

# **METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR ACCESIBILIDAD Y CONVENIENCIA EN CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO: APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA, ARGENTINA**

**Claudio Falavigna**

**Marcelo Herz**

**Jorge Galarraga**

Maestría en Ciencias de Ingeniería Mención Transporte

Facultad Ciencias Exactas Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba

## **RESUMEN**

Este trabajo desarrolla un Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para líneas de ómnibus urbanos el cual se compone de dos partes: una cualitativa que considera las características operativas de la oferta y las expectativas de calidad de los usuarios de Córdoba, y una cuantitativa que incluye aspectos del uso del suelo (demanda) en los sectores servidos y la longitud de tramo.

En conjunto se obtiene un indicador que cuantifica de manera relativa el grado de atracción de pasajeros que cada alternativa de recorrido presenta permitiendo comparar y seleccionar recorridos alternativos para servicios en la etapa de planificación.

Al momento de diseñar recorridos de ómnibus existe una situación de compromiso entre ampliar la zona de influencia de un servicio y extender su recorrido, el indicador propuesto permite estimar que alternativa de trazado es más “eficiente” para servir a una mayor cantidad de habitantes utilizando una menor distancia de recorrido.

## **ABSTRACT**

This research develops an Indicator of Accessibility and Convenience for each evaluated Corridor which is composed of two parts: one qualitative, contrasting supply operating characteristics to assess service quality expectations of user from Cordoba City, and other part quantitative, including issues related to land use (demand) and section's length.

Both components together get an indicator that reveals in relative terms -between two or more alternative routes- the degree of market attraction that each line presents, allowing to compare and select transit routes in the planning stage.

A common trade off situation is that expanding the zone of influence of a service implies extend the length of the route. The proposed indicator allows estimating which line is more efficient to attract a larger number of people with a shorter route.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La pérdida de participación del transporte masivo y su consecuente falta de sustentabilidad se relacionan directamente con la pérdida de accesibilidad y conveniencia de los servicios (Stradling *et al.*, 2007), ya que el potencial usuario solo podrá considerar al transporte urbano como opción de viaje cuando esté disponible. En este sentido las metodologías de los manuales Norteamericanos (TRB, 2003 y TRB, 2000) ayudan al dimensionamiento de corredores y paradas para evitar congestión (Galarraga *et al.*, 2005), pero tal y como están planteados no son aplicables en nuestro medio para maximizar la “atracción” del servicio en términos de accesibilidad y conveniencia. Esto es así porque las condiciones de movilidad, la distribución modal y los aspectos socioeconómicos en Norteamérica son notablemente diferentes a las de ciudades Latinoamericanas (Vasconcellos, 2001), y entonces la elección de las personas será distinta.

Otro aspecto importante de destacar es que en países en desarrollo las técnicas de planificación y diseño de sistemas de transporte son del tipo “no formales”, es decir, debido a la escasez de recursos humanos, técnicos, económicos y a la falta de información fiable no se utilizan técnicas operativamente complejas o avanzadas, sino que se recurre a la experiencia y “sentido común” del personal a cargo.

Así el problema que este trabajo se plantea es como cuantificar factores de accesibilidad y conveniencia en función del grado de satisfacción de calidad de los usuarios locales, a los fines de seleccionar aquellas alternativas que les resulten más atractivas y por ende capten mayor volumen de pasajeros.

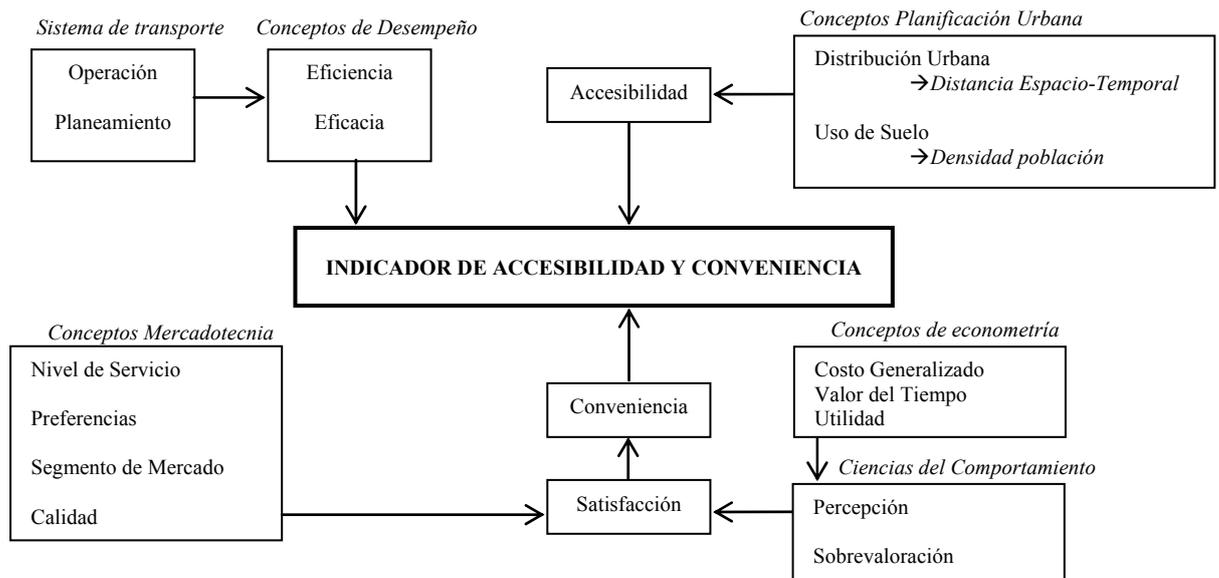
## **2. MARCO TEÓRICO**

Los modelos de evaluación de desempeño de Manheim y Fielding han sido el punto de partida para que los conceptos de eficiencia y eficacia sean aplicados en el análisis de sistemas de transporte. El concepto fundamental de estos modelos es que los volúmenes de demanda de un sistema pueden modificarse si cambian los “niveles de servicio” que estos ofrecen a sus usuarios (Manheim, 1979; Fielding *et al.*, 1983).

Avances en las diversas disciplinas y ramas de la ciencia han desarrollado nuevos conceptos y técnicas que son un complemento al análisis de desempeño en sistemas de transporte, tal es el caso de la mercadotecnia que estudia las expectativas y preferencias de los “clientes” para mejorar la inserción de productos en determinados segmentos. Los organismos encargados de la planificación de sistemas de transporte masivo comenzaron a revisar la aplicación de estas técnicas, a partir de la necesidad de resolver los problemas urbanos derivados del excesivo uso del transporte individual. (MFE, 2006; EMTU, 2005; TRB, 1999).

Las ciencias del comportamiento, han estudiado los conceptos de percepción y sobrevaloración que a partir de la relación con las técnicas de econometría han permitido identificar las “distorsiones” derivadas del comportamiento humano y así mejorar las técnicas de estimación de la demanda en sistemas de transporte (Taylor *et al.*, 2009). Un ejemplo de lo anterior es la sobrevaloración del tiempo de espera (Herz *et al.*, 2009a, 2009b; Daskalakis e Stathopoulos, 2008; Hess *et al.*, 2004; Mishalani e Wirtz, 2006).

El objeto de este trabajo es desarrollar un indicador para evaluar los atributos Accesibilidad Espacial, Accesibilidad Temporal y Conveniencia, que incorpore los conceptos anteriormente explicados con el objeto de dar un juicio al momento de evaluar posibles alternativas de trazados y programación operativa de servicios de transporte masivo urbano en base a la “atracción” de potenciales usuarios. Un mapa conceptual de lo anterior se detalla en Figura 1.



**Figura 1:** Esquema conceptual.

### 3. METODOLOGÍA PROPUESTA

#### 3.1 Indicadores propuestos.

El atributo Accesibilidad Espacial es representado por el indicador Cantidad de Cuadras (100m) Promedio Caminadas por los usuarios de cada segmento socioeconómico para acceder desde el origen de su viaje hasta el punto de acceso al sistema de transporte.

El atributo Accesibilidad Temporal es representado por el indicador Tiempo de Espera Medio Percibido. Según la bibliografía revisada (Taylor *et al.*, 2009; Daskalakis e Stathopoulos, 2008; Hess *et al.*, 2004; Mishalani *et al.*, 2006) existe una importante subjetividad de las personas al momento de esperar, es decir el tiempo de espera medio percibido difiere del tiempo de espera medio real (Larson e Odoni, 1981). Así consideramos necesario incorporar la subjetividad existente y definir como indicador el Tiempo de Espera Percibido Promedio que estimará según las siguientes ecuaciones (Herz *et al.*, 2009a).

$$T_{EPP} = K_i \cdot (T_{ERP})^L \quad (1)$$

donde:  $T_{EPP}$ : Tiempo de Espera Percibido Promedio [min]

$T_{ERP}$ : Tiempo de Espera Real Promedio [min]

$K_i, L$ : Coeficientes a estimar dependen de las percepciones de los usuarios

$$\text{Tiempo de Espera Real Promedio: } T_{ERP} = \frac{1}{2} H_{PROM} (1 + CV^2) \quad (2)$$

Donde:  $H_{PROM}$ : Intervalo promedio [min]

$$CV: \frac{\text{Desv.Std.}}{H_{PROM}}$$

Por último, el atributo Conveniencia es representado por los indicadores Tiempo de Viaje y Tasa de Pasajeros por Asientos. El primero se estima en base a la velocidad de operación media del corredor, en tanto que el segundo resulta del cociente entre la cantidad de personas que viajan en el vehículo en el horario pico y la cantidad de asientos con que cuenta el vehículo ofrecido. La Tabla 1 resume los atributos e indicadores considerados.

**Tabla 1:** Resumen de Atributos, Variables, Indicadores y Medidas.

<b>Atributo</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>
Accesibilidad Espacial	Distancia de Caminata	Promedio de Cuadras Caminadas en Origen para acceder al servicio	[Cantidad de Cuadras(100m)]
Accesibilidad Temporal	Tiempo de Espera	Tiempo de Espera Percibido Promedio	[minutos]
Conveniencia	Tiempo de Viaje	Tiempo de Viaje medio para acceder desde el Origen al Área Central de la ciudad	[minutos]
	Disponibilidad de Asientos	Tasa Pasajeros por asiento	[Nº. Pasajeros / Nº. asientos]

### 3.2. Etapas para aplicar la metodología.

La aplicación de la metodología se realiza en una etapa base y una etapa de aplicación

#### 3.2.1. Etapa base

**1) Zonificación base por segmento de mercado:** El objeto de esta zonificación es definir sectores urbanos con similares características socioeconómicas y de preferencias respecto de las distintas variables operativas del servicio. Lo que se pretende es identificar áreas con igual segmento de mercado. El desarrollo de los sistemas de información geográfica ha facilitado el análisis espacial. Existen diversos indicadores y técnicas para definir zonas socioeconómicamente homogéneas (Currie, 2010; Currie, 2004) pero en los países en desarrollo este tipo de análisis queda limitado por la información sistematizada disponible.

**2) Estimación base de las sobrevaloraciones del tiempo de espera (Coeficientes K y L de Ecuación 1):** al comparar los tiempos de espera declarado por los usuarios y el tiempo real de espera estimado a partir de la ecuación 2 mediante los valores de Headway medio y la desviación estándar de los arribos pueden estimarse los coeficientes K y L de la Ec.1. (Herz *et al.*, 2009 a, 2009b).

**3) Estimación base de las Escalas de Niveles de Servicio y de los Coeficientes de Ponderación:** para incluir las valoraciones cualitativas de los distintos grupos de usuarios, es necesario definir para cada variable una escala cualitativa que permita asignar valores cualitativos a los valores de los indicadores de desempeño de cada atributo del servicio. Además es necesario considerar las diferentes apreciaciones que tienen los distintos “segmentos de mercado” por lo que es necesario conocer las ponderaciones de importancia relativa de cada aspecto.

#### 3.2.2. Etapa de aplicación

Los pasos necesarios para estimar el valor del Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para cada Corredor son:

**1) Características de las Líneas a Evaluar y estimación de indicadores de desempeño:** para cada línea a evaluar se requieren los datos del trazado geométrico en la longitud del tramo en cuestión y datos operacionales de frecuencia (o intervalo), velocidad de operación (o tiempo de viaje desde el sector evaluado hasta el centro), cantidad de asientos disponibles en el vehículo, carga máxima de pasajeros abordo y el promedio de cuadras caminadas. La desviación estándar de los intervalos se asume similar a otras líneas del corredor. Con estos datos se estiman los valores de Cuadras Promedio Caminadas, Tiempo de Viaje Medio para

acceder al área central, Tiempo Medio de Espera Percibido y Tasa de Pasajeros por Asiento.

**2) Características de cada Subzona:** En base a la superposición de la zonificación previa por segmentos de mercado con el área de influencia del corredor a evaluar se obtienen “subzonas” delimitadas por la intersección de las áreas de cada zona y el límite del área de influencia. En este paso se deben identificar las características propias de densidad, área y un segmento de mercado asociado de cada subzona.

**3) Valoración Cualitativa mediante Escalas Niveles de Servicio (NSi):** a partir de los valores de los indicadores de desempeño, se obtienen valores cualitativos por medio de las Escalas de Niveles de Servicios (NSi) de cada variable.

**4) Cálculo del Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para cada grupo de usuarios (IAC<sub>GU</sub>):** mediante los Coeficientes de Ponderación definidos previamente en la etapa preliminar se calcula el valor del Indicador de Accesibilidad y Conveniencia correspondiente a cada uno de los grupos de usuarios asociados a cada subzona (IAC<sub>GU</sub>) mediante ecuación 3:

$$IAC_{GU_g} = \sum_i NS_i \cdot p_{g_i} \quad (3)$$

donde:

$IAC_{GU_g}$  : Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para el Grupo de Usuarios "g"

$i$  : variable operativa (Tespera, Tviaje, Tasa Pas/Asiento, Cuadras caminadas)

$NS_i$  : Calificación del servicio en la variable "i"

$p_{g_i}$  : ponderación de la variable "i" según el grupo de usuarios "g"

**5) Cálculo del Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para el corredor (IAC<sub>CORR</sub>):** a partir de los valores de IAC<sub>GU</sub>, con los datos de densidad y área de cada subzona y la longitud del tramo analizado se estima el Indicador de Accesibilidad y Conveniencia del corredor (IAC<sub>CORR</sub>) mediante la siguiente ecuación:

$$IAC_{CORREDOR} = \sum_{j=1}^n \frac{IAC_{GU_{g_j}}}{L_{TRAMO}} \cdot \left[ \frac{\text{Área}_{g_j} \cdot \text{Densidad}_j}{100} \right] \quad (4)$$

donde:

$IAC_{CORREDOR}$  : Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para el corredor.

$g$  : Número de grupo de usuarios determinado en función del Nivel Socio Económico y longitud del viaje que realiza. ( $g = 1, 2, \dots, 9$ )

$j$  = Número de zona ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ )

$IAC_{GU_{g_j}}$  : Indicador de Accesibilidad y Conveniencia correspondiente al grupo de usuarios "g" que se asocia a la zona "j"

$\text{Área}_{g_j}$  : Superficie de la zona de transporte "j" con características socioeconómicas asimilable a un segmento de mercado "g" que es influenciada por el servicio de transporte [Hect]

Densidad  $j$ : Es el valor de densidad que tiene la zona de transporte "j" [Hab/Hect]

$L_{Tramo}$  : Longitud del tramo de recorrido analizado [Km]

#### 4. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA (ARGENTINA)

Córdoba tiene 1.400.000 habitantes, es una ciudad monocéntrica con servicios de ómnibus y trolebuses radiales. La operatividad de la metodología fue evaluada en siete líneas urbanas, por razones de extensión del trabajo aquí sólo se resume la comparación entre las líneas A4 y A6, un desarrollo más detallado de la metodología puede encontrarse en Falavigna (2009).

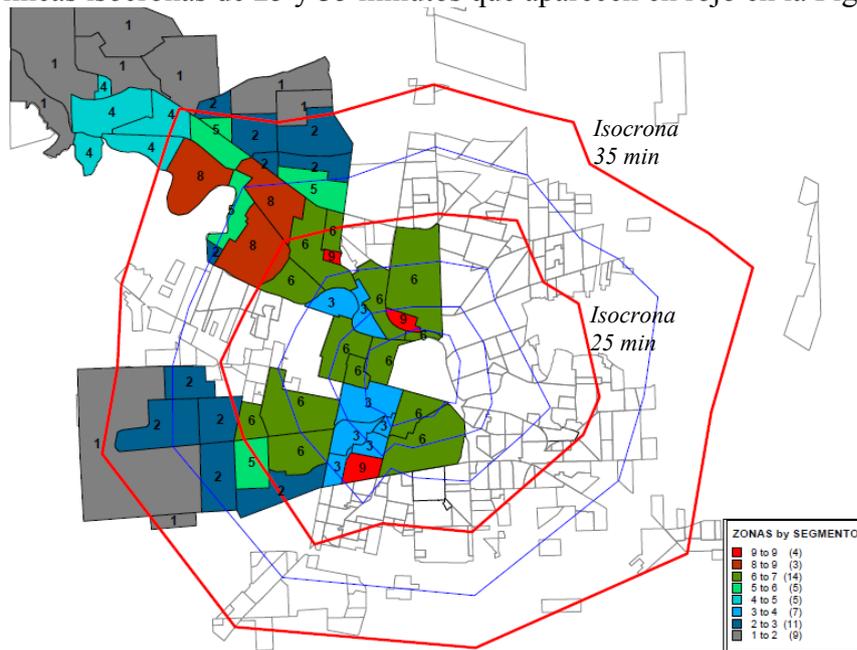
#### 4.1 Etapa base

1) **Zonificación base por segmento de mercado:** se seleccionaron para estudio dos sectores de la ciudad; los indicadores utilizados en la zonificación urbana fueron los siguientes:

-**Cantidad de Vehículos patentados por Hogar por Barrio.**

-**Porcentaje de Hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) por barrio:** se refiere al porcentaje de hogares que no reúnen los recursos necesarios para satisfacer las necesidades básicas de sus miembros.

-**Distancia Espacio-Temporal:** se definió en función del tiempo necesario para acceder al área central de la ciudad por medio del servicio de transporte público. Se proponen como límites las líneas isócronas de 25 y 35 minutos que aparecen en rojo en la Figura 2.



**Figura 2:** Zonas de Transporte asociadas a un Segmento de Mercado

**Tabla 2:** Definición de los Segmentos de Mercados

<i>Segmento de Mercado</i>	<i>Rango Socioeconómico</i>	<i>Distancia espacio-temporal al área central</i>
S1 (mas bajo)	1-“Bajo”	“Alejado” (más de 35 [min])
S2	1-“Bajo”	“Medio” (entre 25 y 35 [min])
S3	1-“Bajo”	“Cercano” (menos de 25 [min])
S4	2-“Medio”	“Alejado” (más de 35 [min])
S5	2-“Medio”	“Medio” (entre 25 y 35 [min])
S6	2-“Medio”	“Cercano” (menos de 25 [min])
S7	3-“Alto”	“Alejado” (más de 35 [min])
S8	3-“Alto”	“Medio” (entre 25 y 35 [min])
S9 (mas alto)	3-“Alto”	“Cercano” (menos de 25 [min])

2) **Estimación base de las sobrevaloraciones del tiempo de espera (Coeficientes K y L de Ec 1):** tanto las sobrevaloraciones como las escalas de niveles de servicio deben obtenerse a partir de una encuesta a los usuarios del servicio. El muestreo es del tipo aleatorio estratificado en función de la proporción de viajes en servicio de ómnibus para cada uno de los tres segmentos de mercado definidos en la Tabla 2 y debido a que en este estudio sólo fueron evaluados usuarios de los servicios N y C el total de encuestas necesarias para obtener una representación estadística aceptable fue de 292 usuarios (Falavigna, 2009).

Los resultados de las sobrevaloraciones para la ciudad de Córdoba fueron los siguientes (Herz *et al.*, 2009a, 2009b):  $K = 6,378$  y  $L = 0,538$ . De esta forma la ecuación 1 queda de la siguiente forma:

$$T_{EPP} = 6,378 \cdot (T_{ERP})^{0,538} \quad (5)$$

donde:  $T_{EPP}$  : Tiempo de Espera Percibido Promedio [min]

$T_{ERP}$  : Tiempo de Espera Real Promedio [min]

3) **Estimación base de las Escalas de Niveles de Servicio y de los Coeficientes de Ponderación:** las escalas de nivel de servicio relacionan la valoración cualitativa que los usuarios asignan a cada atributo del servicio con los valores de cada variable evaluada, en este trabajo se utilizaron escalas de Likert como nexo para relacionar valores de desempeño del servicio con valores cualitativos (Falavigna, 2009). De esta forma se estimaron las siguientes ecuaciones de Escalas de Nivel de Servicio:

**Escala Nivel de Servicio para indicador Tiempo de Espera Medio Percibido:**

$$NS_{TEPP} = \begin{cases} 5 - 0,152 \cdot T_{EPP} \rightarrow \text{Para } T_{EPP} \leq 25\text{min} \\ 1 \rightarrow \text{Para } T_{EPP} > 25\text{min} \end{cases} \quad (6)$$

Donde:  $NS_{TEPP}$  : Nivel de Servicio correspondiente a la variable tiempo de espera percibido promedio

$T_{EPP}$  : Tiempo de Espera Percibido Promedio estimado mediante la ecuación (5).

**Escala de Nivel de Servicio para indicador Tiempo Medio de Viaje al área central.**

$$NS_{TV} = \begin{cases} 5 - 0,128 \cdot T_{TV} \rightarrow \text{Para Viajes de hasta 25 [min]} \\ 5 - 0,080 \cdot T_{TV} \rightarrow \text{Para Viajes entre 25 - 35 [min]} \\ 6,7 - 0,085 \cdot T_{TV} \rightarrow \text{Para Viajes mayores a 35 [min]} \end{cases} \quad (7)$$

Donde:  $NS_{TV}$  : Nivel de Servicio correspondiente a la variable tiempo de viaje

$T_{TV}$  : Tiempo de Viaje

**Escala de Nivel de Servicio para indicador Tasa Pasajeros/Asiento.**

$$NS_{TPA} = \begin{cases} 5 - 1,94 \cdot TPA \rightarrow \text{Para } TPA \leq 2,5[\text{Pas/Asiento}] \\ 1 \rightarrow \text{Para } TPA > 2,5[\text{Pas/Asiento}] \end{cases} \quad (8)$$

Donde:  $NS_{TPA}$  : Nivel de Servicio correspondiente a la variable Tasa Pasajeros por Asiento

$TPA$  : Tasa Pasajeros por Asiento [cantidad de pasajeros en el vehículo/cant asientos].

**Escala de Nivel de Servicio para indicador Cuadras Caminadas.**

$$NS_{CC} = \begin{cases} 5 - 0,228 \cdot CC \rightarrow \text{Para caminata en Área Central} \\ 5 - 0,292 \cdot CC \rightarrow \text{Para caminata en Barrio} \end{cases} \quad (9)$$

Donde:  $NS_{CC}$  : Nivel de Servicio correspondiente a la variable cuadras caminadas

$CC$  : Cantidad de Cuadras de 100m caminadas.

Los coeficientes de ponderación representan la importancia relativa que cada persona le asigna a cada variable del servicio. Para cuantificar dicha importancia se utilizó una escala del tipo ordinal (“*Ranking*”) normalizada. Las respuestas fueron agrupadas según el “segmento de mercado” de cada encuestado y de esta forma se obtuvieron los coeficientes de

ponderación para cada segmento según la Tabla 3 (Falavigna, 2009).

**Tabla 3:** Coeficientes de Ponderación por segmento de mercado (Pgi).

Segmento de Mercado	Cuadras Caminadas	Tiempo de Espera	Tiempo de Viaje	Comodidad	Suma
S1	0,16	0,33	0,25	0,26	1,00
S2	0,18	0,37	0,24	0,21	1,00
S3	0,12	0,33	0,24	0,31	1,00
S4	0,15	0,35	0,25	0,25	1,00
S5	0,17	0,34	0,23	0,26	1,00
S6	0,12	0,37	0,23	0,28	1,00
S7	0,16	0,33	0,26	0,25	1,00
S8	0,15	0,36	0,23	0,26	1,00
S9	0,15	0,33	0,23	0,29	1,00

#### 4.2. Etapa de aplicación

Se plantea como ejemplo la comparación de los servicios A4 y A6, ambos con recorridos barriales por sector Noroeste de la ciudad de Córdoba. El esquema con los recorridos y las áreas de influencia de cada uno puede observarse en la Figura 4.

1) **Características de las Líneas a Evaluar y estimación de indicadores de desempeño:** lo primero es definir los datos operativos de cada servicio a evaluar y asignar el valor de cada uno de los indicadores según se detalla en la Tabla 4. En el caso de Córdoba se asume como hipótesis que la cantidad de pasajeros a bordo del vehículo aumenta a medida que el mismo se acerca al área central y que la predisposición a caminar hasta la parada disminuye según el nivel socioeconómico del usuario, los valores asumidos son resultado de la encuesta aplicada en Córdoba (Falavigna, 2009).

**Tabla 4:** Características operativas de los servicios A4 y A6.

Variable		Indicador	A6	A4
Tiempo de Espera		Intervalo Programado [min]	11,00	16,00
		Desviación Estandar estimada [min]	3,20	9,90
		CV	0,29	0,62
		Tiempo Espera Real Estimado [min]	5,97	11,06
		<b>Tiempo de Espera Percibido [min]</b>	<b>16,67</b>	<b>23,24</b>
Tiempo de Viaje	USUARIOS TVIAJE<25min	Velocidad Operación [Km/h]	14,00	14,00
		Longitud tramo recorrido [Km]	7,10	6,30
		<b>Tiempo de Viaje estimado [min]</b>	<b>15,21</b>	<b>13,50</b>
	USUARIOS TVIAJE25-35min	Velocidad Operación [Km/h]	20,10	20,10
		Longitud tramo recorrido [Km]	8,60	9,10
		<b>Tiempo de Viaje estimado [min]</b>	<b>32,67</b>	<b>31,18</b>
	USUARIOS TVIAJE>35min	Velocidad Operación [Km/h]	20,10	20,10
		Longitud tramo recorrido [Km]	NO SUPERA ISOCRONA DE 35 MINUTOS	
		<b>Tiempo de Viaje estimado [min]</b>	NO SUPERA ISOCRONA DE 35 MINUTOS	
<b>Hipótesis de Carga en Vehículo según tramo recorrido</b>				
Comodidad	USUARIOS TVIAJE<25min	<b>Tasa pasajeros/asiento estimada</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>
	USUARIOS TVIAJE25-35min	<b>Tasa pasajeros/asiento estimada</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>
	USUARIOS TVIAJE>35min	<b>Tasa pasajeros/asiento estimada</b>	NO SUPERA ISOCRONA DE 35 MINUTOS	
Cuadras Caminadas	NIV SOCIOECON. "BAJO"	<b>Distancia Caminata considerada [m]</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
	NIV SOCIOECON. "MEDIO"	<b>Distancia Caminata considerada [m]</b>	<b>250</b>	<b>250</b>
	NIV SOCIOECON. "ALTO"	<b>Distancia Caminata considerada [m]</b>	<b>200</b>	<b>200</b>

2) **Características de cada Subzona:** se determina el área de influencia de los servicios analizados y especificar las subzonas que permitirán identificar cuáles son los segmentos de mercados incluidos en el análisis. En la Figura 4 se detalla las zonas base (en gris), las subzonas identificadas con letras, y los datos sobre los segmentos de mercado, el área de influencia y la población afectada. De esta forma se observa que a cada subzona le corresponde un valor medio de densidad de habitantes y un segmento de mercado.

3) **Valoración Cualitativa (NSi) mediante Escalas Niveles de Servicio:** con los valores de los indicadores se procede a calcular los Niveles de Servicio con las ecuaciones 6,7,8 y 9.

4) **Calculo IAC<sub>GU</sub>:** utilizando los valores de ponderación (Pgi) correspondiente a cada grupo de mercado según Tabla 4, se calcula mediante la ecuación 3 el Indicador de Accesibilidad y Conveniencia para aquellos Grupos de Usuarios (IAC<sub>GU</sub>) que se encuentran dentro de la influencia del corredor según se muestra en Tabla 5:

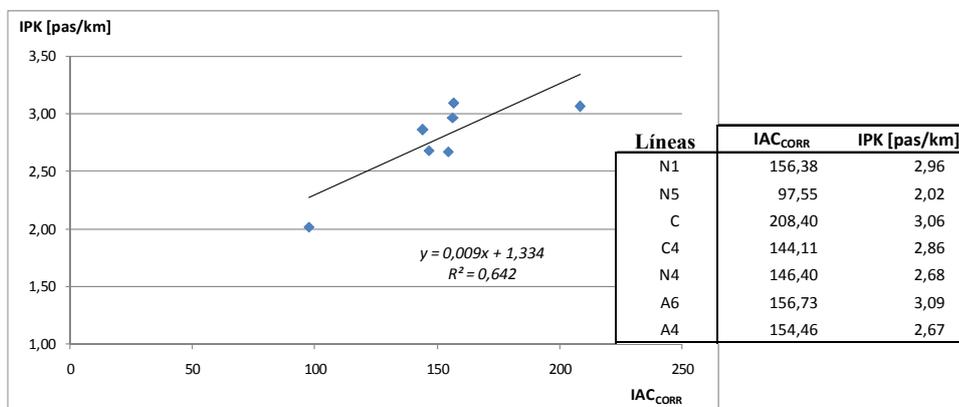
**Tabla 5:** Factores de ponderación y IAC<sub>GU</sub> para cada segmento. Líneas A6 y A4.

Segmento de Mercado	Coeficientes de Ponderación (Pgi)				IAC <sub>GU</sub>	
	Cuadras Caminadas	Tiempo de Espera	Tiempo de Viaje	Comodidad	Suma A6	Suma A4
S2	0,18	0,37	0,24	0,21	2,68	2,34
S3	0,12	0,33	0,23	0,31	2,41	2,14
S5	0,17	0,34	0,23	0,26	2,67	2,36
S6	0,12	0,37	0,23	0,28	2,46	2,14
S8	0,15	0,36	0,23	0,25	2,66	2,33
S9	0,15	0,33	0,23	0,29	2,53	2,25

5) **Calculo IAC<sub>CORR</sub>** : con los datos de densidad y superficie de cada subzona y la longitud de los tramos evaluados en cada servicio y el área de influencia se calcula el IAC<sub>CORR</sub> para cada corredor según ecuación 4. Los resultados para este ejemplo pueden observarse en la Figura 4, se observa que el servicio A6 el que presenta valores mayores de IAC<sub>CORR</sub> pues tiene características operacionales favorables.

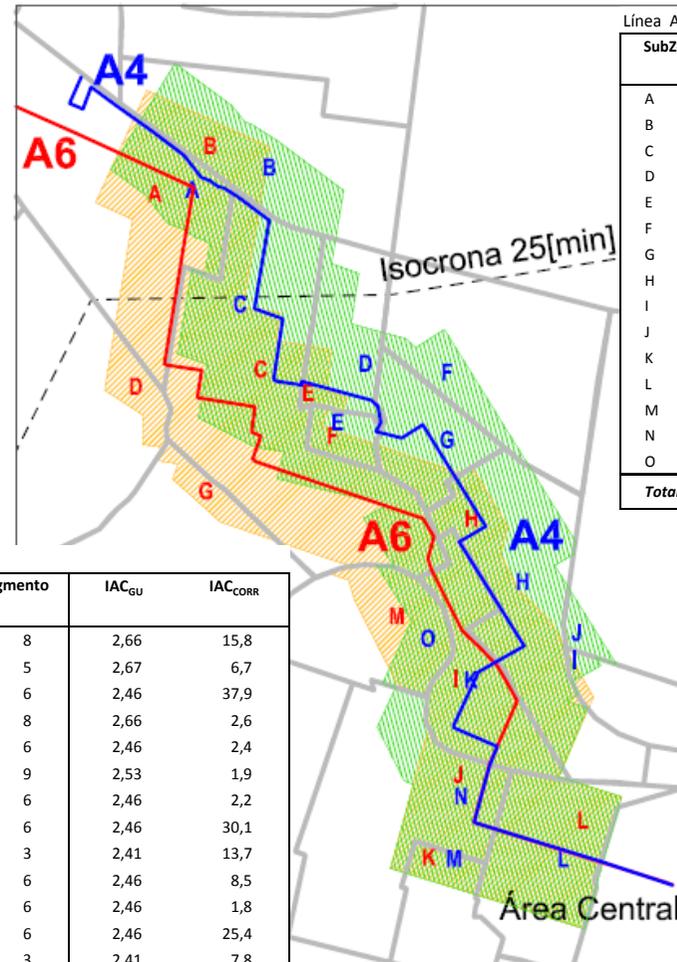
### 5. RELACIÓN ENTRE EL IAC<sub>CORR</sub> Y EL ÍNDICE PASAJERO-KILÓMETRO

A los fines de verificar si existe relación estadística entre el indicador (IAC<sub>CORR</sub>) y el índice Pasajero-Kilómetro (IPK) se ha planteado una regresión lineal con los valores obtenidos para siete corredores urbanos de la ciudad de Córdoba y los resultados muestran un ajuste aceptable  $R^2=0,64$  y una correlación estadísticamente importante  $t=3,30$ .



**Figura 3.** Relación entre IAC<sub>CORR</sub> y IPK

Longitud de Tramo A4: 9,10Km  
 Longitud de Tramo A6: 8,60Km



Línea A4 Longitud de Tramo: 9,10 Km

SubZona	Área [Hectáreas]	Densidad [Hab/Hect]	Población afectada [Hab]	Segmento	IAC <sub>GU</sub>	IAC <sub>CORR</sub>
A	50,2	50,4	2527	8	2,33	6,5
B	76,8	67,8	5208	5	2,36	13,5
C	176,3	59,0	10407	6	2,14	24,5
D	47,4	89,1	4226	6	2,14	10,0
E	17,9	56,9	1016	9	2,25	2,5
F	27,2	63,9	1737	6	2,14	4,1
G	56,5	108,3	6121	6	2,14	14,4
H	116,0	107,0	12410	6	2,14	29,2
I	5,5	75,7	417	9	2,25	1,0
J	8,7	73,9	643	6	2,14	1,5
K	79,2	61,9	4897	3	2,14	11,5
L	80,9	109,6	8874	6	2,14	20,9
M	13,0	48,4	629	6	2,14	1,5
N	66,7	59,4	3964	6	2,14	9,3
O	28,4	60,0	1706	3	2,14	4,0
<b>Totales</b>	<b>850,6</b>	<b>76,2</b>	<b>64780</b>		<b>2,17</b>	<b>154,5</b>

Línea A6 Longitud de Tramo: 8,60 Km

SubZona	Área [Hectáreas]	Densidad [Hab/Hect]	Población afectada [Hab]	Segmento	IAC <sub>GU</sub>	IAC <sub>CORR</sub>
A	101,6	50,4	5117	8	2,66	15,8
B	31,8	67,8	2157	5	2,67	6,7
C	223,9	59,0	13217	6	2,46	37,9
D	19,5	43,4	844	8	2,66	2,6
E	9,4	89,1	834	6	2,46	2,4
F	11,2	56,9	637	9	2,53	1,9
G	15,4	49,3	762	6	2,46	2,2
H	98,1	107,0	10494	6	2,46	30,1
I	79,2	61,9	4898	3	2,41	13,7
J	50,1	59,4	2980	6	2,46	8,5
K	12,8	48,4	622	6	2,46	1,8
L	80,9	109,6	8875	6	2,46	25,4
M	46,2	60,0	2774	3	2,41	7,8
<b>Totales</b>	<b>780,1</b>	<b>69,5</b>	<b>54210</b>		<b>2,49</b>	<b>156,7</b>

Figura 4: Áreas de influencia, subzonas y valor de IAC<sub>CORR</sub> correspondiente a las líneas A6 y A4 de la Ciudad de Córdoba.

## 6. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

A los fines de evaluar cómo influye la longitud del recorrido y la densidad de las zonas por donde circulan los servicios prueba la sensibilidad del  $IAC_{CORR}$  al modificar la extensión del recorrido en zonas con baja y alta densidad las Tablas 6 y 7 permiten resumir esta situación para la línea A6.

**Tabla 6:** Valores de  $IAC_{CORR}$  para variaciones de la Longitud de Recorrido en zonas de baja densidad (50[hab/hect]). Línea A6.

LONGITUD		Variación Porcentual %	Población afectada		$IAC_{GU}$		$IAC_{CORR}$	
A4 [km]	A6 [km]		A4 [hab]	A6 [hab]	A4	A6	A4	A6
9,10	<b>8,60</b>	<b>0,0%</b>	64780	<b>54210</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>157,20</b>
9,10	<b>8,69</b>	<b>1,0%</b>	64780	<b>54556</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>156,68</b>
9,10	<b>8,77</b>	<b>2,0%</b>	64780	<b>54903</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>156,17</b>
9,10	<b>8,94</b>	<b>4,0%</b>	64780	<b>55596</b>	2,18	<b>2,50</b>	154,95	<b>155,18</b>
9,10	<b>9,03</b>	<b>5,0%</b>	64780	<b>55942</b>	2,18	<b>2,50</b>	154,95	<b>154,70</b>

**Tabla 7:** Valores de  $IAC_{CORR}$  para variaciones de la Longitud de Recorrido en zonas de alta densidad (80[hab/hect]). Línea A6.

LONGITUD		Variación Porcentual %	Población afectada		$IAC_{GU}$		$IAC_{CORR}$	
A4 [km]	A6 [km]		A4 [hab]	A6 [hab]	A4	A6	A4	A6
9,10	<b>8,60</b>	<b>0,0%</b>	64780	<b>54210</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>156,72</b>
9,10	<b>8,69</b>	<b>1,0%</b>	64780	<b>54823</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>157,36</b>
9,10	<b>8,77</b>	<b>2,0%</b>	64780	<b>55436</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>157,53</b>
9,10	<b>9,03</b>	<b>5,0%</b>	64780	<b>57275</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>158,00</b>
9,10	<b>9,46</b>	<b>10,0%</b>	64780	<b>60341</b>	2,18	<b>2,49</b>	154,95	<b>158,73</b>

Se observa que en caso de zonas de menor densidad el  $IAC_{CORR}$  disminuye al prolongar el recorrido, en tanto que en zonas de alta densidad de población el valor del indicador aumenta, lo cuál muestra la consistencia del indicador.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo resume el desarrollo de un indicador de accesibilidad y conveniencia para corredores de transporte público de pasajeros que pretende evaluar la capacidad de atraer usuarios en base a la segmentación por nivel socioeconómico de la demanda y considerando la percepción que cada uno de estos segmentos tiene respecto de las variables del servicio. Se muestra una aplicación al caso de la ciudad de Córdoba con resultados obtenidos de una encuesta cualitativa aplicada a 292 usuarios del servicio de transporte urbano.

El análisis de sensibilidad muestra que el indicador ( $IAC_{CORR}$ ) resulta consistente pues disminuye su valor a medida que se incrementa la longitud de recorrido en zonas de baja densidad de población, es decir, “penaliza” la extensión por zonas poco pobladas (Tabla6) y “favorece” la circulación por zonas con elevada densidad de población (Tabla 7). Este escenario representa una solución de compromiso (“trade off”) entre extender el servicio a posibles zonas de mayor densidad, a los fines de ofrecer un servicio más accesible e incrementando el área de influencia para algunos usuarios, o bien reducir la longitud del trazado, mejorando el tiempo de viaje y el nivel de servicio para otros usuarios. Al reflejar en forma directa la percepción de los usuarios, el indicador mide la “atractividad” de pasajeros y el grado de autosustentabilidad de la ruta a servir, lo que queda evidenciado en la correlación estadística existente entre el  $IAC_{CORR}$  y el índice pasajero-kilómetro (IPK) en la Figura 3.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Currie, G. (2004) Gap Analysis of Public Transport Needs: Measuring Spatial Distribution of Public Transport Needs and Identifying Gaps in the Quality of Public Transport Provision. *Journal of the Transportation Research Board*, n. 1895, pp. 137–146. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Currie, G. (2010) Quantifying spatial gaps in public transport supply based on social needs. *Journal of Transport Geography* n. 18, p31–41. Elsevier.
- Daskalakis, N. G. e Stathopoulos, A. (2008). Users' Perceptive Evaluation of Bus Arrival Time Deviations in Stochastic Networks. *Journal of Public Transportation*, v. 11, n. 4 p25-40
- EMTU. (2005) *IQT – Índice de Qualidade do Transporte: uma ferramenta na gestao do transporte na Regiao Metropolitana de São Paulo*. Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo, Brasil.
- Falavigna, C. (2009) *Metodología para cuantificar accesibilidad y conveniencia de un sistema de transporte público masivo de pasajeros: aplicación al caso de la ciudad de Córdoba*. Tesis de Maestría en Ciencias de Ingeniería – Mención en Transporte. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fielding, G. J.; Babitsky, T. L.; Brenner, M. E. (1983) *Performance Evaluation for Fixed-Routed Transit: the Key to Quick, Efficient and Inexpensive Analysis*. Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine. USA
- Galarraga, J.; Herz, M.; Depiante, V. (2005) Análisis de velocidad del transporte público en calles urbanas. *Anales del XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito*, Buenos Aires, Argentina
- Herz, M.; Galarraga, J.; Falavigna, C. (2009a); Caracterización de atributos de calidad de servicio percibida en líneas de ómnibus: tiempos de espera. *Anales de XV Congreso Latinoamericano Transporte Público y Urbano (CLATPU)*, Buenos Aires, Argentina.
- Herz, M.; Galarraga, J.; Falavigna, C. (2009b). Modelo de tiempo de espera percibido en servicios de ómnibus urbanos. *Anales del XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET)*, Vitória-ES, Brasil.
- Hess, D. B.; Brown, J.; Shoup, D. (2004) Waiting for the Bus. *Journal of Public Transportation*, v. 7, n. 4, p.67-84.
- Larson, R.C. e Odoni, A. R. (1981) *Urban operations research*. Ed. Prentice Hall, N.J., USA.
- Manheim, M. L. (1979) *Fundamentals of Transportation Systems Analysis. Volume 1: Basic Concepts* MIT Press. Massachusetts, USA;
- MFE. (2006) *Manual de Apoyo para la implantación de la Gestión de la Calidad según Norma UNE-EN13816 en Empresas de Transporte de Viajeros por Carretera*. Ministerio de Fomento de España, España.
- Mishalani, R. G.; McCord, M. M.; Wirtz, J. (2006) Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stops: Empirical Results and Impact on Evaluating Real-Time Bus Arrival Information. *Journal of Public Transportation*, v. 9, n. 2, p.
- Stradling, S.; Anable, J.; Carreno, M. (2007) Performance, importance and user disgruntlement: a six-step method for measuring satisfaction with travel modes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. v. 41, n. 1, p. 98–106.
- Taylor, B. D.; Iseki, H.; Miller, M. A.; Smart, M. (2009). Thinking Outside the Bus: Understanding User Perceptions of Waiting and Transferring in Order to Increase Transit Use. *California Partners For Advanced Transit And Highways (PATH)*, Research Report, January 2009, USA
- TRB (1999). *TCRP Report 47A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality*. Transportation Research Board, Washington D.C., USA
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board. Washington D.C, USA.
- TRB (2003) *TCRP Report 100: Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Transportation Research Board Second Edition. Washington, D.C, USA.
- Vasconcellos, E. (2001) *Urban Transport, environment and equity: The case for developing countries*. Ed. Earthscan. Primeira edição. ISBN 1 85383 727 1, UK.

---

Claudio Falavigna (claudio.falavigna@gmail.com)

Marcelo Herz (mherz@efn.uncor.edu)

Jorge Galarraga (jorgala@efn.uncor.edu)

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.