

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: **Maximiliano Roca** (AC&A - mroca@acya.com.ar), **Gabriela Lucchini** (AC&A - glucchini@acya.com.ar), **Roberto Agosta** (UCA - ragosta@uca.edu.ar), **Frederick Blas** (AC&A - fblas@acya.com.ar), **Bruno Agosta** (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

TRABAJO FINAL

Objetivos

La evaluación de redes de transporte público es un proceso complejo en que se deben tener en cuenta diferentes aspectos que son difícilmente cuantificables en una evaluación económica tradicional. Esto se debe a que los sistemas de transporte público inciden globalmente sobre un ámbito urbano que van desde variables específicamente vinculadas al transporte (modificación en los tiempos de viaje) como a aspectos ambientales, urbanísticos, de calidad de vida e incluso de orden político. Esta importancia de la infraestructura de transporte público como delineadora de ciudades hace que la evaluación de las redes alternativas requiera un análisis profundo.

El presente trabajo desarrolló una metodología de análisis multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público para la Ciudad de Buenos Aires, que se complementa con el desarrollo de una metodología de consulta a la ciudadanía para establecer los pesos relativos para la ponderación de las variables. Esta combinación innovadora buscó reflejar los lineamientos del Plan Urbano Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires (PUA), que es el documento principal de las políticas públicas urbanísticas de la ciudad.

Al momento de evaluar las alternativas de transporte público se presenta una situación que evidencia la limitación de las evaluaciones económicas básicas tradicionales: supongamos un análisis comparativo entre una línea de metro subterránea y otra elevada. Supongamos que ambas tienen la misma capacidad operativa de transporte y generan un

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales
ahorro en los tiempos de viaje equivalente. Una evaluación económica tradicional podría no evidenciar las diferencias entre estas dos alternativas, mientras que en términos urbanísticos para la ciudad y en especial para los vecinos sobre la traza, ambas opciones generan un impacto totalmente diferente. Ante esta dificultad, existen algunas soluciones posibles: avanzar con una evaluación económica integral que incluya por ejemplo una cuantificación en la mejora en la calidad de vida sobre la traza ó proponer una evaluación de criterios múltiples que incluya variables que tengan en cuenta los objetivos buscados por la ciudadanía. Este trabajo se centró en esta última solución, proponiendo una metodología adaptada a la Ciudad de Buenos Aires que buscar medir la efectividad de cada alternativa evaluada en términos de los objetivos del PUA.

Desarrollo

Conceptualmente, la metodología multicriterio desarrollada se basa en medir determinadas variables de cada una de las alternativas para luego ponderarlas según el nivel de interés de la ciudadanía y así estimar la eficiencia de cada una. Este método innovador propone aislar una de las críticas tradicionales hacia este tipo de métodos: la subjetividad en la asignación de los pesos de cada variable.

En particular en el presente trabajo se tomó el PUA de la ciudad que presenta 177 acciones agrupadas en 38 ejes de acción, de los cuales se preseleccionaron 27 acciones pertinentes al transporte urbano, que resultaron en 7 objetivos generales sobre las que debían compararse cada alternativa de red.

Sobre estos 7 objetivos generales, se procedió a realizar encuestas a ciudadanos de la CABA para consultarles acerca de su preferencia. La consulta se realizó a través de un software desarrollado ad-hoc en el que cada ciudadano se enfrentaba a comparaciones apareadas entre dos objetivos y que debía evaluar su nivel de preferencia (Figura 1). En total cada encuestado debía responder 21 pares de comparaciones y al final, el mismo programa evaluaba si existían incongruencias lógicas entre las elecciones (por ejemplo si el usuario había elegido A sobre B y luego B sobre C, el software verificaba que hubiera preferido A sobre C y no a la inversa).

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

Los siguientes fueron los objetivos generales surgidos del PUA:

1. Mejora de la movilidad interna del Área Central
2. Mejora en la conexión entre el área central y la zona intermodal de Retiro-Puerto Nuevo
3. Mejora en la conexión entre los centros urbanos de alta densidad y el Área Central
4. Permitir en el futuro conexiones entre el Área Central y los centros urbanos del sur
5. Mejorar la cobertura del Transporte Público en hospitales, escuelas, universidades, oficinas públicas y otros establecimientos de uso masivo.
6. Mejorar la eficiencia y la calidad de la movilidad en la ciudad
7. Mejorar la calidad del ambiente

A su vez, se desarrolló una desagregación técnica de estos 7 objetivos generales en dos etapas: primero en 17 categorías y luego en 43 subcategorías. A cada una de estas se le asignó una de las 25 métricas definidas. En este punto entonces, se definieron las métricas objetivas que debían ser cuantificadas para cada una de las alternativas. Una vez obtenidas, se propuso un esquema de normalización, para resolver el problema de las unidades de cada una de las métricas. Esta normalización incluyó simplemente una transformación lineal entre el valor mínimo y el máximo para que resulten finalmente comparables entre sí. Resultaba entonces directo la concreción de la metodología: por un lado con la definición de las métricas objetivas a medir para cada alternativa y por el otro los pesos relativos de cada objetivo definidos por las encuestas a los ciudadanos. La combinación de ambos inputs dieron la posibilidad de calcular lo que se denominó la eficiencia de cada alternativa como la medida objetiva del cumplimiento de cada una con el PUA, que en definitiva serían los objetivos de la ciudadanía en su conjunto.

La siguiente etapa de la metodología incluyó la vinculación de esta efectividad en el cumplimiento de los objetivos con los costos que demanda cada una de estas redes alternativas. Relacionando entonces estos dos valores, se definió la Eficiencia de cada alternativa como el grado de cumplimiento de los objetivos del PUA por cada peso invertido en la red evaluada, midiendo entonces cuán eficiente era.

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

El marco teórico

La realización de Análisis Multi-Criterio admite diferentes enfoques y metodologías. En este caso, se implementó la metodología descrita en FIGUEIRA, SALVATORE, EHRGOTT (2005), cuyo modelo está apoyado en la Teoría de la Utilidad Multi-Atributo. Más precisamente, se empleó un modelo de funciones de preferencia multi-atributo medibles admitiendo además la simplificación de que las utilidades son aditivas descritas en el capítulo 7 de la mencionada bibliografía.

Por su parte, la ponderación de los atributos se realiza por el procedimiento de jerarquización analítica, metodología desarrollada por el Prof. Thomas Saaty en el capítulo 9, también de esa bibliografía.

El modelo propone que la alternativa “a” es más eficaz que la alternativa “b” si la el puntaje obtenido por la alternativa “a” es mayor que el obtenido por “b”:

$$a > b \Leftrightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot u_j(a_j) > \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot u_j(b_j)$$

Donde:

j: es el atributo o criterio analizado;

n: es la cantidad de criterios;

a, b: son las alternativas a y b. En el estudio, serán las redes analizadas, por ejemplo la de la Ley 670, la PETERS-1, la PETERS-2 o la PETERS-3;

a_j: es el desempeño de la red a para el criterio j. Por ejemplo, en algún caso podrá ser la cantidad de pasajeros en el subte para la red a;

a_j: es el desempeño de la red a para el criterio j. Por ejemplo, en algún caso podrá ser la cantidad de pasajeros en el subte para la red a;

u_j(x): es la función de normalización aplicada para el criterio j. Otorga un puntaje entre un valor de - 100% y + 100% para la alternativa analizada x. La normalización depende también del desempeño de las otras alternativas analizadas.

λ_j: es la ponderación que corresponde al criterio j. Es un valor entre 0% y 100% tal que la suma de todos los λ_j da 100%.

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

Respecto a la normalización, se desarrolló un mecanismo que permite que el puntaje obtenido por cada alternativa y para cada criterio quede expresado por un valor contenido entre -100% y 100%.

La normalización sirvió, entre otras cosas, para que un exceso de puntos en un criterio no compense una falta en otros. La fórmula empleada para la normalización fue:

$$u_j(a_j) = \frac{a_j - A0_j}{Mejor(a_j, b_j, c_j, A0_j) - Peor(a_j, b_j, c_j, A0_j)}$$

Donde:

$u_j(a_j)$: es la función de normalización aplicada para el criterio j de la red a ;

$A0_j$: es desempeño de la red $A0$ para el criterio j ;

$a_j, b_j, c_j, A0_j$: es el desempeño de las redes a, b, c o $A0$ para el criterio j ;

$Mejor(a_j, b_j, c_j, A0_j)$: es la medición que obtiene el máximo puntaje (100%). En los casos en que el indicador es creciente (el mejor puntaje es para la que obtiene el mayor valor en la medición) será el máximo de los valores considerados. Pero hay casos en los que el indicador es decreciente (el mejor es el menor), como por ejemplo para la cantidad de pasajeros rechazados. En esos casos el mejor será el menor de los valores.

$Peor(a_j, b_j, c_j, A0_j)$: es la medición que obtiene el pésimo puntaje (0%). En los casos en que el indicador es creciente (el peor puntaje es para el menor) será el mínimo de los valores considerados. Pero hay casos en los que el indicador es decreciente (el peor es el mayor). En esos casos el peor será el mayor de los valores. Adicionalmente, si el que obtiene el máximo puntaje es $A0$, quién por definición obtiene 0%, entonces el peor% pasa a ser - 100%.

La Alternativa 0

Un punto interesante de este análisis que fue diferente a lo previsto originalmente, fue la necesidad de desarrollar una nueva línea base para la comparación de las alternativas, que no era exactamente la alternativa “no hacer nada”. Esta alternativa a la que se denominó “Alternativa 0” se la definió como aquella que incluía las inversiones necesarias para el uso racional y eficiente de la red actual.

La importancia de la definición de esta alternativa de base era hacer una comparación que excluya del análisis marginal las obras que se deben hacer en la red actual bajo cualquier alternativa.

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

Esta alternativa incorporaba todas las secciones que estaban en construcción, en proceso de licitación, o con un alto grado de compromiso al momento de hacer el análisis, de forma que fuera prudente considerarlas como existentes al momento del estudio. Esquemáticamente, esta alternativa agregaba a la red existente los siguientes elementos:

- Extensión de la Línea A de Nazca;
- Extensión de la Línea B de Villa Urquiza;
- Ampliación de la línea E a Retiro;
- Ampliación de la línea H de Pueyrredón y Las Heras, por un lado, y para Saenz, por el otro.

Al mismo tiempo, esta alternativa incluía las inversiones que se necesitan para hacer que la red actual eficiente y conceptualmente representa el déficit de inversiones acumuladas. Estas inversiones incluían mejoras en las instalaciones de transferencia, compra de material rodante, actualización del sistema de señalización; todas buscando aumentar la capacidad del sistema en general.

Las inversiones definidas en la "Alternativa 0" fueron muy interesantes desde un punto de vista técnico y operativo, ya que resultar ofrecer altas prestaciones con bajos costos al hacer más eficiente la infraestructura actual.

Conclusiones

El proceso de desarrollo para el diseño de alternativas de redes de transporte público es complejo por la diversidad de objetivos que debe satisfacer y a la vez muchas veces el cumplimiento de los objetivos de la ciudadanía son difícilmente medibles. Este trabajo logró desarrollar una metodología para lograr esa comparación con un método analítico objetivo y fundamentando los pesos de los objetivos mediante encuestas ciudadanas, intentando acotar la subjetividad del método Multicriterio tradicional.

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

“Copyright ©2014 “Maximiliano Roca, Gabriela Lucchini, Roberto Agosta, Frederick Blas, Bruno Agosta”: El autor delega al CAI la licencia para reproducir este documento para los fines del Congreso ya sea que este artículo se publique de forma completa, abreviada o editada en la página web del congreso, en un CD/ DVD o en un documento impreso de los trabajos de INGENIERÍA 2014 Latinoamérica y Caribe.

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

Figuras

Algoritmo de ponderación por análisis jerárquico AHP

Priorización
Página 1 de 6

1. Que sea más fácil viajar en subte dentro del Área Central de la Ciudad.

2. Que sea posible viajar en subte desde la Terminal de Ómnibus de Retiro y de los tribunales de Comodoro Py hasta el Área Central.

3. Que sea posible viajar en subte desde los lugares más densamente poblados de la ciudad hacia el Área Central y viceversa.

Figura 1 Ejemplo del formulario digital del método AHP (Fuente: PETERS)

Nivel	Descripción	Cantidad de criterios	Ponderación
Político	Es el más importante. Contiene los objetivos generales que se pertenecen a la esfera de lo político, estratégico y a las políticas de estado. Por ejemplo, responde a la pregunta: ¿Qué es más importante: la vinculación interna del área central o brindar mayor cobertura a escuelas y universidades?	7	Ponderación AHP con ciudadanos
Técnico 1	Desagrega los objetivos generales para asegurar una inteligencia en la afectación de recursos. Por ejemplo, responde a la pregunta : Siendo que hay que servir a escuelas y universidades, ¿Son equivalentes desde el punto de vista del transporte? ¿Cuál genera más viajes? ¿Cuál es más crítico para el sistema TCP?	17	Cálculo
Técnico 2	Define las acciones a evaluar para el cumplimiento de los objetivos y las métricas a emplear. Por ejemplo, responde a la pregunta: ¿Qué es servir a una universidad? ¿es tener estaciones de Subte a distancia peatonal o a un bus de distancia? ¿cuál es la distancia peatonal?	46	Criterio técnico

Fuente: Elaboración Propia

Figura 2 La estructura de criterios

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

Objetivos ordenados por valoración decreciente	Valoración	Valoración acumulada
6. Que los viajes en subte puedan realizarse más fácil y cómodamente y que haya más posibilidades de combinaciones entre las líneas de subte y también con los colectivos y los trenes	25%	25%
7. Que haya menos accidentes, menos contaminación y menos congestión vehicular.	22%	47%
5. Que el subte tenga una mayor cobertura de escuelas, universidades, hospitales, oficinas públicas, terminales de transporte de pasajeros de larga distancia, y demás establecimientos de uso masivo de la Ciudad.	19%	66%
3. Que sea posible viajar en subte desde los lugares más densamente poblados de la ciudad hacia el Área Central y viceversa.	15%	81%
4. Que en un futuro sea posible prolongar las líneas de subte hacia los partidos cercanos del sur como Avellaneda.	9%	90%
1. Que sea más fácil viajar en subte dentro del Área Central de la Ciudad.	5%	95%
2. Que sea posible viajar en subte desde la Terminal de Ómnibus de Retiro y de los tribunales de Comodoro Py hasta el Área Central.	5%	100%

Fuente: Elaboración Propia en base a encuesta AHP a 30 ciudadanos.

Figura 3 Resultado de la ponderación, agregada por familia de objetivos

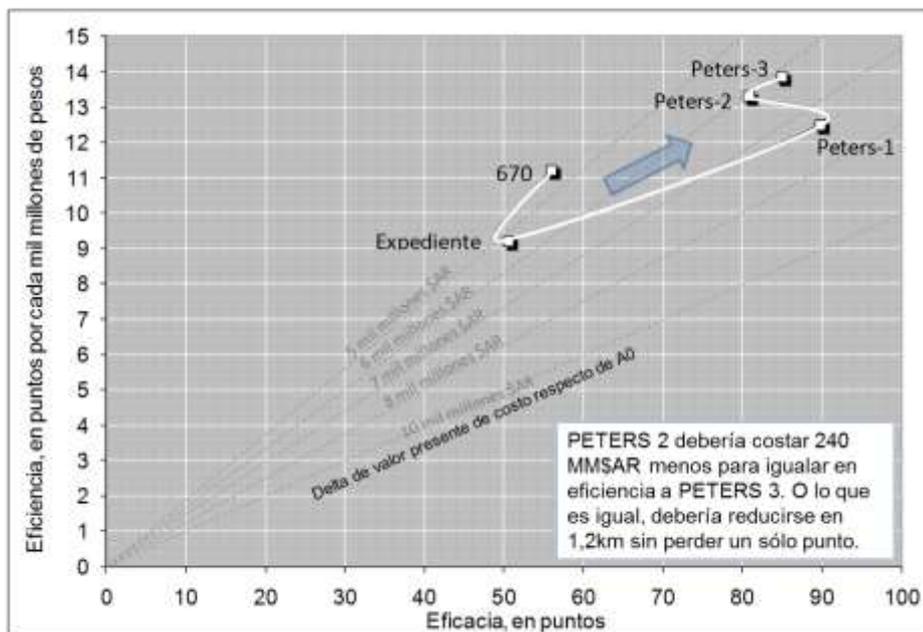


Figura 4 Resultados de la evaluación multicriterio en dos dimensiones: Eficiencia y Eficacia

Nombre del trabajo: Desarrollo de una metodología multicriterio para la evaluación de alternativas de redes de transporte público incorporando la opinión ciudadana

Autores: Maximiliano Roca (AC&A - mroca@acya.com.ar), Gabriela Lucchini (AC&A - glucchini@acya.com.ar), Roberto Agosta (UCA - ragosta@uca.edu.ar), Frederick Blas (AC&A - fblas@acya.com.ar), Bruno Agosta (Massachusetts Institute of Technology - bagosta@mit.edu)

Área Temática: Sostenibilidad de los territorios urbanos y rurales

Bibliografía

nombre del autor, año, título del trabajo, lugar de edición, editorial, edición y página.

- FIGUEIRA, José, SALVATORE, Greco, EHRGOTT, Matthias (2005), “Multiple Criteria Decision Analysis”, State of the Art Surveys, Estados Unidos, 1045 páginas.
- Agosta, Roberto (2000), “Evaluación Multicriterio de Planes y Proyectos, Notas para su aplicación al plan Trienal de Transporte en la República Dominicana”, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Planeamiento del Transporte, 6 páginas.