad, comodidad de los asientos, estética, entre otros)	Por construcción, no existe error de medición en los datos (variables independientes)
A menudo es difícil determinar con certeza el conjunto de alternativas disponibles para un individuo, debido principalmente a que en la realidad no se dispone de la información completa.	
Suelen existir importantes errores de medición en los datos.	

Fuente: Autor

De igual manera se debe precisar que las preferencias declaradas presentan una gran desventaja frente a las preferencias reveladas ya que pueden existir grandes diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una determinada situación y lo que realmente harán si ésta se presenta. Además, existen ciertas predisposiciones (errores no aleatorios) debidas a experiencias anteriores, percepciones cotidianas de los encuestados, o interacciones entre el encuestador y los encuestados, que pueden distorsionar la información obtenida a través de una encuesta de preferencia declarada [118] [119] .

En la literatura se mencionan cuatro tipos de sesgos [120] (predisposiciones) como responsables de las distorsiones asociadas a las preferencias declaradas así.

- **Sesgo de información:** El individuo encuestado puede, consciente o inconscientemente, verse tentado a expresar las preferencias que él cree que el encuestador desea recibir.
- **Sesgo de racionalización:** El encuestado puede proporcionar respuestas artificiales en un intento de racionalizar su comportamiento habitual. Esto tiene relación con un fenómeno subconsciente denominado disonancia cognitiva.
- **Sesgo de política:** El encuestado puede responder deliberadamente en forma sesgada con el fin de influir en las decisiones o políticas que él cree que se seguirán sobre la base de los resultados de la encuesta (ejemplo puede ser el caso de estudio: cobro de un peaje urbano o tasa por congestión).
- **Sesgo de no restricción:** El encuestado puede responder en forma irreal, si es que no toma en cuenta las restricciones prácticas sobre su comportamiento.

Ahora, el hecho que existan diferencias entre lo que los individuos declaren y su comportamiento real en situaciones similares a las que se describen en los experimentos de preferencias declaradas, debido en gran parte a los sesgos antes descritos, sugiere la existencia de errores en la medición de la variables dependientes (la elección). Por esta razón, no es recomendable utilizar directamente la estructura de modelación tradicional, puesto que ese paradigma fue concebido para los datos de preferencias reveladas que no presentan error en su variable dependiente.

4.1.6 Pasos para el diseño de la PD aplicado al cobro por congestión.

Las etapas para el diseño de una PD, consiste en un conjunto de situaciones hipotéticas pero realistas que están definidas por variables que el modelador supone que influyen fuertemente en la decisión de elección. Para crear este conjunto de situaciones en forma satisfactoria [121], proponen los siguientes pasos a seguir:

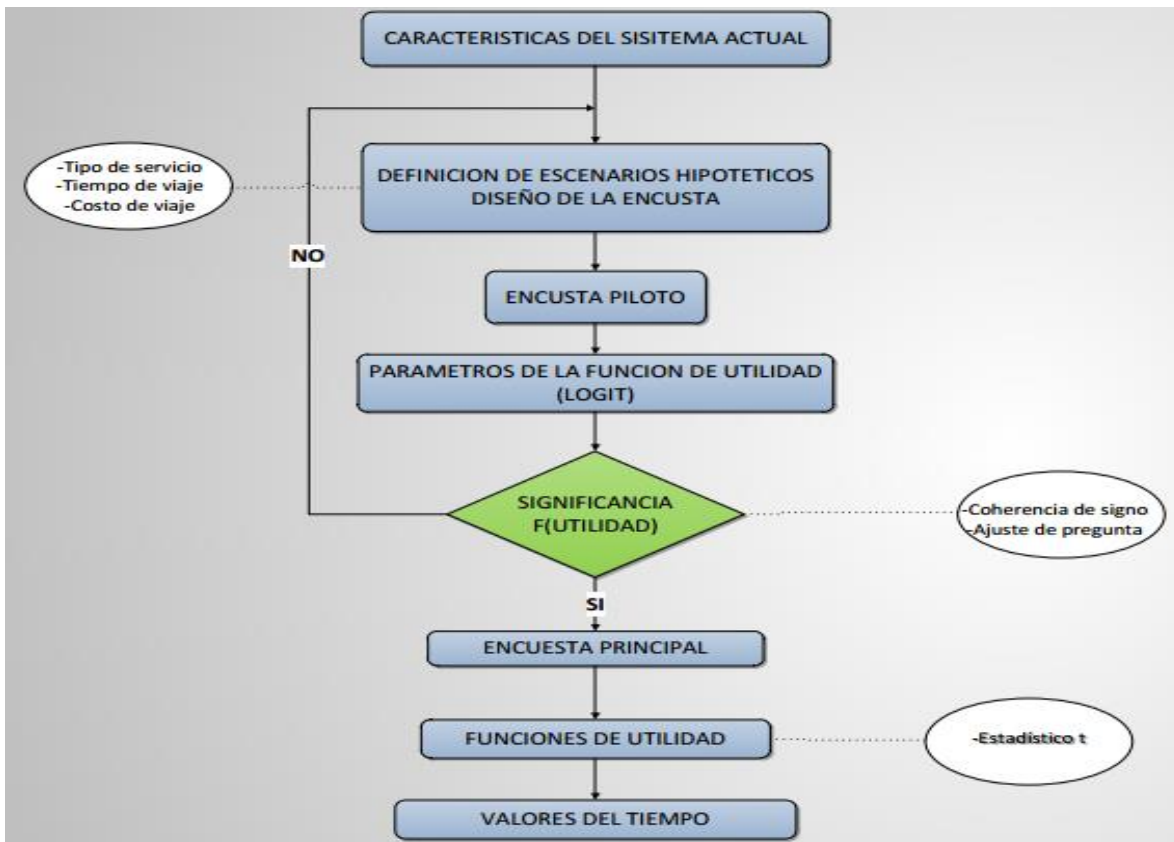
- **Identificar el ámbito de elección**, los factores a considerar y su rango de variación más probable.
- **Preparar una versión inicial de experimento**, diseñando un borrador del cuestionario a utilizar como instrumento de medición.
- **Realizar reuniones del tipo grupo focal**, a fin de mejorar el cuestionario. En estas reuniones, los participantes deben complementar el cuestionario y exponer sus puntos de vista al respecto, con el propósito de detectar posibles ambigüedades o falencias.
- **Evaluar el resultado de la etapa anterior** y rediseñar el instrumento de medición.

- **Realizar un pre-examen a través de una encuesta piloto**, para evaluar los resultados y rediseñar el instrumento, si fuera necesario.
- **Elaborar una simulación**, para verificar si el instrumento de medición recupera los valores de los parámetros de cada atributo.

No obstante, en estudios en los que se necesita una respuesta rápida, se omitirán algunos de los pasos anteriores, o bien se realizan algunos de ellos informalmente. En cualquier caso, el primer punto es la clave de un buen diseño y por lo tanto requiere de un minucioso análisis.

Estos pasos pueden ser apreciados mediante el Diagrama de flujo de actividades que se muestra a continuación ver Figura 25.

Figura 25. Diagrama de Flujo de actividades para el diseño de encuestas de preferencia declarada



Fuente: Autor a partir de la información y documentos, Márquez, 2014

Conceptualmente, todo diseño experimental de preferencias declaradas consiste en una serie de variables independientes que están relacionadas con una variable dependiente (por ejemplo, la elección modal y el costo del peaje urbano).

Las variables independientes pueden expresarse tanto en una escala continua (como, por ejemplo, el tiempo de viaje, el costo), como en una escala discreta (por ejemplo, el tipo de servicio). Cada variable independiente es considerada en un cierto número de niveles o condiciones. En general, si **a**, **b** y **c** son diferentes números de niveles, y hay **x** factores con **a** niveles, y factores con **b** niveles y **z** factores con **c** niveles, se tendrán $a^x b^y c^z$ combinaciones posibles, lo cual se denomina un diseño factorial $a^x b^y c^z$.

4.1.7 Efectos principales e interacción.

Como se vio en el párrafo anterior, el número de atributos considerados y sus niveles determinan el denominado diseño factorial, para el cual existen tablas que entregan el número de situaciones hipotéticas (opciones) requeridas para los casos más usuales (gran cantidad de diseños con distinto número de atributos y niveles), garantizando la independencia entre las distintas opciones [121].

Existen diseños que consideran solamente los efectos principales y diseños que permiten tratar interacciones, es decir, cuando el efecto de dos o más variables no es aditivo sino que existen efectos conjuntos. Ahora bien, el número de combinaciones posibles en un experimento crece en forma exponencial con el número de factores o atributos involucrados.

Por lo tanto, el utilizar diseños factoriales completos (que permite el tratamiento de todas las interacciones posibles) requiere la construcción de una gran cantidad de opciones; por esta razón, los diseños factoriales fraccionales (que consideran despreciables los productos de algunos o todos los atributos) son utilizados mayoritariamente.

4.1.8 Estrategias para reducir el número de situaciones de elección.

Para minimizar el número de escenarios manteniendo cierta independencia entre los factores se han propuestos cursos de acción [122] como los siguientes:

- Eliminar las opciones que puedan dominar o ser dominadas por el resto de alternativas disponibles. Esto es, eliminar aquellas opciones cuyos atributos sean siempre mejores (o peores) que los atributos de las restantes, sin posibilidad de establecer algún comparativo capaz de enfrentar al individuo a una decisión de elección. Sin embargo, es conveniente mantener al menos una de las opciones con estas características, a fin de validar la confiabilidad de la respuesta dada por un encuestado, ya que éste debiera actuar en forma lógica.

Por otra parte, si la encuesta es aplicada con la ayuda de un computador, con un programa adecuado se puede aplicar el principio de transitividad para reducir el número de opciones a presentar en la pantalla.

- Separar las opciones en bloques, tal que el conjunto de ellas sea completado por grupos de encuestados, de cada uno respondiendo en subconjunto distinto (llamado bloque), que en suma forman el conjunto total. Así, se mantiene el diseño experimental completo pero se dividen las tareas en distintos grupos de encuestados. El éxito de esta estrategia radica en el supuesto de que las preferencias obtenidas a través de las distintas muestras de individuos serán suficientemente homogéneas, tal que las respuestas puedan ser combinadas entre los subconjuntos de opciones. No obstante, con las diferencias entre los individuos incrementarán el error asociado con los resultados.
- Llevar a cabo una serie de experimentos con cada individuo, ofreciendo diferentes atributos, pero manteniendo al menos un atributo común en todos, para permitir comparaciones relativas de preferencia sobre todos los atributos que están siendo investigados.
- Utilizar diseños factoriales fraccionados. Esta es la solución más común, puesto que permite la incorporación de una cantidad apreciable de atributos y niveles, sin necesidad de dividir el conjunto de opciones entre los individuos ni requerir más de un diseño experimental. Esta estrategia se basa en el supuesto de que algunas interacciones entre atributos tienen una influencia despreciable en la respuesta (variable dependiente). Sin embargo, pueden existir interacciones significativas.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL DE ENCUESTAS DE PREFERENCIAS DECLARADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL COBRO POR CONGESTIÓN.

En el último medio siglo, la tarificación vial ha sido vista como una oportunidad para aprovechar los principios de la oferta y la demanda, situación está que ayuda a gestionar el tráfico mediante la implementación de un cobro por congestión. Es así, que la tarificación por congestión proporciona una herramienta adicional al Áreas Metropolitanas de Bucaramanga para ayudar a gestionar la capacidad vial, reduciendo con esto la congestión y manteniendo las condiciones de tráfico de flujo libre en la vía urbana, de igual manera la amplia aplicación de la tarifa de congestión ayuda a la inversión en otros modos públicos y reducir los impactos ambientales y demás externalidades que producen los vehículos.

En el Área Metropolitana de Bucaramanga, el parque automotor ha adquirido desde el 2012 elevadas tasas, situación está que la investigación ha focalizado mediante la implementación de un peaje urbano, utilizando el uso de técnicas de preferencias declaradas las cuales ofrece la posibilidad de estudiar situaciones hipotéticas sin que éstas hayan sido implementadas, convirtiéndose en una de sus principales ventajas.

El cobro por congestión a través de un peaje urbano, ha generado importantes mejoras en la movilidad en algunas ciudades europeas y asiáticas, y su aplicación en Latinoamérica ya ha dado sus primeros avances como política de movilidad.

Con la aplicación de una encuesta de Preferencia Declarada (PD) se pretenderá experimentar un conjunto de situaciones hipotéticas enmarcadas en la realidad y casos internacionales referente a la implementación del cobro por congestión en zonas urbanas, la situación que se estudiara será mostrar al individuo un escenario donde se ubica un peaje urbano en una vía congestionada con velocidades no mayores a los 20 km/h, con el objeto de cobrar una tasa a los autos particulares, los cobros dinámicos en el peaje serán controlados por un identificador de radio frecuencia (TAG) que contiene un chip que guarda toda la información del usuario y el cual es ubicado en un sitio estratégico en el auto para ser leído por un radar ubicado en el pórtico free flow (flujo libre), con este sistema se evitara que los vehículos se detengan para realizar sus pagos.

4.2.1 Asignación de Alternativas, Variables y Niveles para la PD

Para la encuesta PD el entrevistador deberá elegir si tomaría la vía hipotéticamente con peaje urbano, en la cual se variarían las características del viaje respecto al modo, Las variables explicativas se realizaron con base en la lectura de casos y referencias de bibliografía donde la medida ya fue implementada. Siguiendo el diseño del experimento planteado por Kocur, metodológicamente fueron identificadas Cuatro (4) variables o atributos: ver tabla 27, según las Alternativas Consideradas, BUS-METRO, TAXI, AUTO PARTICULAR.

Tabla 27. Niveles de las variables Experimentales

ALTERNATIVA BUS-METRO		
Variable	Nivel	Descripcion
Tiempo de Viaje en Minuto	0	25
	1	30
	2	35
Tiempo de Espera en Minuto	0	5
	1	10
	2	15
Costo Modo en COP	0	1850
	1	1900

ALTERNATIVA TAXI		
Variable	Nivel	Descripcion
Tiempo de Viaje en Minuto	0	15
	1	20
	2	25
Tiempo de Espera en Minuto	0	4
	1	6
	2	8
Costo Modo en COP	0	4800
	1	6800

ALTERNATIVA AUTO PARTICULAR		
Variable	Nivel	Descripcion
Tiempo de Viaje en Minuto	0	15
	1	20
	2	25
Tiempo de Espera en Minuto	0	3000
	1	3500
	2	4000
Costo Modo en COP	0	3500
	1	4500

Fuente: Autor

En las cuales se tiene, Tiempo de Viaje [Tv], Costo de usar el modo [Cm], Tiempo de espera [Te] y la Tasa por Congestión [Tc], Los niveles de variación de estos atributos fueron dos o tres dependiendo de la variable, sistemáticamente se le asignaron tres niveles [0, 1 y 2] a las variables [Tv], [Te] y [Cm] para el vehículo particular y dos niveles [0 y 1] a la [Tc] y [Cm] para los transportes públicos taxi y bus. Con base en el número de variables y sus niveles se seleccionó el Plan Maestro 3 de las tablas de Kocur 35a ver Tabla 28, utilizando las columnas 1, 2 y 8. De acuerdo a este diseño el experimento tendrá una encuesta de un total de nueve 9 casos.

Tabla 28. Tabla de Kocur utilizando el Plan Maestro según las Variables y Niveles

Tabla de Kocur	
Codigo Plan Experimental No.	35a
Total de variables (Tv, Cm, Te)	3
No. De variables con 2 niveles	1
No. De variables con 3 niveles	2
No. de preguntas PD	9
Master Plan	3
Numero de columnas a usar	1,2,8
<pre> MASTER PLAN 3: 9 trials . 1234 5678 ----- 0000 0000 0112 0110 0221 0001 1011 1011 1120 1110 1202 1000 2022 0000 2101 0101 2210 0010 </pre>	

Fuente: Autor

Variables explicativas principales a utilizar según la Tabla 27.

Tiempo de Viaje [Tv]: Es el que tarda una persona o vehículo en realizar el Viaje, desde su origen a su destino.

Tiempo de Espera [Te]: Está dado por la frecuencia de algunas rutas evaluadas en el tramo de estudio.

Costo de usar el modo [Cm]: En transporte público Masivo (Metrolinea) es la tarifa integrada; en transporte público individual (taxi) es lo que cueste el recorrido; en auto es el costo de usarlo, ya que éste consume combustible, desgasta las llantas, etc.

Tasa por Congestión [Tc]: Es la tarifa que un usuario de vehículo particular tiene como opción pagar si éste desea utilizar una vía congestionada.

Rangos de variación de las variables explicativas:

El [Tv] de la alternativa BUS-METRO varía entre 25 y 35 min, este tiempo se determinó con base en las cifras arrojadas por la estudio realizado por la Universidad Industrial de Santander UIS para el diseño de ruta del BTR Metrolinea [22], donde se calculó que el tiempo de viaje promedio en el Área Metropolitana de Bucaramanga es de 30 min. Para el caso del TAXI y el Auto Particular, se consideraron los mismos tiempos con una variación entre 15 min y 25 min, puesto que se supone que el taxi, como medio de transporte público individual, requiere del mismo tiempo que un vehículo particular para ir de un origen a un destino. El [Cm] para la opción BUS-METRO, varía \$50 entre niveles, desde \$1850 hasta \$1900. Para la opción TAXI se tuvo en cuenta la tarifa mínima, el banderazo y el costo por metros recorridos, así, para el diseño de la encuesta se calcularon los costos para distancias recorridas de 3 km hasta 6 km (\$4800 y \$6800 respectivamente), siendo distancias promedio razonables para un viaje dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga. En el caso del AUTO PARTICULAR, se consideraron los costos asociados al uso del vehículos, los cuales van desde \$3500 a \$4500.

El [TE] para el BUS-METRO se definió con base en las frecuencias de algunas rutas de buses (6 y 8 minutos), para la opción TAXI se calculó a partir de algunos cálculos en campo “esperando taxi” y a mediciones del tiempo de respuesta de un taxi pedido por teléfono (4 y 6 minutos). Para el caso de las alternativas con AUTO PARTICULAR no se tuvo en cuenta esta variable puesto que la disponibilidad del modo es inmediata.

Por último se consideró la variable [Tc], está únicamente asociada a la alternativa AUTO PARTICULAR que involucra el pago de una Tasa por congestión, sus dos niveles se definieron en \$3500 y \$4500 como costos según casos internacionales y bibliografía nacional [8] [11] [123]. La Tabla 29 presenta el diseño del experimento de elección para la encuesta de preferencia declarada.

Tabla 29. Diseño para la encuesta de Preferencia Declarada

Tratamiento	ALTERNATIVAS								
	BUS-METRO			TAXI			AUTO PARTICULAR		
	Tiempo de Viaje en Minuto	Tiempo de Espera en Minuto	Costo Modo en COP	Tiempo de Viaje en Minuto	Tiempo de Espera en Minuto	Costo Modo en COP	Tiempo de Viaje en Minuto	Tiempo de Espera en Minuto	Costo Modo en COP
1	25	5	1850	15	4	4800	15	3000	3500
2	25	10	1850	15	6	4800	15	3500	3500
3	25	15	1900	15	8	6800	15	4000	4500
4	30	5	1900	20	4	6800	20	3000	4500
5	30	10	1850	20	6	4800	20	3500	3500
6	30	15	1850	20	8	4800	20	4000	3500
7	35	5	1850	25	4	4800	25	3000	3500
8	35	10	1900	25	6	6800	25	3500	4500
9	35	15	1850	25	8	4800	25	4000	3500

Fuente: Autor

4.2.2 Etapas del diseño de la encuesta de preferencia declarada (PD)

A. Definición del ámbito de elección. Dado el interés en estimar la distribución de modos con la implementación de la tasa por congestión, se generaron escenarios hipotéticos de elección. En el formulario de la encuesta, el individuo debe escoger la alternativa de su conveniencia en atención a los atributos allí indicados, siendo una encuesta de tipo “elección”.

B. Aplicación de encuesta piloto. Este diseño preliminar fue probado mediante la realización de una prueba piloto realizada a los individuos que utilizan la vía Bucaramanga (Puerta del Sol) – Floridablanca (Cañaveral). La prueba piloto se diseñó como un juego de elección entre auto particular, transporte público y Taxi; la alternativa auto se sustituyó por taxi o Bus para aquellos individuos sin acceso al vehículo particular, garantizando así que el conjunto de elección fuese mutuamente excluyente, exhaustivo y finito [106]. El experimento trató todos los atributos modales con dos o tres niveles para las variables, obteniendo un total de 108 tratamientos, de los cuales fueron elegidos 9 con base en los criterios de diseño de Koçur et al. (1982) y cumpliendo las exigencias de ortogonalidad, balance de niveles, traslape mínimo y balance de utilidades⁹ [124]. Para confirmar la eficiencia del diseño experimental propuesto se estimó preliminarmente un modelo MNL que permitió comprobar la consistencia de signos de los parámetros e incluso la significancia de algunos estimadores, a pesar de los pocos datos acopiados.

C. Aplicación de la encuesta. El tamaño muestral para aplicar las encuestas definitivas se calculó para cada parámetro tomando un 95% de nivel de confianza, así como los valores preliminares estimados con el modelo MNL y su error estándar asintótico [105] [117], evaluando la ecuación 28.

⁹ Se puede decir que el diseño es ortogonal cuando cada atributo varía independientemente de los demás, el balance de niveles se satisface cuando el nivel de cada atributo aparece en igual proporción a los demás, mientras que el principio de traslape mínimo se cumple cuando cada escenario tiene niveles no traslapados de cada atributo. Con respecto al último principio, el balance de utilidades se consigue cuando la utilidad de las alternativas de cada conjunto es la misma.

Ecuación 28.
$$N = \frac{t_k^2 \cdot se_1^2 \cdot (\theta_k)}{\theta_k^2}$$

Donde:

N = Tamaño de la muestra.

t_k = t-estadístico, obtenido de la regresión en la prueba piloto.

se_1 = error estándar, obtenido de la regresión en la prueba piloto.

θ_k = Valor del Coeficiente de la variable más restringida, obtenido de la regresión en la prueba piloto.

En este caso la variable más restringido correspondió al tiempo de espera, encontrando que el tamaño muestral debería ser de 570 observaciones, es decir unos 63 individuos como mínimo ya que cada encuestado contribuye en la muestra total con una cantidad de 9 observaciones, igual al número de opciones hipotéticas contestadas; teóricamente este sería el tamaño muestral mínimo a considerar [117] tal como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30. Calculo del tamaño de la muestra (N) teniendo en cuenta los parámetros de regresión

Tamaño Muestral (N)			
$N = \frac{t_k^2 se_1^2 (\beta_k)}{\beta_k^2}$			
Se evalua el parametro mas restringido, el cual Corresponde a Tiempo de espera: ΘTe			
Coeficiente	Valor	Detalle	
t_k^2	45,1584	T-test	
se_1^2	2,6	Std-err	
(β_k)	0,206	Value	
β_k^2	0,04244	Value	
$N =$	570	Tratamiento o preguntas	9
		Cantidad de encuestas	63

Fuente: Autor

Ahora siendo así, se decidió encuestar a 73 individuos en 3 sitios distintos referidos a universidades y centros comerciales presentes en el tramo observado, utilizando una técnica de muestreo sistemático presentando al individuo el diseño final de la encuesta tal como se muestra en Figura 26.

Figura 26. Tarjeta Tipo de los escenarios alternativos presentados al individuo

Alternativa 1				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	15 Min	10 Min	8 Min
	Tiempo de Espera	5 Min	4 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$3.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

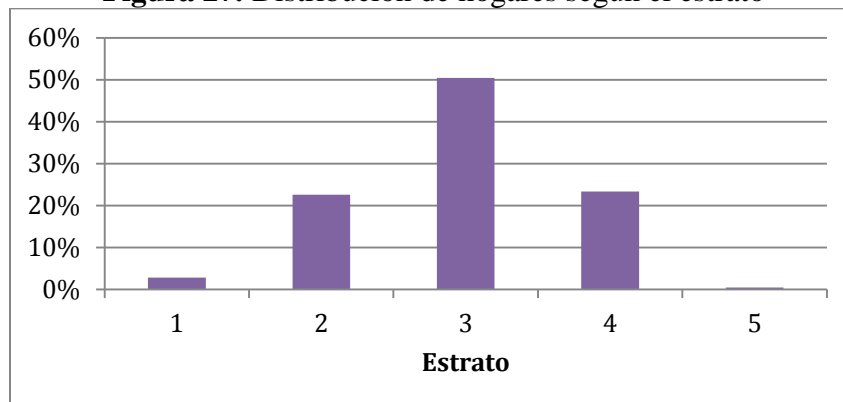
Fuente: Autor

Caracterización de los usuarios para la aplicación de la encuesta: Este análisis se centra en las características socio-económicas de los usuarios que se desplazan por el tramo de vía observado y los hogares a los que pertenecen. En ello se analiza el sexo, la edad y el estrato, el número de miembros en la familia y la tenencia de vehículo particular. Asimismo, se determinan tasas de viajes diarios por persona y por hogar [125].

Características de los hogares

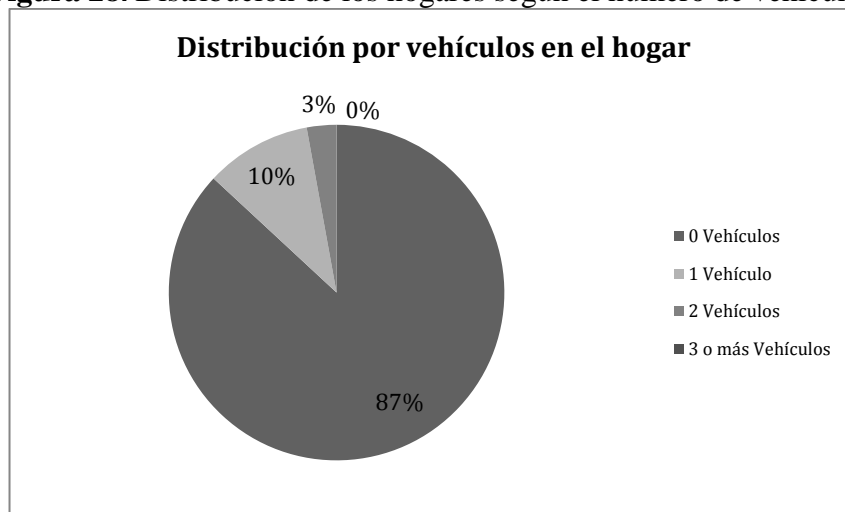
La cantidad estimada de hogares en el Área Metropolitana de Bucaramanga es de 24.648, de los cuáles 73,81% corresponden a estratos medios, una cuarta parte a estratos bajos, y menos de 1% a estratos altos ver figura 27 y figura 28. Adicionalmente, la mayoría de los hogares que emplean el sistema corresponden a familias numerosas conformadas por más de tres personas y en casi su totalidad (87%) carecen de un vehículo particular propio para desplazarse tal como un carro o una moto ver figura 30.

Figura 27. Distribución de hogares según el estrato



Fuente: Metrolinea, 2011

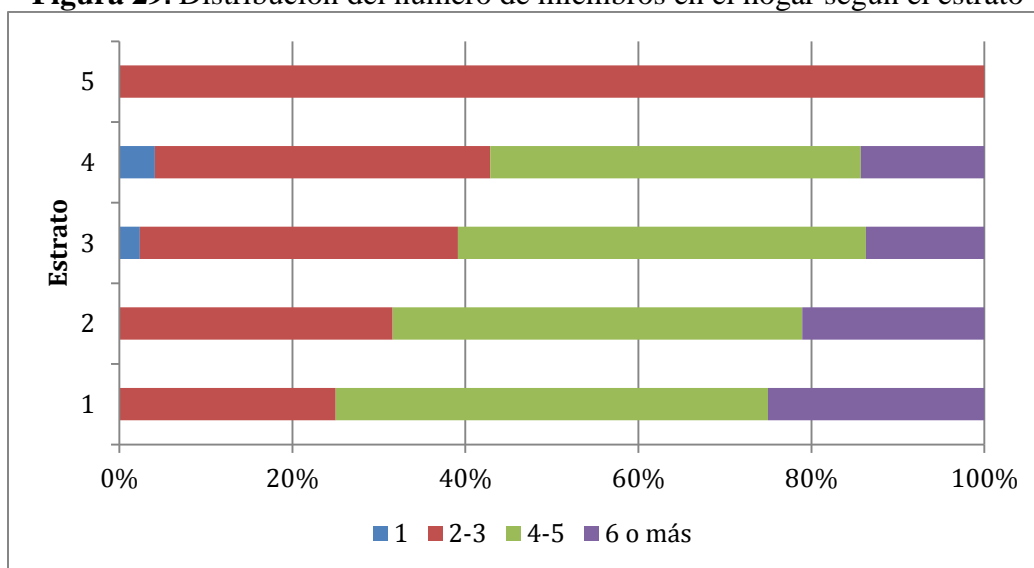
Figura 28. Distribución de los hogares según el número de vehículos



Fuente: Metrolinea, 2011

En relación al número de habitantes por hogar, se encuentra que en promedio cada familia está compuesta por 4,03 miembros, siendo mucho menor el promedio en los estratos altos (3,0) que en los estratos bajos (4,75 y 4,33 en los estratos uno y dos, respectivamente), una tendencia que se conserva en todos los hogares del área metropolitana de Bucaramanga, indistintamente de si emplean o no el transporte masivo ver figura 29.

Figura 29. Distribución del número de miembros en el hogar según el estrato



Fuente: Metrolinea, 2011

Por otro lado, cada hogar cuenta en promedio con 0,16 vehículos particulares, alcanzando valores extremos de 0,48 vehículos por hogar en el estrato cinco y de 0,10 en el estrato dos; en general, el promedio de vehículos por hogar en las familias usuarias del sistema es entre tres y cuatro veces menor en comparación con el promedio del total de hogares encuestados para el área metropolitana de Bucaramanga ver Tabla 31.

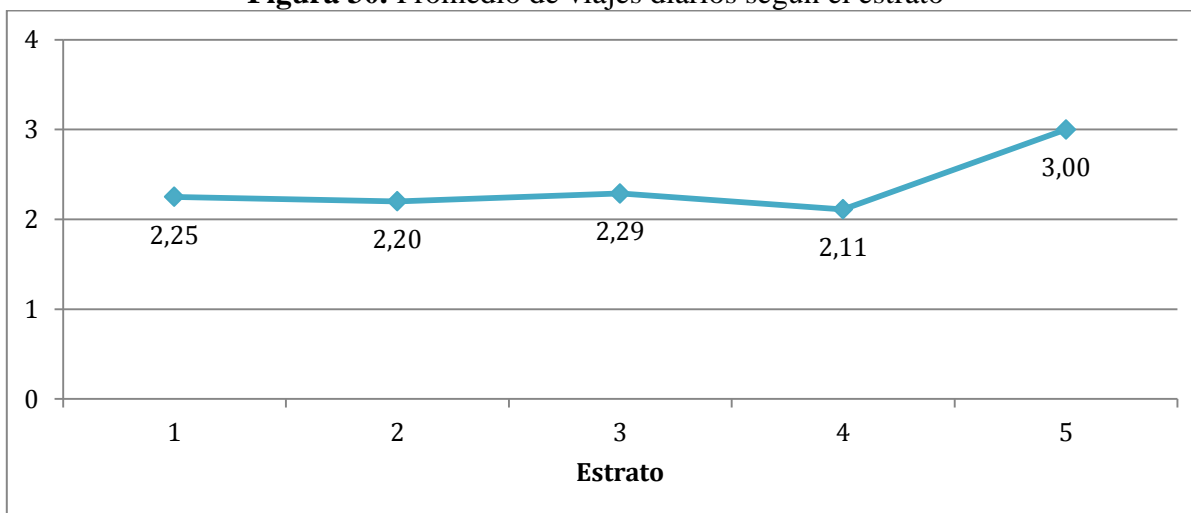
Tabla 31. Promedio de miembros y vehículos en el hogar según el estrato

ESTRATO	PORCENTAJE DE VEH POR ESTRATO	NUMERO DE ENCUSTAS POR CADA 73
1	3,57%	3
2	9,78%	7
3	16,13%	12
4	22,75%	17
5	47,77%	35
TOTAL	100,00%	73

Fuente: Autor, partir de la Información de Metrolinea, 2011

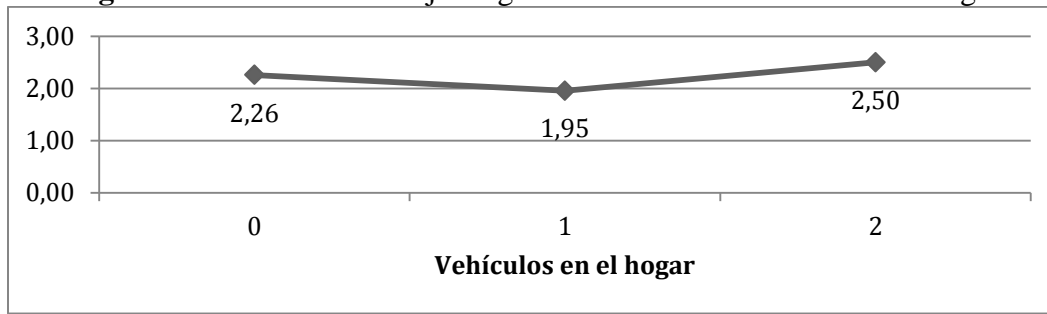
Sobre la distribución de los hogares en función del número de viajes realizados diariamente por cada hogar se aprecia que en 77,38% de las familias se realizan entre uno y dos viajes, y tan solo en 22,62% de ellas se realizan más de tres viajes al día, de los cuales la gran mayoría son motorizados especialmente en transporte público, tal y como se puede apreciar en la Figura 30, el promedio de viajes diarios en los hogares de estratos bajos y medios se mantiene próximo a 2,2 viajes por día, mientras que en los estratos altos, donde el mayor poder adquisitivo permite realizar más desplazamientos, el promedio se eleva a 3 viajes diarios por hogar. Por otro lado, se observa cierta correlación entre el número de miembros en el hogar y el promedio de viajes diarios realizados en la familia, situación que parece no presentarse entre el número de vehículos en el hogar y el promedio de viajes diarios realizados en el sistema ver figura 31.

Figura 30. Promedio de viajes diarios según el estrato



Fuente: Metrolinea, 2011

Figura 31. Promedio de viajes según el número de vehículos en el hogar



Fuente: Metrolinea, 2011

D. Estimación de modelos. A partir de los datos de la encuesta se procedió a estimar los modelos de elección involucrando las diferentes alternativas. En cada uno de ellos se realizó la correspondiente evaluación a la luz de criterios estadísticos y de consistencia microeconómica. Teniendo en cuenta la Ortogonalidad del diseño de la encuesta, Tabla 32.

Tabla 32. Codificación en forma Binaria – Ortogonalidad del diseño

Tratamiento	BUS-METRO			TAXI			AUTO PARTICULAR		
	Tiempo de Viaje	Tiempo de Espera	Costo Modo	Tiempo de Viaje	Tiempo de Espera	Costo Modo	Tiempo de Viaje	Costo Modo	Tasa por Congestión
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3	0	2	1	0	2	1	0	2	1
4	1	0	1	1	0	1	1	0	1
5	1	1	0	1	1	0	1	1	0
6	1	2	0	1	2	0	1	2	0
7	2	0	0	2	0	0	2	0	0
8	2	1	1	2	1	1	2	1	1
9	2	2	0	2	2	0	2	2	0

Fuente: Autor

4.3 FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO.

4.3.1 Especificación del Modelo

Con la finalidad de estimar un modelo lineal que incluya la elección entre las tres alternativas de utilizar una vía se tiene:

INDIVIDUOS TIPO 1

Son individuos que ante la medida del cobro por congestión cambian de modo. Formulación del modelo considerando dos opciones (1_BUS-METRO y 2_TAXI) como se muestra en la ecuación 29.

$$\text{Ecuación 29. } V_i = ASC_i + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_i + \theta_{Te} \cdot Tespera_i + \theta_{Cm} \cdot C modo_i + \varepsilon_i \quad (i=1,2)$$

INDIVIDUOS TIPO 2

En los cuales el individuo ante la implementación de la tasa por congestión no desea cambiar de modo de transporte, es probable que aun teniendo flexibilidad horaria cuente con los recursos necesarios para pagar la tasa por congestión (3=AUTO PARTICULAR) en la cual la especificación de la función de utilidad seria la mostrada en la ecuación 30:

$$\text{Ecuación 30. } V_j = ASC_j + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_j + \theta_{Cm} \cdot C\text{ modo}_j + \theta_{Tc} \cdot Tcong_j + \varepsilon_j \quad (j=3)$$

Estos modelos simples especificas coeficientes genéricos y efectos principales entre las variables independientes o atributos, que son los siguientes:

ASC, Θ : Constantes y coeficientes

T_vviaje: tiempo de viaje de los modos en Minuto

T_eespera: Tiempo de espera de los modos en Minuto

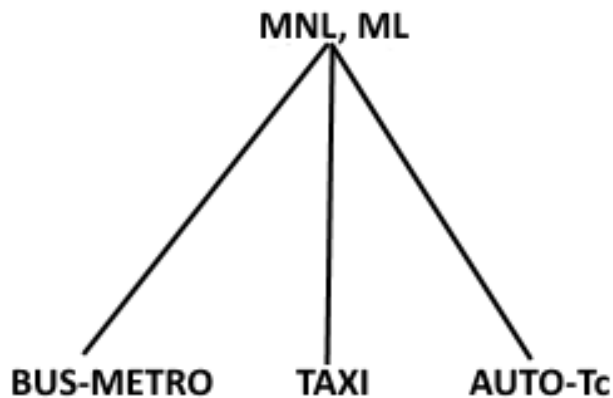
C_mmodo: costo de utilizar el modo seleccionado en COP

T_ccong: Tasa de congestión generada por el peaje urbano en COP

4.3.2 Tipo de modelo de acuerdo al proceso de elección

El planteamiento del modelo está ligado al proceso de elección acorde al nivel de decisiones, de esta manera, en los modelos tipo Logit Multinomial y Mixto (MNL y ML respectivamente) se toman las decisiones a un mismo nivel. Ver Figura 32 de la representación gráfica de elección.

Figura 32. Representación Gráfica nivel de Elección



Fuente: Autor

Una vez especificado el modelo se prosiguió con la modelación a través del software Biogeme versión 2.2. El primer paso fue modelar, con las dos bases de datos (con y sin lexicográficos) con el objetivo de analizar los resultados y validar la hipótesis sobre la

conveniencia de usar bases de datos depuradas. Para lo cual es ideal aplicar una base de datos depurada.

Siendo así, la estimación de los parámetros se realizó configurando distintas especificaciones sumando o restando variables al modelo, tanto para el MNL como para el modelo ML. La Tabla 33 presenta los resultados obtenidos.

4.1.1 Estimación del Modelo

Se plantearon varios modelos de elección discreta para elegir el mejor ajuste y significancia de sus coeficientes, de esto se prefirió la elección de un modelo Logit mixto en lugar de un modelo MNL, ya que la evidencia existente de los modelos MNL indica que con este se pueden obtener estimaciones sesgadas de los parámetros de las funciones de utilidad, induciendo, además, cálculos erróneos de varias tasas marginales de sustitución [126]. Las variables utilizadas se resumen en la Tabla 33. Las alternativas de transporte utilizadas se identificaron así: 1: Bus, 2: Taxi y 3: Auto Particular; la especificación de las funciones de utilidad fue estrictamente lineal para cada una de las alternativas de transporte, y fueron usadas en algunos modelos variables tal como se muestra en las ecuaciones 31 a la 36:

Estimación del Primer Modelo MNL₁

Ecuación 31.

$$\begin{aligned} V_{BUS} &= ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{BUS} + \varepsilon_{BUS} \\ V_{TAXI} &= ASC_{TAXI} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{TAXI} + \varepsilon_{TAXI} \\ V_{AUTO} &= ASC_{AUTO} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO} \end{aligned}$$

Estimación del Primer Modelo MNL₂

Ecuación 32.

$$\begin{aligned} V_{BUS} &= ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{BUS} + \varepsilon_{BUS} \\ V_{TAXI} &= ASC_{TAXI} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{TAXI} + \varepsilon_{TAXI} \\ V_{AUTO} &= ASC_{AUTO} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO} \end{aligned}$$

Estimación del Primer Modelo MNL₃

Ecuación 33.

$$\begin{aligned} V_{BUS} &= ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{BUS} + \varepsilon_{BUS} \\ V_{TAXI} &= ASC_{TAXI} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{TAXI} + \varepsilon_{TAXI} \\ V_{AUTO} &= ASC_{AUTO} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C \text{ modo}_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo_{AUTO} + \theta_{Estrato} \cdot Estrato_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO} \end{aligned}$$

Estimación del Primer Modelo MNL₄

Ecuación 34.

$$\begin{aligned}V_{BUS} &= ASC_{BUS} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{BUS} + \theta_{Confor} \cdot Confor_{BUS} + \varepsilon_{BUS} \\V_{TAXI} &= ASC_{TAXI} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{TAXI} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo + \varepsilon_{TAXI} \\V_{AUTO} &= ASC_{AUTO} + \theta_{Tv} \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Cpy} \cdot Cambiopicoyplaca_{AUTO} + \theta_{Estrato} \cdot Estrato_{AUTO} + \theta_{Accidente} \cdot Accidente_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}\end{aligned}$$

Estimación del Primer Modelo MXL₅

Ecuación 35.

$$\begin{aligned}V_{BUS} &= ASC_{BUS} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{BUS}) \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{BUS} + \varepsilon_{BUS} \\V_{TAXI} &= ASC_{TAXI} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{TAXI}) \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{TAXI} + \varepsilon_{TAXI} \\V_{AUTO} &= ASC_{AUTO} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{AUTO}) \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}\end{aligned}$$

Estimación del Primer Modelo MXL₆

Ecuación 36.

$$\begin{aligned}V_{BUS} &= ASC_{BUS} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{BUS}) \cdot Tviaje_{BUS} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{BUS} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{BUS} + \theta_{Confor} \cdot Confor_{BUS} + \varepsilon_{BUS} \\V_{TAXI} &= ASC_{TAXI} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{TAXI}) \cdot Tviaje_{TAXI} + \theta_{Te} \cdot Tespera_{TAXI} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{TAXI} + \theta_{Sexo} \cdot Sexo + \varepsilon_{TAXI} \\V_{AUTO} &= ASC_{AUTO} + (\theta_{Tv} \cdot \sigma_{AUTO}) \cdot Tviaje_{AUTO} + \theta_{Cm} \cdot C\ modo_{AUTO} + \theta_{Tc} \cdot Tcong_{AUTO} + \theta_{Cpy} \cdot Cambiopicoyplaca_{AUTO} + \theta_{Estrato} \cdot Estrato_{AUTO} + \theta_{Accidente} \cdot Accidente_{AUTO} + \varepsilon_{AUTO}\end{aligned}$$

Tabla 33. Coeficientes estimados para los modelos analizados.

Coeficientes Estimados para los Modelos Analizados							
Descripción	Notación Parámetro	Modelo Logit binario				Modelo de coeficientes aleatorios	
		MNL ₁	MNL ₂	MNL ₃	MNL ₄	MXL ₅	MXL ₆
Constante específica tasa por congestión - Bus/metro	ASC ₁	-0,00844	-0,00902	-0,0136	-0,00723	-0,0187	-0,0154
		-1,97	-198,00	-2,02	-1,99	-1,98	-1,95
Constante específica tasa por congestión - Taxi	ASC ₂	0,637	0,578	0,118	0,834	0,099	0,306
		2,01	1,99	0,15	1,12	2,07	0,38
Constante específica tasa por congestión - Auto	ASC ₃	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
*Media de la variable aleatoria Costo Modo	θ _{Cm}	-0,00066	-0,00066	-0,00066	-0,000669	-0,000809	-0,0008
		-5,95	-5,95	-5,95	-5,99	-6,54	-6,49
*Media de la variable aleatoria Tasa por Conges	θ _{Tc}	-0,000415	-0,000416	-0,000415	-0,000411	-0,000707	-0,000682
		-2,08	-2,08	-2,08	-2,63	-3,09	-2,96
*Media de la variable aleatoria Tiempo espera	θ _{Te}	-0,158	-0,158	-0,158	-0,161	-0,206	-0,204
		-6,09	-6,09	-6,09	-6,13	-6,72	-6,68
*Media de la variable aleatoria Tiempo de Viaje	θ _{Tv}	-0,0844	-0,09	-0,136	-0,0723	-0,187	-0,154
		-1,97	-0,57	-0,06	-1,96	-1,99	-1,93
*Medida de la variable latente Sexo	θ _{Sex}	-	0,11	0,1	0,467	-	0,306
		-	0,61	0,58	2,63	-	1,5
*Medida de la variable latente Estrato	θ _{estr}	-	-	-0,134	-0,414	-	-0,38
		-	-	-1,42	-2,36	-	1,89
*Medida de la variable latente Accidente	θ _{acc}	-	-	-	-0,593	-	-0,424
		-	-	-	-3,18	-	-2
*Medida de la variable latente Confort	θ _{Conf}	-	-	-	-0,309	-	-0,418
		-	-	-	-1,78	-	-1,12
*Medida de la variable latente Cambio Pico y Pl	θ _{Cpyp}	-	-	-	-0,524	-	-0,383
		-	-	-	-2,12	-	-1,39
*Media de la variable aleatoria Tiempo de Viaje	σ _{Tv}	-	-	-	-	-1,41	-0,129
		-	-	-	-	-7,08	-6,74
Rho cuadrado	ρ ²	0,047	0,047	0,048	0,07	0,104	0,115
Log-verosimilitud inicial	L(0)	-721,788	-721,788	-721,788	-721,788	-721,788	-721,788
Log-verosimilitud en convergencia	L(θ)	-688,031	-687,845	-686,84	-671,113	-646,385	-638,53
Razón de log-verosimilitud	LR	150,806	67,886	69,897	101,35	150,806	166,516
Chicuadrado	χ ²	12,59	14,07	15,51	19,675	14,07	21,026
Observaciones	n	657	657	657	657	657	657

* si θ_k es significativamente distinto de cero. Así, si t > 1,96 para un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula θ_k=0 y se acepta que el atributo X_k tiene un efecto significativo.

CAPITULO 5

5.0 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS MODELOS.

Analizando los modelos obtenidos de las encuestas de preferencia declaradas (PD), se trabajó con un total de 657 observaciones. La tabla anterior Número 33, resumió los resultados de estimación de los modelos, obtenidos mediante la técnica de maximización de la verosimilitud, junto a cada parámetro estimado donde se muestra el estadístico t en la parte baja de cada coeficiente de las variables y al final se presenta los test de bondad de ajuste que permitieron elegir el mejor modelo.

De los modelos analizados el que presentó mejor ajuste fue el modelo de coeficientes aleatorios MXL_5 , el cual arrojó los siguientes resultados:

- ✓ Los parámetros de todas las variables explicativas que representan incidentes tienen el signo correcto (negativo), y una adecuada significancia estadística (todos significativos al 95% de confianza) ver tabla 34.

Tabla 34. Significancia estadística y signos esperados.

Significancia de Coeficientes, t-test >1,96 para un 95% de confianza			Signos Esperados			
Notacion Parametro	t-test	Chequeo	Notacion Parametro	Signo Modelo	Signo Esperado	Chequeo
ASC1	1,98	ok	Θ_{Cm}	Negativo	Negativo	ok
ASC2	2,07	ok	Θ_{Tc}	Negativo	Negativo	ok
Θ_{Cm}	6,54	ok	Θ_{Te}	Negativo	Negativo	ok
Θ_{Tc}	3,09	ok	Θ_{Tv}	Negativo	Negativo	ok
Θ_{Te}	6,72	ok				
σ_1	7,08	ok				
Θ_{Tv}	1,99	ok				

Fuente: Autor

- ✓ Los parámetros asociados a las elecciones de los modos los ordenamos de mayor a menor (en valor absoluto). Se observa que el parámetro que genera un mayor impacto sobre la elección del modo es la “Media de la variable aleatoria Tiempo espera Θ_{Te} ”, cuyo parámetro tiene un valor estimado de -0.206. Este resultado se interpreta como una reducción promedio en la elección del modo dada su disponibilidad.
- ✓ El análisis de los resultados consolidados en la tabla 33, referente al modelo de coeficientes aleatorios MXL_5 , presentó una de las máxima Razón de log-verosimilitud al ser comparado con los demás modelos estimados. Siendo así, el modelo predictivo para plantear criterios para viabilizar el cobro por congestión de algunas vías saturadas de vehículos en Bucaramanga, en la cual se determinaría la elección de los modos por parte de los individuos por la tasa por congestión estará dada por la ecuación 7:

Ecuación 37

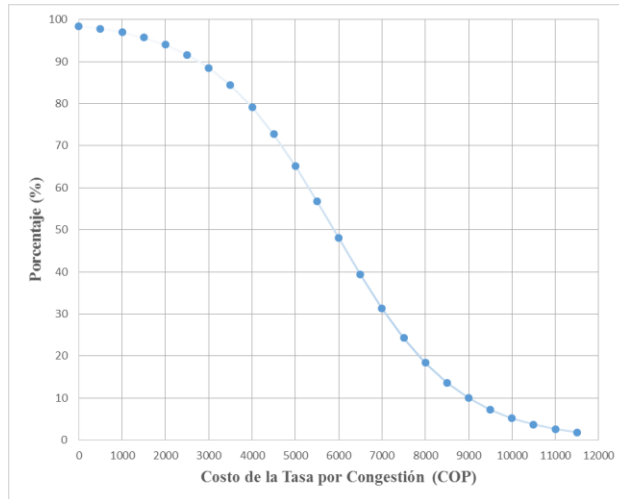
$$V_{BUS} = -0,0187 + 0,2636 \cdot Tviaje_{BUS} - 0,206 \cdot Tespera_{BUS} - 0,000809 \cdot C modo_{BUS}$$

$$V_{TAXI} = 0,099 + 0,2636 \cdot Tviaje_{TAXI} - 0,206 \cdot Tespera_{TAXI} - 0,000809 \cdot C modo_{TAXI}$$

$$V_{AUTO} = 0,2636 \cdot Tviaje_{AUTO} - 0,000809 \cdot C modo_{AUTO} - 0,000707 \cdot Tcong_{AUTO}$$

- ✓ La tasa marginal de sustitución entre el tiempo de viaje y el costo, es decir el valor subjetivo del tiempo de viaje “ $VST = \frac{\theta_{Tiempo}}{\theta_{Costo}}$ ”, resultó ser consistente con los resultados obtenidos en estudios anteriores. En el caso del modelo MXL₅, el valor del tiempo para los individuos que decidan pagar la tasa por congestión (T_c), para lo cual se utilizara la relación $\frac{\theta_{T_v}}{\theta_{T_c}}$ utilizar los modos se ubicó en 372 COP/min. En dicho casos la valoración fueron cercanas a las que habían sido reportadas en estudios previos [127].
- ✓ Ahora bien teniendo en cuenta la probabilidad de uso del vehículo particular con la implementación del cobro de la tasa por congestión en condiciones donde el tiempo de viaje es equivalente a 25min y el costo del modo auto particular es equivalente a \$3000 COP, se tendrá una reacción de los individuos que utilizan el uso del vehículo por el corredor Bucaramanga – Floridablanca (N-S) y Floridablanca – Bucaramanga (S-N) , en la cual para desestimular el uso del auto particular se deberá cobrar entre los rangos de \$6500 a \$9500 COP correspondientes a un 39.35% y 7,22% respectivamente logrando que en las horas punta se presente un tránsito de vehículos particular aproximadamente de 4698 a 3011 vehículos correspondientemente. Ver Figura 33; referente a este comportamiento podemos decir que las políticas del gobierno que fijan el cobro de la tasa de congestión en por lo menos 5 veces el costo del transporte público (\$9500 COP) [128], es una política que no se ajusta a la percepción de los usuarios y la disponibilidad de pagar.

Figura 33. Probabilidad de uso del vehículo particular con la implementación de la tasa por congestión

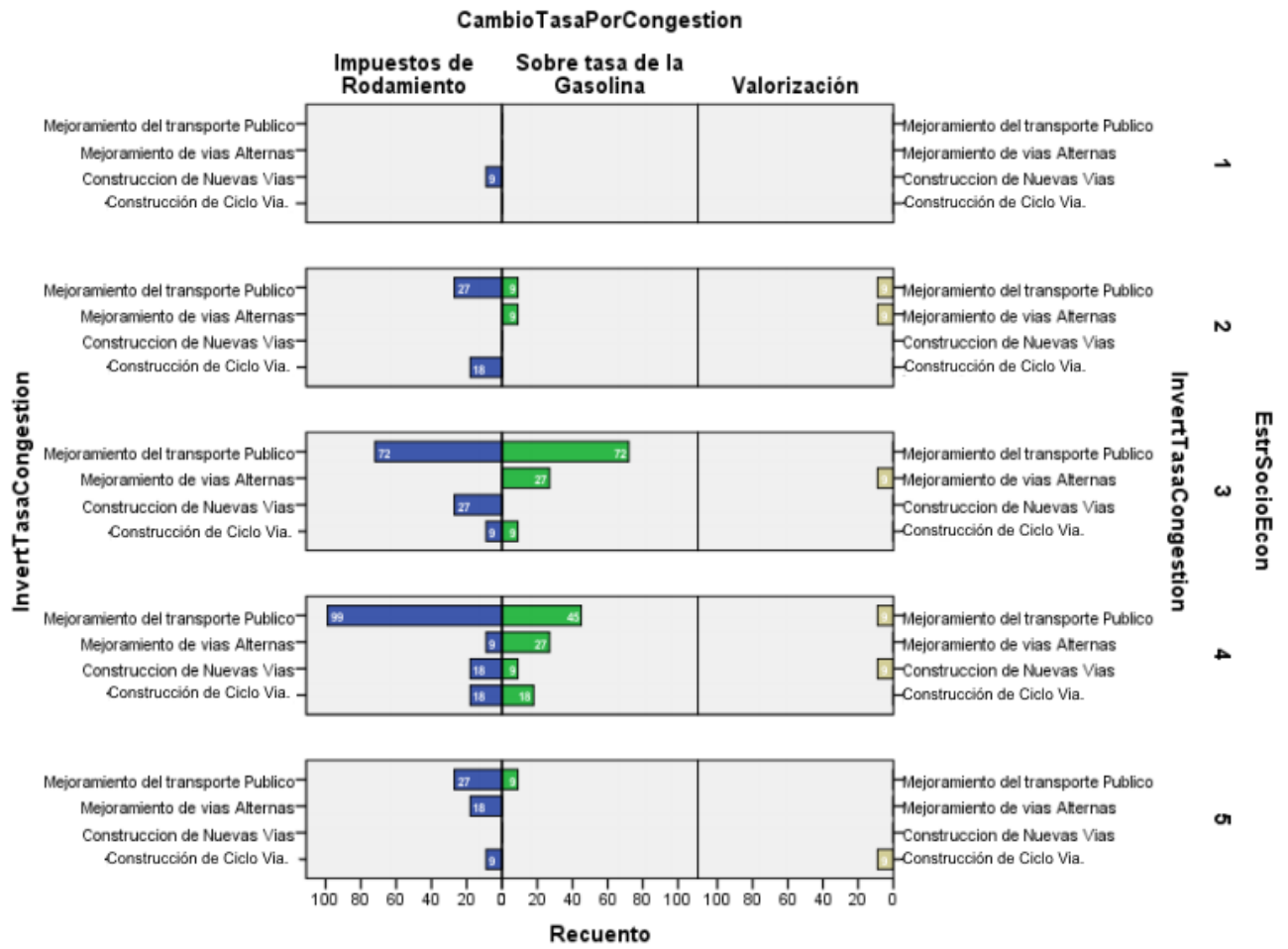


Fuente: Autor

- ✓ Analizando los atributos Socio-Demográficos y conociendo las características de elección del individuo referente a la información solicitada tales como: Estrato socio económico, sector donde se realizaría la inversión de la tasa por congestión, cambio de impuestos aplicados actualmente al transporte por implementar el cobro de la tasa por congestión ver Figura 34, se puede observar que la mayoría de los individuos del estrato 3 y 4 optan por remplazar el impuesto de rodamiento por el cobro de la tasa por congestión y los recursos provenientes de la implementación del cobro por congestión se invirtieran en el mejoramiento del transporte público existente en el área metropolitana de Bucaramanga tal como es el BTR y los buses convencionales.

De la figura 34, también podemos afirmar que los individuos de los diferentes estratos lo que menos prefieren es el cambio de la valorización por la implementación del cobro de la tasa por congestión en zonas saturadas de vehículos.

Figura 34. Comparación de elecciones teniendo en cuenta las alternativas presentadas para cada estrato



CAPITULO 6

6.0 ESTIMACIÓN DEL COSTO GENERALIZADO.

El costo generalizado, es aquel que está en función de la suma de varios costos (costos de operación vehicular, valor monetario del tiempo y peaje) que intervienen en la decisión que un individuo hace sobre la elección de un medio de transporte para ir de un sitio a otro, su magnitud depende básicamente del tipo de vehículo y del valor monetario del tiempo empleado en dicho viaje, ver, Ecuación 10. $g = p + v \cdot \tau + \theta$ del capítulo 3.5.2.4.

Inicialmente para el cálculo de la estimación del costo generalizado se debe cuantificar el valor del tiempo, el cual se estudia dentro de la teoría microeconómica con modelos de elección discreta, en los cuales se relaciona su magnitud con el salario del individuo que enfrenta el problema de elección del modo de transporte. En esta investigación se realizaron encuestas de preferencias declaradas para cuantificar el valor sujeto del tiempo (VST), para calcular el tiempo de viaje, se utilizan variables macroscópicas de la teoría del flujo vehicular (densidad, velocidad y flujo). Dentro de un proceso de asignación de tráfico existente una variable de formulaciones que son empleadas para estipular el tiempo de viaje en función del flujo de vehículos llamada funciones flujo-demoras o de congestión tal como la función del Bureau Public Roads (BPR, 1964), que en este caso sería la que se aplicaría según la ecuación 38.

$$\text{Ecuación 38. } t_a^0(q_a^0) = t_a' \cdot \left[1 + k \left(\frac{q_a^0}{c_a'} \right)^\lambda \right]$$

Donde:

t_a^0 y q_a^0 corresponde al tiempo de viaje y flujo en el arco a,

t_a' es el tiempo de viaje a flujo libre

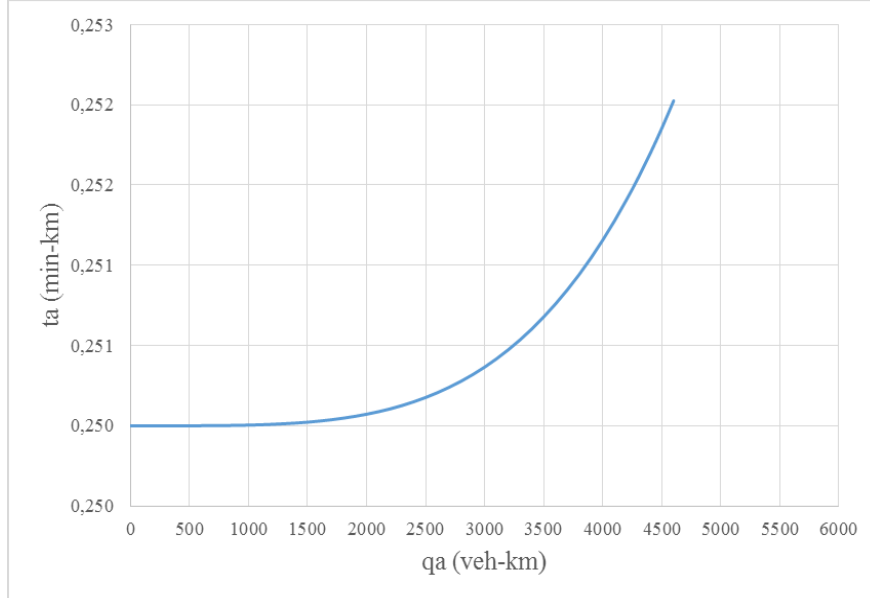
c_a' es la capacidad practica del arco a, la cual se determina empleando el manual de capacidad Highway Capacity Manual 2010

k y λ son parámetros del modelo que deben calibrarse, por general se adoptan los valores de $k = 0,15$ y $\lambda = 4$ (sheffi,1985)

Con la aplicación de la ecuación 36 al arco comprendido entre Floridablanca y Bucaramanga se obtienen la ecuación 39 y Figura 35:

$$\text{Ecuación 39. } t = 0,0000000002 \cdot q^2 - 0,0000003 \cdot q + 0,2501$$

Figura 35. Función Flujo-Demora para el arco Floridablanca - Bucaramanga



Fuente: Autor

6.1 ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTO MEDIO USUARIO $CMe(q)$

Para los usuarios del vehículo particular, la función del costo medio $CMe(q)$ se estima en función del uso de las vías q (veh-km), se expresa en pesos por cada vehículo*kilometro y tiene los siguientes dos componentes:

- ✓ Una constante que considera los costos de operación y los costos de estacionamiento del vehículo privado.
- ✓ Una parte variable que es el producto del tiempo de viaje por el valor del tiempo.

Para el estudio del arco correspondiente a la zona en estudio se tiene que la parte constante de la función del costo medio está dada por la siguiente tabla 35:

Tabla 35. Valor por kilómetro para la constante del costo medio $CMe(q)$

Fuente de Consulta	Detalle	Valor asignado
Cantillo Maza, V. (2011) ¹⁰	Costo de Operación Veh \$/km	315,79
Encuesta de Movilidad Bogotá D.C,2011 ¹¹	Costo de estacionamiento \$/km	133
Valor total constante \$/km $CMe(q)$		448,79

Fuente: Autor

¹⁰ Modelo para el cálculo de la tarifa en equipos de transporte. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, (5), 33-41

¹¹ Alcaldía de Bogotá D.C

Por otro lado, la parte variable del modelo considerara un valor del tiempo por vehículo de 325 \$/min a partir del modelo obtenido en la encuesta de preferencia declaradas (PD) realizada para estimar la influencia de cobro de la tasa por congestión a los usuarios de la vía, de igual manera se tienen que el valor del tiempo de utilizar un taxi compartido es de 222\$/min¹², con estos valores promediamos el valor medio del tiempo el cual es equivalente a 273,5\$/min, considerando todo lo anterior se obtuvo la función del costo medio del usuario CMe de la zona, ver ecuación 40.

$$CMe = \left(448,79 \frac{\$}{km} \right) + \left(0,0000002 \cdot q^2 - 0,0000003 \cdot q + 0,2501 \right) \frac{\text{min}}{km} \cdot 273 \frac{\$}{\text{min}}$$

$$\text{Ecuación 40. } CMe = 0,0000546 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q^2 - 0,0000819 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q + 517,06 \frac{\$}{km}$$

6.2 ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTO MARGINAL SOCIAL CMa(q)

La curva de costo marginal social CMa(q), refleja tanto los costos que enfrenta un usuario de la vía como el costo que este impone a los demás usuarios por transitar en la vía. La función del costo marginal social CMa se deduce de la curva de costo medio de usuario CMe(q) y es igual a la suma de la función CMe y su derivada multiplicada por el uso de la vía q, aplicando la ecuación 11 del capítulo 3.5.2.4, la cual se define en términos matemáticos y de la cual se obtuvo la ecuación 41:

$$CMa = CMe + q \cdot \frac{\partial CMe}{\partial q}$$

Donde,

CMa: costo marginal social

CMe: costo medio del usuario

q: es la cantidad demandada.

$$\text{Ecuación 41. } CMa = 0,0004638 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q^2 - 0,0001638 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q + 517,06 \frac{\$}{km}$$

6.3 ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE DEMANDA

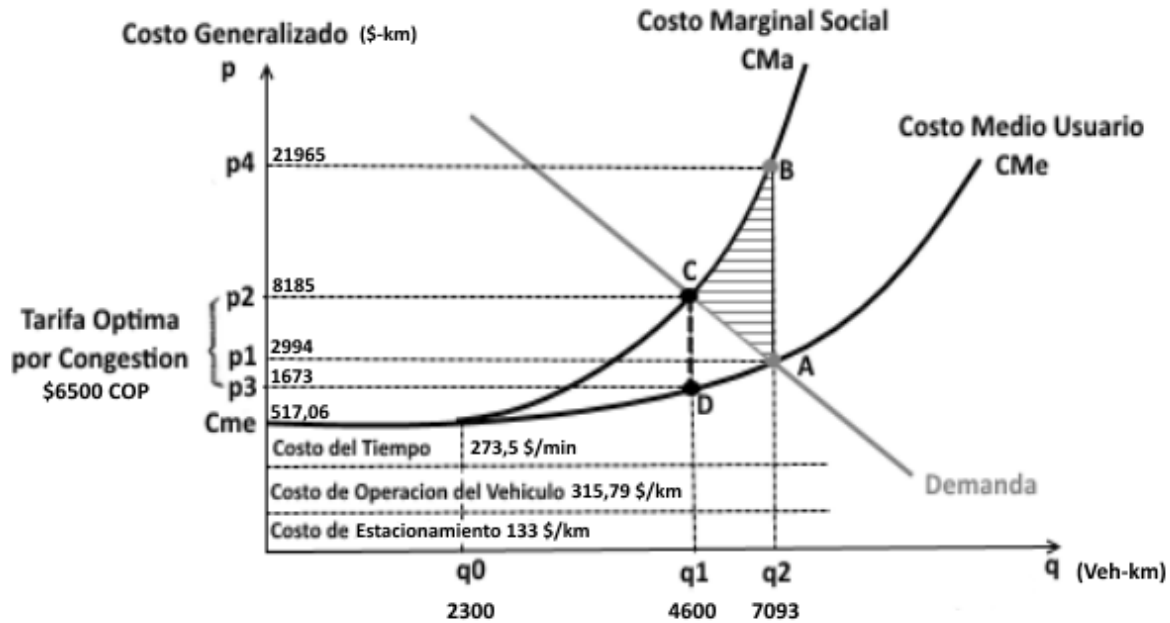
La estimación de la función de la demanda para el análisis de caso en el modelo de elección modal según la encuesta de presencia declarada (PD) desarrollada en el capítulo 4.0, de la cual se obtuvo la función lineal expresada por la ecuación 42,

$$\text{Ecuación 42. } P = -2,6516 \cdot q + 21290.$$

¹² Ponencia Análisis experimental de los factores que influyen en un individuo para viajar en taxi compartido, XVII congreso chileno de ingeniería de transporte, Concepción - Chile, 2015.

Una vez definida cada componente de costo generalizado se obtiene la figura 36:

Figura 36. Tarifación basada en costos marginales de congestión bajo el criterio de first-best.



$$CMe = 0,0000546 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q^2 - 0,0000819 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q + 517,06 \frac{\$}{km}$$

$$CMA = 0,0004638 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q^2 - 0,0001638 \cdot \frac{\$}{km} \cdot q + 517,06 \frac{\$}{km}$$

$$P = -2,6516 \cdot q + 21290$$

Fuente: Autor

6.4 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL COSTO GENERALIZADO

Analizando los resultados tenemos que la cantidad de vehículos $q_2=7.093$ veh-km ignoran las externalidades que impone a los demás. Si consideramos solo el costo marginal debido a la congestión y omitimos las demás externalidades negativas (polución, ruido, accidentes, daños a infraestructura) se tiene que desde un punto de vista social, la demanda actual $q_2=7.093$ veh-km es excesiva porque los usuarios disfrutan del beneficio $q_2A=\$2.994COP$, pero imponen los cotos de $q_2B=\$21.965COP$.¹³

¹³ 1 USD equivale a 3300 COP a fecha enero 17 de 2016.

Ahora bien el viaje adicionalmente más allá de un valor óptimo q_1 , genera un resultado que en economía del transporte se llama el costo social de congestión o pérdida social de eficiencia la cual está dada por el área $ABC = \$ 23.647.352$ veh-km.

Luego la tarifa óptima que debe aplicarse para conseguir el flujo óptimo q_1 y también **internalizar los costos de congestión** está dado por el segmento $CD = \$6512$ COP aproximadamente $\$6500$ COP. Esta tasa de congestión o tasa Pigouviana [65], que pagarían los usuarios equipara el beneficio social marginal y el costo social marginal CMA , en el nivel eficiente de tráfico q_1 . **Al lograr este equilibrio se produce la maximización del bienestar social** (enfoque first-best)

Comparando los escenarios en donde se tiene inicialmente uno sin cobro de la tasa por congestión y otro implementando el cobro por congestión, podemos analizar los beneficios a nivel socio-económico que se generaría con dicha implementación y las mejoras que este traería a nivel de gestión de la demanda ver Tabla 36.

Tabla 36. Comparación de escenarios sin y con cobro de la tasa por congestión partiendo de los modelos estimados mediante la encuesta de preferencia declarada (PD) y los costos generalizados

ESCENARIO SIN COBRO DE LA TASA POR CONGESTIÓN		
Descripción	Viajes B/ga - F/blanca	Viajes F/blanca - B/ga
*Cantidad de Viaje AMB	44905	44905
*Porcentaje de Viajes	7,63	17,55
Viajes Totales veh-mix	3426	7881
***Horario de Máxima Demanda Vehicular	6:30 a 7:30 - 12:00 a 13:00 - 17:30 a 19:30	
Capacidad viaducto García C. veh-mix	4600	4600
Estado	Próximo a Congestión	Congestión
ESCENARIO CON COBRO DE TASA POR CONGESTIÓN		
**Viajes Totales Vehículos liviano (90%)	3084	7093
Auto Particular sin Tasa por Congestión sentido B-F (55%)	1696	
Auto Particular sin Tasa por Congestión sentido F-B (74%)		5249
Aplicación de Tasa por Congestión	\$ 6.500,00	\$ 6.500,00
Probabilidad, Uso del Auto Particular (%)	39,35	39,35
Viajes realizados con Tasa por congestión	667	2065
Capacidad viaducto García C. veh-mix	2398	4698
Estado	Sin Congestión	Sin Congestión
Recaudo mensual estimado (COP)	\$ 130.147.657,88	\$ 402.770.793,02
Recaudo mensual dos sentidos (COP)	\$ 532.918.450,90	
Recaudo anual dos sentidos (COP)	\$ 6.395.021.410,78	

*METROLINEA,2011;**INVIAS,2011;***ALCALDIA DE BUCARAMANGA,2012

Fuente: Autor

CAPITULO 7

7.0 PROPUESTA DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE ESQUEMA TARIFARIO.

Una vez analizados los diferentes modelos implementados para internalizar los costos por congestión en el sector del viaducto García Cadena, se presenta el objetivo fundamental el cual consiste en plantear criterios para viabilizar estrategias tarifarias para obtener un sistema de gestión de tráfico y optimizar la tarifa de modo que los usuarios se vean incentivados a utilizar mucho más el transporte público o reducir el uso del vehículo particular sobre todo en las áreas de máxima congestión.

Para el esquema de los criterios se plantean cuatro factores esenciales para la estrategia tarifaria en pro de la gestión de la movilidad en el área metropolitana de Bucaramanga más exactamente en el sector del viaducto García Cadena, las cuales son:

7.1.1 Fundamentos Jurídicos.

Partiendo que la tarifa no se aplica como mecanismo estrictamente financiero, como en la actualidad, sino que el usuario paga un peaje que responde al pago de los costos sociales por externalidades y a prestaciones diferenciales respecto a alternativas razonables. A razón de esto se debe contar con una legislación clara y precisa para plantear las bases y fortalecer las existentes para que una ciudad en Colombia pueda implementar un esquema de tasa por uso de áreas de alta congestión, para esto contamos inicialmente con:

- Ley 105 de 1993: artículo 28; se pueden establecer tasa o impuestos para desincentivar el ingreso de vehículos al centro de las ciudades.
- Ley 1450 de 2011, artículo 90, Plan Nacional de Desarrollo, se autoriza a los municipios y distritos con más de 300.000 habitantes como una medida de administración de la demanda a establecer tasas por uso de áreas de alta congestión o alta contaminación o de infraestructura construida para evitar la congestión urbana.
De manera que el uso se utiliza para financiar proyectos y programas de infraestructura vial alterna, transporte público y programas de mitigación de contaminación ambiental vehicular.
- Decreto 2883 de 2013, reglamenta la ley 1450 de 2011.

Estos fundamentos jurídicos deben ser complementados con la reglamentación y creación del Sistema Nacional de Identificación Electrónica Vehicular (SinieV), una plataforma tecnológica conocida popularmente como ‘tercera placa’, que permitirá, en principio, el pago electrónico de peajes y los cobros por congestión en las ciudades, con lo que desaparecería el efectivo en las transacciones viales. Para ello, todos los vehículos deberán estar provistos de un dispositivo (TAG) que permita su plena identificación, a través de

lectura con cámaras o sensores, mediante tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia).

7.1.2 Evitar impactos en la economía y en el uso del suelo.

Para disminuir el impacto económico y uso del suelo con la implementación del esquema tarifario se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Localizar la frontera tarifaria entre diferentes usos de suelo, para el Área Metropolitana de Bucaramanga resulta apropiado por su topografía y ubicación en forma de abanico ubicar los sitios en frontera geográficas como ríos, canales, montañas, anillos viales que se puedan establecer como límites del esquema tarifario, en nuestro caso sería el viaducto García Cadena el cual lo limita su topografía y presenta áreas de alta congestión.
- Minimizar la interrupción de los viajes básicos que se hacen entre las áreas residenciales (viajes a la escuela, hospitales, servicios públicos), para lo cual se deben tarifar los viajes de negocios en un mayor porcentaje e implementar una tarifación especial para los viajes de residentes afectados por la tarifación y los servicios especiales.
- Evitar el traslado de los problemas ambientales y de congestión a otras áreas, para lo cual se propone cobrar la tasa por congestión solo en las horas punta (6:30 a 7:30 - 12:00 a 13:00 - 17:30 a 19:30), para controlar que el tráfico se disperse en periodos sin tarifación es conveniente complementarlo con una tarifación tipo mixta cordones múltiples o combinación entre cordones y tarifa kilométrica, esto se debe implementar con una tarifa optima calculada en esta investigación en \$6.500COP.
- Asegurar la existencia de suficientes rutas alternas para los usuarios, con la finalidad de evitar que los vehículos de paso entren al área congestionada, implementar carriles HOT “High Occupancy Toll”, FAIR “Fast and intertwined Regular” o carriles VAO “Vehículos de alta Ocupación” ejemplo: implementación del auto y taxi compartido (Carsharing y/o carpooling), circulación de motociclistas, logrando disminuir el parque automotor¹⁴
- El diseño debe cubrir solamente la zona que posea un buen servicio de transporte público para la implementación del cobro por congestión en áreas de saturación de vehículos y los recursos percibidos deben redistribuirse en una mejora permanente y en medidas innovadoras que conduzcan al fortalecimiento del transporte público y el transporte no motorizado. Esto debe ser complementado en las zonas más aisladas mediante la integración tarifaria de sistema de transporte público, no es necesario que el servicio de transporte intermunicipal entre a la zona de congestión [129] e

¹⁴ Ponencia Análisis experimental de los factores que influyen en un individuo para viajar en taxi compartido, XVII congreso chileno de ingeniería de transporte, Concepción - Chile, 2015.

implementación de aparcamientos tipo Park & Ride el cual permitirá el intercambio a otros modos de transportes.

- Crear una señalización adecuada para orientar a los conductores en los puntos de entrada al sistema, señales inteligentes que indiquen al usuario los horarios de cobro y no cobro.

7.1.3 Aceptación pública.

Una vez que los cargos se deciden, la resistencia puede disminuir debido al efecto psicológico conocido como disonancia cognitiva (Festinger, 1957), un fenómeno que puede ser simplemente resumido como "aceptar lo inevitable". Para lograr menos impactos en la aceptación pública se debe contemplar lo siguiente.

- El diseño debe evitar el problema de inequidades locales, para lo cual se debe distribuir los costos y beneficios entre los grupos de personal a los cuales se les aplica el esquema tarifario.
- Brindar la libertad de viajar, antes de introducir una tasa por congestión se debe tener claridad del establecimiento de rutas alternas y modificación del reparto modal para lo cual en nuestro caso, de generarse un cobro por congestión en el viaducto García Cadena sería Auto particular 39,35%, Taxi 2,47% y Bus o BRT 58,17%.
- Estructura tarifaria simple y fácil de entender, un esquema con estructura tarifaria simple será más atractiva políticamente.
- La tarifa debe ser aceptada por el público, teniendo en cuenta la tarifa óptima respecto a los costos generalizados y su elasticidad se podrá adoptar una tarifa más baja para satisfacer la opinión del público y abarcar las vías con mayor número de viajes o vehículos el rango estaría dado entre \$6.500 COP (óptima) - \$9500 COP (maximiza los ingresos).
- El diseño debe evitar el problema de inequidades comerciales, el sistema tarifario no debe separar la zona de negocios.
- El esquema tarifario debe estar localizado totalmente dentro de la autoridad competente, esto con la finalidad de poder implementar políticas claras, de igual manera existe la posibilidad de trabajar mancomunadamente integrando el Área Metropolitana de Bucaramanga para la implementación de un cobro de congestión por área o cordón.
- Medidas complementarias, someter la instauración del esquema tarifario a un referéndum antes y después de la prueba piloto para disminuir el rechazo del público, estructuración en los impuestos del transporte por carretera, para nuestro caso los individuos estuvieron de acuerdo con la implementación de la tasa por

congestión siempre y cuando esta remplazara el impuesto de rodamiento, mejorar y aumentar el servicio de transporte público, implementar infraestructura para el transporte no motorizado, promoción de los carriles exclusivos para el transporte masivo BRT, regular y normalizar la utilización del auto particular y taxi compartido, excepciones del pago de la tasa por congestión de vehículos de la policía, bomberos, emergencias, discapacitados, transporte de servicio público, taxis, vehículos eléctricos.

8.0 CONCLUSIÓN.

Con esta investigación se identificó la tarifa que refleja lo más fielmente posible el costo social marginal y los costos generalizados de cada viaje en términos de los impactos en los demás. Para lo cual la cantidad de vehículos que pasan actualmente por el viaducto García Cadena 7.093 veh-km ignoran las externalidades que impone a los demás. Si consideramos el costo marginal debido a la congestión para lo cual se tiene que la demanda actual es excesiva los usuarios disfrutaron del beneficio a un costo de \$2.994COP, pero imponen a los demás unos costos de \$21.965COP.

Luego la tarifa óptima que debe aplicarse para conseguir el flujo óptimo y también **internalizar los costos de congestión** según la capacidad del viaducto García Cadena está dado a imponer al usuario una tasa por congestión de \$6512 COP aproximadamente \$6500 COP. Esta tasa Pigouviana, equipara el beneficio social marginal y el costo social marginal CMA, en el nivel eficiente de tráfico de 4698 veh-km aproximadamente. **Al lograr este equilibrio se produce la maximización del bienestar social** (enfoque first-best).

Con la implementación de los criterios de cobro por congestión en el García Cadena se estarían generando en primera instancia el bienestar social y la internalización de los costos y un ingreso anual estimado en \$6'395.021.410,78 COP (1'937.239,47 USD), el cual deberá ser redistribuido en una mejora permanente y en medidas innovadoras que conduzcan al fortalecimiento del transporte público y el transporte no motorizado. Esto debe ser complementado en las zonas más aisladas mediante la integración tarifaria de sistema de transporte público, es decir, no es necesario que el servicio de transporte intermunicipal entre a la zona de congestión, de igual manera debe implementar aparcamientos tipo Park & Ride el cual permitirá el intercambio a otros modos de transportes.

Ahora bien, el análisis de los modelos de coeficientes aleatorios MXL₅, presentó la máxima Razón de log-verosimilitud al ser comparado con los demás modelos estimados. Siendo así, el modelo predictivo para plantear criterios para viabilizar el cobro por congestión de algunas vías saturadas de vehículos en Bucaramanga, en la cual se determinaría la elección de los modos por parte de los individuos al implementar la tasa por congestión:

$$V_{BUS} = -0,0187 + 0,2636 \cdot T_{viaje}_{BUS} - 0,206 \cdot T_{espera}_{BUS} - 0,000809 \cdot C_{modo}_{BUS}$$

$$V_{TAXI} = 0,099 + 0,2636 \cdot T_{viaje}_{TAXI} - 0,206 \cdot T_{espera}_{TAXI} - 0,000809 \cdot C_{modo}_{TAXI}$$

$$V_{AUTO} = 0,2636 \cdot T_{viaje}_{AUTO} - 0,000809 \cdot C_{modo}_{AUTO} - 0,000707 \cdot T_{cong}_{AUTO}$$

La tasa marginal de sustitución entre el tiempo de viaje y el costo, es decir el valor subjetivo del tiempo de viaje “ $VST = \frac{\theta_{Tiempo}}{\theta_{Costo}}$ ”, resultó ser consistente con los resultados

obtenidos en estudios anteriores. En el caso del modelo MXL₅, el valor del tiempo para los individuos que decidan pagar la tasa por congestión (Tc), para lo cual se utilizara la

relación $\frac{\theta_{Tv}}{\theta_{Tc}}$ utilizar los modos se ubicó en 372 COP/min. En dichos casos las valoraciones fueron cercanas a las que habían sido reportadas en estudios previos realizados en la ciudad de Medellín-Colombia

Ahora bien teniendo en cuenta la probabilidad de uso del vehículo particular con la implementación del cobro de la tasa por congestión en condiciones donde el tiempo de viaje es equivalente a 25min y el costo del modo auto particular es equivalente a \$3000 COP, se tendrá una reacción de los individuos que utilizan el uso del vehículo por el corredor Bucaramanga – Floridablanca (N-S) y Floridablanca – Bucaramanga (S-N) , en la cual para desestimular el uso del auto particular se deberá cobrar entre los rangos de \$6500 a \$9500 COP correspondientes a un 39.35% y 7,22% respectivamente logrando que en las horas punta se presente un tránsito de vehículos particular aproximadamente de 4698 a 3011 vehículos correspondientemente; referente a este comportamiento podemos decir que las políticas del gobierno que fijan el cobro de la tasa de congestión en por lo menos 5 veces el costo del transporte público (\$9500 COP), es una política que no se ajusta a la percepción de los usuarios y la disponibilidad de pagar dado que al implementar esta tasa se estaría generando una maximización de los ingresos lo cual como política de gestión de la demanda sería un mal comienzo aplicar esta tarifa a una sociedad que apenas está conociendo los costos de las externalidad negativas asociadas a la congestión .

Para brindar la libertad de viajar, antes de introducir una tasa por congestión se debe tener claridad del establecimiento de rutas alternas y modificación del reparto modal para lo cual en nuestro caso, de generarse un cobro por congestión en el viaducto García Cadena sería Auto particular 39,35%, Taxi 2,47% y Bus o BRT 58,17%.

Con referencia a los atributos Socio-Demográficos y conociendo las características de elección del individuo referente a la información solicitada tales como: Estrato socio económico, sector de realizaría la inversión de la tasa por congestión, cambio de impuestos aplicados actualmente al transporte por implementar el cobro de la tasa por congestión, se puede concluir que la mayoría de los individuos del estrato 3 y 4 optan por remplazar el impuesto de rodamiento por el cobro de la tasa por congestión y los recursos provenientes de la implementación del cobro por congestión desean que se invierta en el mejoramiento del transporte público existente en el área metropolitana de Bucaramanga tal como es el BTR y los Buses Convencionales

Con la aplicación de los criterios establecidos en esta investigación se aumentara la aceptabilidad de los usuarios, logrando una redistribución efectiva de beneficios que ésta genera. Es decir, en la medida que los usuarios de las vías sujetas a peaje participen directa o indirectamente en las decisiones de invertir en los fondos recaudados, su bienestar se verá aumentado por lo que es de esperar que acepten la tarificación. Este bienestar debe estar complementado con medidas de apoyo a medios de transporte más “eficientes” con el modo no-motorizados (caminata, bicicleta).

Finalmente se debe fortalecer el fundamentos jurídicos con la reglamentación y creación de un Sistema Nacional de Identificación Electrónica Vehicular, que permitirá, en principio, el

pago electrónico de peajes y los cobros por congestión en las ciudades, Para ello, todos los vehículos deberán estar provistos de un dispositivo (TAG) que permita su plena identificación, a través de lectura con cámaras o sensores, mediante tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia).

Referencias

- [1] Ministerio de Transporte, *Decreto Numero 2883*, Bogota: Gaceta Oficial, 2013, pp. 1-5.
- [2] DANE, «Departamento Administrativo Nacional de Estadística,» 31 Diciembre 2005. [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion/34-demograficas/proyecciones-de-poblacion>. [Último acceso: 4 Mayo 2014].
- [3] Concejo de Bucaramanga, «PLAN DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOCIAL Y DE OBRAS PÚBLICAS 2012 – 2015, “BUCARAMANGA CAPITALSOSTENIBLE”,» Alcaldia de Bucaramanga, Bucaramanga, 2012.
- [4] M. E. Tirado, «La Problematica de la Movilidad Urbana en Bucaramanga,» *Apuntes de Investigación*, vol. 8, nº 8, pp. 1-15, 2014.
- [5] L. Marquez D., «Influence of Parking Costs on the Use of Cars in Bogota.,» *Ingenieria y Universidad*, vol. 15, nº 1, pp. 105-124, 2011.
- [6] D. Moreno , «POL ICIES TO INFLUENCE ON THE MODAL CHOICE OF THE PRIVATE VEHICULE USERS IN UNIVERSI TIES: STUDY CASE : UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA,» *Dyna*, pp. 101-111, 2011.
- [7] H. J. Posada, «ANALISYS OF" PICO Y PLACA" AS VEHICULAR CIRCULATION RESTRICTION IN MEDELLÍN-BASED ON TRAFFIC VOLUMES,» *Dyna*, vol. 78, nº 165, pp. 112-121, 2011.
- [8] C. A. Calderon , «Estrategias tarifarias y desestimulación del uso del vehículo particular por medio del pico y placa en Medellín,» *Ingenieria Universidad de Medellin*, vol. 8, nº 14, pp. 95-110, 2009.
- [9] Cal y Mayor, «FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD PARA BOGOTÁ D.C.,» Alcaldia Mayor de Bogota D. C., Bogota, 2006.
- [10] A. A. Gomez. , «Control de la congestión vehicular en Bogotá con herramientas microeconómicas,» *Desarrollo y Sociedad*, nº 35, 1995.
- [11] E. J. Pozueta , La experiencia Internacional en Pejaes Urbanos, I. J. d. Herrera, Ed., Madrid: FASTER, 2008, pp. 1-116.
- [12] C. R. Rivasplata , «Congestion pricing for Latin America: Prospects and constraints,» *Research in Transportation Economics*, vol. 40, nº 1, pp. 56-65, 2013.
- [13] M. Salas R. , «Gestión de la movilidad mediante tarifas,» *Revista de ingeniería.*, vol. I, nº 29, p. 8, 25 Mayo 2009.
- [14] C. R. Rivasplata, «Congestion pricing for Latin America: Prospects and constraints,» *Research in Transportation Economics*, vol. 40, nº 1, pp. 56-65, 2013.
- [15] C. V. L. T. M. E. F. Robusté, «Nuevas tecnologías en la gestión de autopistas: el peaje y los sistemas de transporte inteligente,» *Economía industrial*, vol. V, nº 353, pp. 33-46, 2003.
- [16] D. Martinez y H. Francisco, Movilidad o transporte: dos conceptos, una realidad. Caso Bogotá DC, Bogota D. C: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [17] Z. Li and D. A. Hensher, «Congestion charging and car use: A review of stated preference and opinion studies and market monitoring evidence,» *Transport Policy*, vol. 20, pp. 47-61, 2012.

- [18] Ministerio de Hacienda y Credito Publico, *Ley Numero 1450*, Bogota, 2011, pp. 1-90.
- [19] Xiomara k. Montañez M., «Vanguardia,» 14 Enero 2010. [En línea]. Available: <http://www.vanguardia.com/historico/50701-congestion-vehicular-con-tendencia-a-empeorar>. [Último acceso: 15 Mayo 2014].
- [20] J. A. Guerrero R., «ANÁLISIS CAUSAL DE LAS PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS DE LA MOVILIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA,» *Digital Apuntes de Investigación*, vol. 8, 2014.
- [21] Area Metropolitana B., «Diagnostico de la situacion actual transporte masivo y colectivo,» UIS, Bucaramanga, 2011.
- [22] Universidad Industrial S., «ELABORACION DE LA MATRIZ ACTUAL ORIGEN – DESTINO DE VIAJES Y DISEÑO DE RUTAS PARA LAS FASES II, III Y IV DEL SISTEMA METROLINEA,» UIS, Bucaramanga, 2011.
- [23] V. Cantillo, «“Análisis Económico de Políticas de Transporte Erróneas. Caso de Restricción a Vehículos Según Números de Patente y de Subsidios a Motocicletas,»» de *XVI PANAM*, Lisbon, Portugal, 2010.
- [24] Gonzalez C., «“Estrategias tarifarias y desestimulación del uso del vehículo particular por medio del pico y placa en Medellín,»» *Rev. ing. univ. Medellin*, pp. 95-110, 2009.
- [25] Posada, J., Farbiarz, V., «“Análisis de “Pico y Placa” como restricción de circulación vehicular en Medellín – basado en volúmenes de tráfico,»» *Dyna*, vol. 78, pp. 112-121, 2011.
- [26] J. A. Sanin, «Desarrollo del Transporte en Colombia,» Ministerio de Transporte, Bogota, 2007.
- [27] T. Yepes, J. C. Junca, and J. Aguilar, «“La integración de los sistemas de transporte urbano en Colombia,»» Fedesarrollo Centro de Investigación Económica y Social, 2013. [En línea]. Available: <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/175>.
- [28] A. Iracheta, «“La necesidad de una Política Pública para el desarrollo de sistemas integrados de transportes en grandes ciudades Mexicanas,»» *Rev. Invi*, vol. 26, n° 71, pp. 133-142, 2011.
- [29] D. N. de Planeación and M. de Transporte, «“Política Para Mejorar el Servicio De Transporte Público Urbano de Pasajeros,»» Ministerio de Transporte, 2002. [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/EstudiosEconomicos/191.pdf>.
- [30] G. Giuliano, J. E. Moore, and J. Golob., «Integrated Smart-Card Fare System: Results from Field Operational Test,» *Transportation Research Board*, vol. 1735, n° 1735/2000, pp. 138-146, 2007.
- [31] G. Hinterwälder, C. T. Zenger, F. Baldimtsi, A. Lysyanskaya, C. Paar, and W. P. Burlison, *Efficient e-cash in practice: NFC-based payments for public transportation systems*, Springer Berlin Heidelberg: Privacy Enhancing Technologies, 2013, pp. 40-59.
- [32] J. Porter, «The case of Transmilenio in Colombia,» PUBLIC WORLD, London, 2010.
- [33] P. E. España, «Análisis del Mercado de Servicios de Transporte Público en España: Costes, Demanda, Precios y Nivel de Calidad,» *Investigaciones Económicas (Segunda Época)*, vol. 15, n° 2, pp. 229-247, 1991.
- [34] J. A. Sanin, *Desarrollo del Transporte en Colombia*, Bogota: Ministerio de Transporte,

2007, pp. 736-740.

- [35] C. Brand, and J. Preston, «Which technology for urban public transport?,» *Proceedings of the ICE - Transport*, vol. 156, nº 4, pp. 201-210, 2003.
- [36] T. Yepes , «LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO EN COLOMBIA,» Fedesarrollo Centro de Investigación Económica y Social, Bogotá, 2013.
- [37] A. Iracheta, «La necesidad de una Política Pública para el desarrollo de sistemas integrados de transportes en grandes ciudades Mexicanas,» *Revista Invi*, vol. 26, nº 71, pp. 133-142, 2011.
- [38] Conpes, «Política Para Mejorar el Servicio De Transporte Público Urbano de Pasajeros,» Ministerio de Transporte, Bogotá, 2002.
- [39] V. Reeven , «Subsidisation of Urban Public Transport and the Mohring Effect,» *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 42, nº 2, pp. 349-359, 2008.
- [40] COLPRENSA, «Vanguardia,» Vanguardia, 25 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.vanguardia.com/actualidad/colombia/226683-sistemas-de-transporte-masivo-un-modelo-en-aprietos>. [Último acceso: 24 Enero 2015].
- [41] P. Wilkinson , «Incorporating informal operations in public transport system transformation: the case of cape town, south Africa,» *Urbe. Revista Brasileira de Gestao Urbana*, vol. 2, nº 1, pp. 85-95, Enero-Junio 2010.
- [42] C. F. Pardo , Los cambios en los sistemas integrados de transportes masivos en las principales ciudades de America Latina, Santiago de Chile: Publicacion de las Naciones Unidas, 2009, pp. 13-14, 17-18.
- [43] De Rus Gines , Economía del Transporte, Primera ed., A. Bosch, Ed., Barcelona: Antoni Bosch, 2003, pp. 140-145.
- [44] F. Ventura , Els Comptes del Transport de Viatgers a la Regio Metropolitana de Barcelona, Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya, 2000, pp. 95-136.
- [45] Ministerio de Transporte, «Mintransporte,» 31 Diciembre 1998. [En línea]. Available: <https://www.mintransporte.gov.co/documentos.php?id=14&colorder=fecha&order=ASC>. [Último acceso: 19 Abril 2014].
- [46] Departamento Nacional de Planeación - DNP, «Informe Final de la Evaluación expost de la Fase I del SITM del Área Metropolitana de Bucaramanga -AMB- Metrolínea,» SIGMA Gestión de Proyectos SAS, Bogotá, 2012.
- [47] Universidad Industrial de Santander, «Consultoria para el Analisis de la Situacin Actual y Futura del Transporte Colectivo Complementario del area Metropolitana de Bucaramanga,» Bucaramanga, 2011.
- [48] M. H. Salas, Analisis de estrategias tarifarias para la gestion de la movilidad en carreteras metropolitanas, Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña, 2008, pp. 51-64, 72-85.
- [49] Cal y Mayor Asociados S.C., Manual de Planacion y Diseño para la Administracion del Transito y el Transporte, Segunda ed., vol. III, Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005, pp. 2-6.
- [50] P. Busquin , External Costs, Belgium: European Communities, 2003, pp. 1-28.
- [51] R. M. Lifschitz , «Sistema de transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Rosario,

- Argentina,» *Urbano*, vol. 6, nº 7, pp. 38-44, 2003.
- [52] J. de D. Ortuzar , Modelos de Transporte, Madrid: Publican - Ediciones de la Universidad de Cantabria, 2008, pp. 197-203.
- [53] Skinner R.E, «Airport choice: an empirical study,» *Transportation Engineering Journal*, vol. 4, nº 102, pp. 871-882, 1976.
- [54] Harvey G, «Study of airport access mode choice,» *Journal of transportation Engineering*, vol. 5, nº 112, pp. 525-545, 1986.
- [55] Comunidad Europea, Libro Blanco, Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas, 2001.
- [56] Ramon S., «Informe de Plan de Manejo de Trafico,» Municipio de Bucaramanga, Bucaramanga, 2013.
- [57] Ginés de Rus, «Evaluación socioeconómica y financiera de proyectos de transporte,» CEDEX, España, 2010.
- [58] Bertrand, N. F. , «Meta-analysis of studies of willingness to pay to reduce traffic noise,» de *unpublished MSc dissertation*, University College London, 1997.
- [59] Manheim, Marvin L., Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Massachusetts: Fourth printing, 1984.
- [60] L. Schwartzmann, «Health-Related Quality of Life: Conceptual Aspects,» *CIENCIA YENFERMERIA*, vol. IX, nº 2, pp. 9-21, 2003.
- [61] Salas R. Miller H. , Analisis de estrategias tarifarias para la gestion de la movilidad en carreteras metropolitanas, Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña, 2008, pp. 51-64, 72-85.
- [62] Simón J., «La influencia de las externalidades en la economía del bienestar: El enfoque tradicional,» *Cuadernos de economía: Spanish Journal of Economics and Finance*, vol. 15, nº 43, pp. 239-268, 1987.
- [63] Santos G., «Externalities and economic policies in road transport,» *Research in Transportation Economics*, vol. 28, nº 1, pp. 2-45, 2010.
- [64] W. Rothengatter , «How good is first best? Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport,» *Transport Policy*, vol. 10, nº 2, pp. 121-130, 2003.
- [65] C. Nash et al., «Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport: a comment,» *Transport Policy*, vol. 10, nº 2, pp. 345-348, 2003.
- [66] Carrasco D et al., «La Tarificación Vial en el marco de la Unión Europea. Situacion actual,» España, 2012.
- [67] Pigou A., The economics of welfare, London: McMillan&Co., 1920.
- [68] Knight F.H., «Some fallacies in the interpretation of social cost,» *Quarterly Journal of*, nº 38, 1924.
- [69] Banister D. , «Charging for the Use of Urban Roads,» de *European Conference of Ministers of*, Paris, 1994.
- [70] Buchanan J., «The pricing of highway services,» *National Tax Journal*, nº 5, pp. 97-106, 1952.
- [71] Owen W., The Metropolitan Transportation Problem, Washington D.C.: The Brookings,

1956.

- [72] Meyer J. et al, *The Economics of Competition in the Transportation Industries*, Cambridge: Harvard University Press, 1959.
- [73] Smith M et al., «A comparison of the network effects of four road-user charging systems,» *Traffic Engineering and Control*, Londres, 1994.
- [74] Thomson J., «An evaluation of two proposals for traffic restraint in Central London,» *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 130, nº serie A, p. parte 3, 1967.
- [75] Ministry of Transport, «Road Pricing: The Economic and Technical Possibilities,» Her Majesty's Stationary Office, Londres, 1964.
- [76] Vickrey W., «Optimization of traffic,» *Journal of Transport Economic and Policy*, vol. 1, nº 2, pp. 123-136, 1967.
- [77] Thorpe N. y Hills P., «Forecasting public attitudes to road-use pricing: A stated preference approach,» de *documento presentado en la Séptima Conferencia Internacional sobre Comportamiento de los Viajeros*, Chile, 1994.
- [78] Brown M et al., «The development of elasticities for a road pricing model,» de *Actas del Seminario F del 21º Encuentro Anual de Verano sobre el Transporte, Carreteras y Planificación Europea*, Manchester, 1993.
- [79] Munro, C, «The evolution of road pricing: past, present and future,» de *In Australian Road Forum (ARF) National Roads Summit*, Sydney/Australia, 2008.
- [80] University College London, «Cobro de cogestión en ciudades Colombianas,» Uniandes, Bogota, 2013.
- [81] Palma, A. & Lisdsey, R, «Traffic congestion pricing methodologies and technologies,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 19, nº 6, pp. 1377-1399, 2011.
- [82] Iseki, H., & Demisch, A., «Examining the linkages between electronic roadway tolling technologies and road pricing policy objectives,» *Research in Transportation Economics*, vol. 36, nº 1, pp. 121-132, 2012.
- [83] Gleave, S, «Tarificación vial por congestión para la Ciudad de Santiago,» Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, Chile, 2009.
- [84] FHWA, «Technologies that Complement Congestion Pricing,» Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2008.
- [85] Viegas Jose M., «Making urban road pricing acceptable and effective: Searching,» *Transport Policy*, nº 8, pp. 289-294, 1 julio 2001.
- [86] Muñoz M. Juan, «Disponibilidad y accesibilidad en el transporte público madrileño como garantía de equidad social ante la aplicación de un peaje urbano para la ciudad de Madrid,» *Investigacion Europeas de Direccion y Economia de la Empresa*, nº 20, pp. 47-54, 17 junio 2013.
- [87] Albalate D., Bel G, «What local policy makers should know about Urban Road Charging: Lessons from Worldwide Experience,» *Public Administration Review*, vol. 69, nº 5, pp. 962-975, 2009.
- [88] Schade, J. y Baum, M, «Reactance or acceptance? Reactions towards the Introduction of

- Road Pricing,» *Transportation Research*, vol. 41, n° 1, pp. 41-48, 2007.
- [89] Schlag, B. y Teubel, U, «Public acceptability of traffic demand management in Europe,» *Traffic Engineering & Control*, vol. 41, pp. 314-318, 1997.
- [90] Giuliano, G, «Equity and Fairness Considerations of Congestion Pricing. In Curbing Gridlock: Peak-period fees to relieve traffic congestion,» *Transportation Research Board*, pp. 250-279, 23 junio 1994.
- [91] Bonsall, P. y Kelly, C, «Road user charging and social exclusion: The impact of congestion charges on at risk groups,» *Transport Policy*, vol. 12, n° 5, p. 406-418, 2005.
- [92] Ubbels, M. y Verhoef, E. T, «Acceptability of road pricing and,» *European Transport*, n° 32, pp. 69-94, 2006.
- [93] Winston, C, «Conceptual developments in the economics of transportation: an interpretive survey,» *Journal of Economic Literature*, n° 23, pp. 57-94, 1985.
- [94] Small, K. A., H. S. Rosen, «Applied welfare economics with discrete choice models,» *Econometrica*, n° 49, pp. 105-130, 1981.
- [95] Deaton, A., J. Muellbauer, «Economics and consumer behaviour,» Cambridge: Cambridge University Press., 1980.
- [96] Ortuzar, J. D. D., & Willumsen, L. G, *Modelos de Transportes*, Cantabria: Publican, 2008.
- [97] Train, K., *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press, 2003.
- [98] Walker, J., Ben-Akiva, M., Bolduc, D, *Identification of the Logit Kernel (or, Massachusetts Institute of Technology: Working paper*, 2001.
- [99] Medina E., «Universidad Autonoma de Madrid,» 2003. [En línea]. Available: http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/logit.pdf. [Último acceso: 19 Noviembre 2015].
- [100] Ben-Akiva, M. E. and Lerman, S. R., *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, Cambridge, Ma: MIT Press, 1985.
- [101] Foerster, J. F., «Mode choice decision process models: a comparison of compensatory and non-compensatory structures,» *Transportation Research*, vol. 1, n° 13, pp. 17-28, 1979.
- [102] Tversky, A., «Choice by elimination,» *Journal of mathematical psychology*, vol. 4, n° 9, pp. 341-367, 1972.
- [103] Batley, R., & Daly, A., «Is elimination-by-aspects a random-utility-maximising model,» de *In Centre for Decision Research Seminars (B. Summers, Chair)*, Leeds University Business School, Leeds, UK., 2004.
- [104] Rouwendal, J., & De Blaeij, A. T., «Inconsistent and lexicographic choices in stated preference analysis,» *Departament of spatial economics*, Amsterdam, 2004.
- [105] T. Domencich and D. McFadden, *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*, Amsterdam, 1975.
- [106] D. McFadden, "Disaggregate behavioural travel demand's RUM side: a 30-year retrospective," in *Travel Behavior Research: The Leading Edge*, Londres, Pergamon, 2001.
- [107] J. d. D. Ortuzar and L. G. Willumsen, *Modelling Transport Fourth Edition*, John Wiley & Sons, 2011.
- [108] K. E. Train, *Discrete Choice Methods with Simulation, Second Edition*, United Kingdom:

Cambridge University Press, 2003.

- [109] E. Cherchi and J. d. D. Ortuzar, "On fitting mode specific constants in the presence of new options in RP/SP models," *Transportation Research Part A*, vol. 40, pp. 1-18, 2005.
- [110] D. McFadden and K. Train, "Mixed MNL models for discrete response," *Journal of Applied Econometrics* 15, pp. 447-470, 2000.
- [111] C. Daganzo, *Multinomial Probit: The Theory and its Applications to Demand Forecasting*, Nueva York: Academic Press, 1979.
- [112] J. . L. Walker, "Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables," Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [113] V. Cantillo and J. d. D. Ortuzar, "A semi-compensatory discrete choice model with explicit attribute thresholds of perception," *Transportation Research 39B*, pp. 641-657, 2005.
- [114] D. McFadden, "Econometric models of probabilistic choice," in *Structural Analysis of Discrete Data: With Econometric Applications*, MIT Press, Cambridge, Mass, 1981.
- [115] Green, P. E., & Rao, V. R., «Conjoint measurement for quantifying judgmental data,» *Journal of Marketing research*, pp. 355-363, 1971.
- [116] Louviere, J. J., «Conjoint analysis modelling of stated preferences: a review of theory, methods, recent developments and external validity,» *Journal of transport economics and policy*, pp. 93-119, 1988.
- [117] Luce, R.D. y Tukey, J.W., «Simultaneous conjoint measurement: a new type of fundamental measurement,» *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 1, pp. 1-27, 1964.
- [118] Louviera, J.J., Hersher, D.A. y Swait, J.D., «Stated choice methods: analysis and applications,» Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- [119] Bliemer, M.C. y Rose, J.M. , «Constructing efficient stated choice experimental designs,» *Transport Reviews*, nº 29, pp. 587-617, 2009.
- [120] Ortúzar J,D, *Modelos de demanda de Transporte*, Chile: Alfaomega, 2015.
- [121] Herrera M., Ana P., «Aplicación de los modelos de elección discreta en el proceso de planeación de transporte,» Universidad Nacional, Bogotá, 2005.
- [122] Bradley, M.A. y Kroes, E.P., «Forecasting issues in stated preference survey research,» de *Proceedings 3ra international conference on survey methods in transportation*, Washington D.C. EE.UU., 1990.
- [123] Kocur, G.; Adler, T., Hyman, W. y Aunet, B., *Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment*, washington, D.C: Urban Mass administration, US Department of Transportation, 1982.
- [124] Pearmain, D., Swanson, J., Kroes, E. y Bradley, M. , *Stated Preference Techniques: A Guide to Practice*, Steer Davies Gleave and Hague Consulting Group, 1991.
- [125] Pardo A.M, Mosquera J. S., *Implementación de una tarifa para reducir la congestión*, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 212.
- [126] Zwerina, Klaus; Huber, Joel & Kuhfeld, Warren F., «MR-2010E - A General Method for Constructing Efficient Choice Designs,» SAS Institute Inc., 2005. [En línea]. Available: <http://support.sas.com/techsup/technote/mr2010e.pdf>. [Último acceso: 7 Enero 2015].
- [127] Universidad Industrial de Santander, «Consultoria para la caracterizacion de los patrones

de viajes en el SITM metrolinea del area metropolitana de bucaramanga,» Bucaramanga, 2011.

- [128] Bhatta, Bharat P. & Larsen, Odd I., «Errors in variables in multinomial choice modeling: A simulation study applied to a multinomial logit model of travel mode choice,» *Transport Policy*, vol. 18, n° 2, pp. 326-335, 2011.
- [129] Small, Kenneth A.; Yan, Jia, «The value of “value pricing” of roads: Second-best pricing and product differentiation,» *Journal of Urban Economics*, vol. 49, n° 2, pp. 310-336, 2001.
- [130] Consejo Nacional de Planeación, «Plan nacional de desarrollo 2014-2018,» CNP, Bogota D.C., 2014.
- [131] Jiménez Serpa, J. C., Rojas Sánchez, A. E., & Salas Rondón, M. H., «Integración Tarifaria para el Transporte Público del Área Metropolitana de Bucaramanga,» *INGE CUC*, vol. 11, n° 1, pp. 25-33, 2015.
- [132] Alcaldia de Bucaramanga , «Bucaramanga.gov.co,» 4 mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=71>. [Último acceso: 4 mayo 2014].
- [133] Pozueta E. Julio, La experiencia Internacional en Pejaes Urbanos, I. J. d. Herrera, Ed., Madrid: FASTER, 2008, pp. 1-116.
- [134] Rodríguez R. Daniel, «Análisis de factores relevantes en la implantación de tarifas por,» Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico, 2008.
- [135] Municipio de Bucaramanga, «PLAN DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOCIAL Y DE OBRAS PUBLICAS,» Bucaramanga, 2012-2015.
- [136] Börjesson, M. et al, «The Stockholm congestion charges—5 years on. Effects acceptability and lessons learnt,» *Transport Policy*, vol. 20, pp. 1-12, 2012.

ANEXOS 1 DISEÑO DE LA ENCUESTA PD

ANÁLISIS DE ELECCION DE MODO TENIENDO EN CUENTA LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN UN INDIVIDUO CON LA VIABILIZACIÓN DEL COBRO POR CONGESTIÓN

Se pretende experimentar un conjunto de situaciones hipotéticas enmarcadas en la realidad y casos internacionales referente a la implementación del cobro por congestión en zonas urbanas, la situación que se estudiará será mostrar al individuo un escenario donde se ubica un peaje urbano en una vía congestionada con velocidades no mayores a 20 km/h, con el objeto de cobrar una tasa a los autos particulares que congestionan la vías, los cobros dinámicos en el peaje serán controlados por un identificador de radio frecuencia (TAG) que contiene un chip que guarda toda la información del usuario y el cual es ubicado en un sitio estratégico en el auto para ser leído por un radar ubicado en el pórtico *free flow* (flujo libre), con este sistema se evitará que los vehículos se detengan para realizar sus pagos.

Esta encuesta esta orientada a establecer qué factores influyen en un individuo frente a la viabilización de un cobro por congestión en una vía saturada de vehículos y cómo se distribuyen los modos de transporte públicos y privados.

Las variables a considerar en el experimento son:

Tiempo de Viaje, Tiempo de Espera, Costo del modo a utilizar (Bus, Taxi o Auto particular), Tasa por Congestión.



ENCUESTA PARA ESTUDIAR EL
IMPACTO DE UN PEAJE URBANO EN LA DISTRIBUCION DE LOS MODOS
DE TRANSPORTES

CONFIDENCIAL: Los datos que la UPB solicita en este formulario son estrictamente confidenciales y en ningún caso tienen fines distintos al objeto de la encuesta.

OBJETIVO: Estudiar experimentalmente las decisiones que tomarían los individuos frente a la implementación de una tasa por congestión y la distribución de los modos de transportes.

A. IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA ENCUESTA

Encuestador: _____ Ciudad: _____ Fecha:

DD	MM	AA
----	----	----

1. Edad:

--	--

 2. Sexo:

M	F
---	---

3. Último nivel educativo aprobado:

Primaria Bachillerato Técnico/tecnológico Universitario Posgrado Otro NR

4. Estrato socioeconómico de la familia:

1 2 3 4 5 6 NR

5. Motivo de Viaje mas Frecuente: Estudio Trabajo Negocios Otra NR

6. Seleccione su nivel de ingreso mensual :

0-500.000 500.001-1.000.000 1.000.001-2.000.000 2.000.001-4.000.000 mas de 4.000.001 8.

7. Viaja solo o acompañado(a): Solo(a) Acompañado(a)

8. Estaría dispuesto a Compartir un Taxi SI NO

9. Cambiaría usted el pico y placa en vías saturada de autos por un cobro por congestión:

SI NO

10. Donde Preferiría usted invertir parte de los recaudos obtenidos de la tasa por congestión:

Mejoramiento de Vías Alternas Construcción de Nuevas Vías Mejoramiento del Transporte Publico Existente
 Construcción de Ciclo Vías

11. El costo del transporte del Metrolinea en relación al servicio que brinda es:

Bajo Razonable Alto Exagerado NR

12. De las alternativas siguientes cual cambiaría por la Tasa por congestión:

Sobre Tasa de la Gasolina Valorización Impuestos de Rodamiento



**ENCUESTA PARA ESTUDIAR EL
IMPACTO DE UN PEAJE URBANO EN LA DISTRIBUCION DE LOS MODOS
DE TRANSPORTES
Marzo de 2015**

CONFIDENCIAL: Los datos que la UPB solicita en este formulario son estrictamente confidenciales y en ningún caso tienen fines distintos al objeto de la encuesta.

OBJETIVO: Estudiar experimentalmente las decisiones que tomarían los individuos frente a la implementación de una tasa por congestión y la distribución de los modos de transportes.

B. CARACTERISTICAS DEL VIAJE

Encuestador: _____ Fecha:

DD	MM	AA
----	----	----

13. Cómo califica los siguientes aspectos del servicio:

A. Confort (1: Poco Cómodo, 5: Muy Cómodo)

B. Probabilidad de ocurrencia de accidente (1: Muy probable, 5: Poco probable)

ALTERNATIVA	1	2	3	4	5
BUS					
TAXI					
METROLINEA					
AUTO					

ALTERNATIVA	1	2	3	4	5
BUS					
TAXI					
METROLINEA					
AUTO					

C. ENCUESTA DE PREFERENCIA DECLARADA

Suponga que en la vía Bucaramanga (Puerta del Sol) hacia Floridablanca (Cafñaveral). Se instala un peaje urbano y usted tiene la posibilidad de utilizar su vehículo todo el día pero debe pagar una tarifa por congestión a través del peaje urbano que se cobra por medios electrónicos.

En esa situación, escoja una de las alternativas (para cada caso) para realizar su viaje de acuerdo a sus preferencias (BUS-METRO, TAXI, AUTO PARTICULAR). Por favor intente vivir las circunstancias planteadas, evalúe cada una de esas situaciones independientemente de las demás y responda con **LA MAYOR SINCERIDAD POSIBLE** que modo utilizaría.

- 1. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 2. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 3. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 4. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 5. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 6. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 7. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 8. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR
- 9. BUS /METRO TAXI AUTO PARTICULAR

ANEXOS 2 PLANTILLAS PRESENTADAS AL INDIVIDUO

Alternativa 1				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	25 Min	15 Min	15 Min
	Tiempo de Espera	5 Min	4 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$3.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

Alternativa 4				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	30 Min	20 Min	20 Min
	Tiempo de Espera	5 Min	4 Min	-
	Costo Modo	\$1.900	\$6.800	\$3.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$4.500

Alternativa 9				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	35 Min	25 Min	25 Min
	Tiempo de Espera	15 Min	8 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$4.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

Alternativa 6				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	30 Min	20 Min	20 Min
	Tiempo de Espera	15 Min	8 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$4.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

Alternativa 2				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	25 Min	15 Min	15 Min
	Tiempo de Espera	10 Min	6 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$3.500
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

Alternativa 8				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	35 Min	25 Min	25 Min
	Tiempo de Espera	10 Min	6 Min	-
	Costo Modo	\$1.900	\$6.800	\$3.500
	Tasa por Congestión	-	-	\$4.500

Alternativa 5				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	30 Min	20 Min	20 Min
	Tiempo de Espera	10 Min	6 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$3.500
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

Alternativa 3				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	25 Min	15 Min	15 Min
	Tiempo de Espera	15 Min	8 Min	-
	Costo Modo	\$1.900	\$6.800	\$4.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$4.500

Alternativa 7				
		BUS-METRO	TAXI	AUTO
	Tiempo de Viaje	35 Min	25 Min	25 Min
	Tiempo de Espera	5 Min	4 Min	-
	Costo Modo	\$1.850	\$4.800	\$3.000
	Tasa por Congestión	-	-	\$3.500

ANEXOS 3 BASE DE DATOS RECOLECTADOS