

# **Propuesta y Análisis de Criterios para la Integración del Sistema de Transporte Público con el Uso de Bicicletas**

**Vânia Barcellos Gouvêa Campos**

Profesora Asociada, Instituto Militar de Engenharia, Brasil

**Mariana de Paiva**

Estudiante de Doctorado, Universidade de Brasília, Brasil

## **RESUMO**

En este trabajo se proponen criterios de decisión y relevancia para los usuarios de bicicletas como auxilio para la toma de decisión sobre la selección de un local para la implantación de un aparcamiento de bicicletas integrado al transporte público. Para eso, son presentados un procedimiento de análisis y la composición de un índice que permitirá jerarquizar las opciones para el local de implantación desde el punto de vista del usuario.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La integración de sistemas de transportes es considerada una de las formas de promover un aumento de la movilidad urbana, pues, en algunos casos, aumenta las posibilidades de movimiento, reduce los costos y puede mejorar los problemas de circulación en las vías urbanas. Desde el enfoque de la sustentabilidad, esta integración se torna más importante cuando incentiva el uso de la bicicleta integrado al sistema de transporte público. Esto reduce el flujo de vehículos en áreas de tráfico intenso y promueve el uso del transporte público, menos contaminante, además de económico y socialmente más sustentable.

La integración de la bicicleta con un sistema de transporte público se realiza a través de la implantación de aparcamientos cercanos a las paradas, estaciones o terminales de transporte. “*Bike and ride*” se refiere a la combinación del uso de la bicicleta con el transporte público en un mismo viaje. La utilización de la bicicleta con los ómnibus, metros o trenes conlleva una serie de beneficios ambientales y sociales. Los beneficios ambientales están referidos a la disminución en el consumo de energía y de la contaminación sonora y atmosférica. La magnitud de esos beneficios dependerá del número de vehículos que serán sustituidos por el “*Bike and ride*” (MARTENS, 2004).

Para compensar los trastornos provenientes de la transferencia, los aparcamientos integrados deben ofrecer algún beneficio para los usuarios como: un servicio rápido, seguro, confortable, confiable, de buena calidad y una reducción de los gastos en transporte. Si el servicio no demuestra tener consistencia en los tiempos de viaje, de tal forma que represente claramente una buena opción, no será capaz de mantener el número de usuarios (MESQUITA, 1996).

Debido a la importancia de este tipo de integración, en este trabajo se procuró identificar algunos criterios de decisión y relevancia para el usuario de la bicicleta buscando auxiliar en la toma de decisión sobre la selección de un local para la implantación de un aparcamientos de bicicletas integrado al sistema de transporte público, tomando como base la existencia de un corredor de transporte de masa como metro, tren, barco u ómnibus que tengan como origen/destino áreas con una gran concentración de empleos y servicios, como las áreas centrales de grandes ciudades. Para esto, fueron seleccionados unos criterios basados en la observación de factores que influyen en la decisión de un usuario de bicicleta como, por ejemplo, el costo y el tiempo de viaje y la conveniencia de la misma. De este análisis, resultó un total de 11 (once) criterios.

Después de definidos, los criterios fueron sometidos a un proceso de evaluación con base en un método de análisis multicriterio que hizo posible la definición de pesos para cada uno. Esos pesos permiten inicialmente identificar el grado de importancia de cada criterio desde el punto de vista del usuario y ayudar en la selección de un local para la integración basado en un índice obtenido a partir de esos pesos y de los valores de cada criterio para cada alternativa de localización.

Para definir los criterios fueron analizadas las características físicas y operacionales de la integración de sistemas de transporte, haciendo énfasis en aquellas relacionadas con la bicicleta. Así, en la segunda sección de este trabajo, son propuestos los criterios y su forma de medición. En la tercera sección se presenta el proceso de análisis de estos y la propuesta del Índice del Usuario –IU- a ser usado como auxilio en la selección del local donde será implantado el aparcamiento de integración y en la cuarta sección es mostrada una aplicación del proceso de análisis de los criterios.

## **2. CRITERIOS PROPUESTOS**

A partir del análisis de las características de la integración y los aparcamientos fueron identificados diferentes parámetros que influyen en la decisión de los usuarios de bicicletas de realizar una integración con el sistema de transporte público, entre las cuáles se pueden mencionar: distancia de caminata, distancia de acceso, comodidad, seguridad, confiabilidad, tiempo de viaje, padrón de uso del suelo, índice de accidentes, flujo de vehículos, sistema de información, tiempo de trasbordo, costo de la transferencia, regularidad y frecuencia. Considerando este conjunto de parámetros, fueron propuestos 11 criterios para ser utilizados en la selección del local para implantación de aparcamientos de bicicletas integrados al transporte público. Estos criterios fueron divididos en dos grupos: transferencia y transporte público, como puede ser visto en la Tabla 1. Para una mejor comprensión de estos criterios, a continuación se presenta la forma de medirlos.

Usuarios	
Criterios	Subcriterios
Transferencia	Seguridad Tiempo de trasbordo Distancia de acceso Distancia de caminada Costo de transferencia
Transporte público	Frecuencia Tiempo de viaje Regularidad Seguridad en el sistema Sistema de informaciones Confort

**Tabla 1- Criterios de Análisis para Implantación de Aparcamiento de Bicicletas**

**Seguridad** – Se refiere al número de accidentes y crímenes registrados en el entorno de las estaciones o de los terminales en el intervalo de un mes.

**Tiempo de Traslado** – Se refiere al tiempo empleado, en minutos, para estacionar, caminar hasta el punto de embarque y aguardar.

**Distancia de Acceso** – Corresponde a la distancia a ser recorrida en bicicleta entre el origen del viaje (casa, escuela, trabajo, etc) y la estación de integración.

**Distancia de Caminada** – Se refiere a la distancia media, en metros, que los pasajeros tienen que recorrer desde el aparcamiento hasta la plataforma de embarque. Cuanto mayor es ese valor, menor será el deseo del pasajero de realizar la integración modal.

**Costo de Transferencia** – Equivale al dinero gastado con el transporte público (ómnibus, metro, tren, etc) y con el aparcamiento de bicicletas. En algunos lugares ese aparcamiento es gratuito y otros poseen tarifa integrada (transporte + aparcamiento).

**Frecuencia** – Este criterio se define por el número de vehículos que pasan por las estaciones o terminales en un determinado período de tiempo y será medido en vehículos/hora.

**Tiempo de viaje** – Corresponde al tiempo pasado, en minutos, en el interior de los vehículos

**Regularidad** – Está relacionada con la precisión con que se cumple el cuadro de horarios establecido por el servicio de transporte y es función de la frecuencia prevista y de la realizada. La regularidad, en por ciento, se calcula usando la Ecuación 1.

$$R = \frac{H_{previsto}}{H_{real}} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

$H_{previsto}$  es la frecuencia prevista y  $H_{real}$  es la frecuencia real

**Seguridad en el Sistema** – Está relacionada con el índice de criminalidad (agresiones, hurtos y robos) y accidentes dentro de los vehículos de transporte público y en las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros. Este parámetro puede ser evaluado como el índice de incidentes significativos que involucran la flota de vehículos por cada 100 mil kilómetros recorridos.

**Sistema de información** – Son considerados cinco ítems como informaciones disponibles para los usuarios: nombre y número de los vehículos, mapa de la línea, horario o intervalos entre vehículos, precio de los pasajes y locales de parada. En el caso que el transporte público cuente con todas las informaciones, esta opción recibe el valor cinco. En el caso de que existan apenas tres informaciones, esta opción recibirá el valor tres.

**Confort** – Está relacionado con la cantidad de pasajeros transportados por metro cuadrado en el transporte público.

### 3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DEL USUARIO

El procedimiento de análisis tiene como objetivo obtener un peso relativo de cada criterio para identificar la importancia relativa de cada uno dentro del conjunto de criterios, así como definir el Índice del Usuario –IU–, que permitirá jerarquizar las opciones de local para la implantación del aparcamiento integrado. Para eso, está basado en el Método de Análisis Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP). Este método fue propuesto por Thomas L. Saaty en la década del 70 y perfeccionado posteriormente por otros autores. En este método el problema es descompuesto en niveles jerárquicos (criterios y subcriterios) para facilitar la comprensión y evaluación.

Los criterios y subcriterios son características referidas a las opciones que serán analizadas, como, por ejemplo: seguridad, tiempo de trasbordo, distancia de acceso, tiempo de viaje, regularidad, costo de transferencia, seguridad en el sistema, etc.

Esos criterios y subcriterios son comparados dos a dos mediante una escala numérica, propuesta por Saaty, que varía de 1/9 a 9. Si dos criterios tienen la misma importancia, reciben el valor 1. En el caso que el criterio  $i$  sea mucho más importante que un criterio  $j$ ,

debe ser atribuido el valor 9 y si el criterio  $j$  fuese mucho menos importante que el criterio  $i$ , el valor a ser atribuido es  $1/9$ .

La comparación de los criterios tiene como resultado una matriz  $(A_{ij})$  que representa la importancia y la preferencia de un criterio en relación a otro, dada por cada evaluador. Siendo  $n$  el número de criterios que serán comparados,  $\lambda_{\text{máx}}$  el autovalor de  $A_{ij}$  e  $w$  el vector de prioridades, cuando los evaluadores son perfectamente consistentes  $\lambda_{\text{máx}} = n$  e  $A_{ij} = w_i/w_j$ .

Para la obtención de los pesos de cada criterio, después de evaluarlos todos y obtener la matriz de comparación, resulta necesario realizar la normalización de esa matriz, puesto que, en general, los valores dados a los criterios son muy diferentes. De esa forma, es necesario normalizar los valores de los criterios o indicadores utilizados en una escala única de valores. Esto se realiza dividiendo cada elemento de la matriz por la suma de los elementos de la columna a la que pertenece, usando la Ecuación 2.

$$\bar{w}_i(A_j) = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^n A_{ij}} \quad (2)$$

El autovalor  $\lambda_{\text{máx}}$  se obtiene a partir de la Ecuación 3:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (3)$$

Con frecuencia, los valores de  $A_{ij}$  estimados por los evaluadores son subjetivos. Por eso, puede haber diferencia entre los valores y las razones teóricas  $w_i/w_j$ . Así, siempre existirá algún grado de inconsistencia en los evaluadores humanos y, por tanto, redundará en matrices con cierto grado de inconsistencia. Cuando el número de criterios  $n$  es mayor que 2 es preciso verificar la proximidad entre  $\lambda_{\text{máx}}$  e  $n$ . Para eso, es empleada la Ecuación 4.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Donde:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (5)$$

IC: índice de consistencia

IR: índice randómico

RC: razón de consistencia

n: número de criterios u orden de matriz

El Índice Randómico varía en función del número de criterios (Tabla 2)

n° de criterios	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,75	1,59

**Tabla 2 - Tabla de Índice Randómico**

Fuente: (adaptado de SAATY, 1991)

Cuando  $n$  es igual a 2, la razón de consistencia (RC) es nula. Para  $n=3$ , RC debe ser menor que 0,05, para  $n=4$ , menor que 0,09. Para valores de  $n$  superiores que 4, la razón de consistencia RC debe ser inferior a 0,10.

Con las opciones de locales para la implantación de los aparcamientos, que pueden ser seleccionados por parámetros como existencia de área, cercanía de ciclovías, entre otros, y con los valores de los pesos obtenidos a través del análisis por los usuarios de las bicicletas es posible identificar la mejor opción para implantar los aparcamientos para integración con el transporte público desde el punto de vista de los usuarios. Esos pesos se obtiene de la media de los valores resultante del análisis de cada evaluador / usuario. Con los pesos se puede obtener el Índice del Usuario (IU), usando la Ecuación 6:

$$IU = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_c^j \times P_{sc}^i \times V_{sc}^i \quad (6)$$

Donde:

$c$  = criterio;

$sc$  = subcriterio;

$m$  = número de criterios;

$n$  = número de subcriterios;

$V_{sc}$  = valor de los subcriterios normalizados (en un intervalo de 0 a 1);

$P$  = peso dos criterios y subcriterios.

Los valores ( $V_{sc}$ ) de cada critério son definidos para cada opción de localización y deben ser normalizados. Los valores resultantes de la normalización de los criterios: seguridad en latransferencia, tiempo de trasbordo, distancia de acceso, distancia de caminata, costo de transferencia, tiempo de viaje y seguridad en el sistema, entran con valor inverso en la composición del índice, ya que los mismos son inversamente proporcionales al nivel de calidad y atractivo de cada local de integración.

#### **4. EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS RELACIONADOS CON LOS USUARIOS**

Fue realizada una evaluación de los criterios y subcriterios propuestos con el objetivo de definir un peso para cada uno, identificar la importancia relativa de los mismos y también para poder usarlos para obtener un Índice del Usuario (IU). Este índice permite definir cual de los locales posibles de integración tiene más posibilidades de ser atractivo para los usuarios de los ciclos.

Así, se realizó una pesquisa entre un grupo de usuarios de bicicletas de la ciudad de Rio de Janeiro, siguiendo el procedimiento presentado en el ítem 3. En este análisis fueron usadas tres planillas. En la primera planilla, cada evaluador (usuario) evaluó par a par los subcriterios correspondientes a la transferencia, en otra planilla los subcriterios referidos al transporte público y, finalmente, en la tercera planilla son comparados los criterios “transferencia” y “transporte público”. Como resultado de este análisis se obtuvieron los pesos de cada criterio, que son mostrados en la Tabla 3.

Criterios	Peso del criterio	Subcriterios	Peso del subcriterio
Transferencia	0,286	Seguridad	0,366
		Tiempo de Traslado	0,088
		Distancia de Acceso	0,107
		Distancia de Caminata	0,152
		Costo de Transferencia	0,287
Transporte Público	0,669	Frecuencia	0,180
		Tiempo de Viaje	0,115
		Regularidad	0,199
		Seguridad en el Sistema	0,358
		Sistema de Información	0,056
		Confort	0,093

**Tabla 3 - Peso de los Criterios y Subcriterios**

Como se puede observar, los usuarios consideraron la **seguridad en la transferencia** el subcriterio más importante dentro del criterio Transferencia. Con relación al transporte público, el subcriterio considerado más importante por los usuarios es la **seguridad en el sistema**. El peso general es calculado multiplicando el peso del criterio por el peso del subcriterio. Y con el peso general se obtiene una jerarquía de los criterios de acuerdo a la importancia relativa de estos, lo que puede ser visto en la Tabla 4.

Subcriterios	Peso General
Seguridad en el Sistema	0,197
Seguridad (Transferencia)	0,164
Costo de Transferencia	0,128
Regularidad	0,110
Frecuencia	0,099
Distancia de Caminata	0,068
Tiempo de Viaje	0,063
Confort	0,051
Distancia de Acceso	0,048
Tiempo de Traslado	0,039
Sistema de Información	0,031

**Tabla 4. Jerarquización de los Subcriterios**

En la Tabla 4 se observa que los cinco subcriterios más importantes son la seguridad en el sistema, la seguridad en la transferencia, el costo de la transferencia, la regularidad y la frecuencia. Entre estos, el más importante es la seguridad durante el período que el pasajero está en el transporte público y el subcriterio menos relevante de todo el conjunto se refiere al sistema de información en el transporte público.

## 5. CONCLUSIONES

Buscando la identificación de los posibles lugares para la implantación de aparcamientos para bicicletas, este trabajo propone la utilización de algunos criterios relacionados con la decisión del usuario de hacer o no una integración. A partir de esos criterios, se propone el uso del método AHP para obtener los pesos relativos de los mismos y definir el Índice del Usuario, que será un indicador de la mejor opción de integración desde el punto de vista del usuario.

Para complementar este trabajo, fue realizada una pesquisa entre un grupo de ciclistas que usan la bicicleta para trasladarse para el trabajo y se obtuvieron los pesos relativos de los criterios. Estos pesos podrán ser utilizados para definir el IU, cuando no sea posible realizar un análisis de la manera propuesta en este trabajo. Sin embargo, es recomendable que sea realizado un análisis de los parámetros y de cada región específicamente.

La localización adecuada de las estaciones de integración no es suficiente para atraer a los usuarios. Las estaciones de integración también deben ser construidas adecuadamente, considerando en sus proyectos la iluminación, los equipamientos y las facilidades en términos de servicios y comodidades para los usuarios.

## REFERENCIAS

MARTENS, Karel. (2004) **The bicycle as a feeding mode: experiences from three European countries** - Transportation Research – Universidad de Tel Aviv.

MESQUITA, José Mauro Bernardo (1996) **O estacionamento Integrado: Sua aplicação para o Atendimento de Shopping Centers. Rio de Janeiro**. Disertación (Maestría en Ingeniería de Transportes) – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SAATY, Thomas L (1991) **Método de Análise Hierárquica**. Traducción y Revista Técnica. Waiter da Silveira e Silva – São Paulo. McGraw – Hill Mahron.