

CONSTRUCCION DE UNA RED DE TRANSPORTE NO MOTORIZADO PARA LA COMUNA DE SANTIAGO

Fernando Bravo F., Andrea Peña P.
CIS Asociados Consultores en Transporte S.A.
Austria 2042 Providencia Santiago, Chile.
Fono: 2051033 - Fax 2051029
e-mail: fbravo@cistrans.cl, apena@cistrans.cl

Cristián Vergara Novoa
División de Estudios y Desarrollo
Subsecretaría de Transportes
Amunategui 139 Santiago, Chile.
Fono: 4213310 – Fax 6724135
e-mail: cvergaran@mtt.cl

RESUMEN

Consciente de la importancia que ha adquirido la participación de los modos no motorizados en el total de viajes que se realizan en Santiago, este trabajo presenta una metodología de construcción y análisis de una red del modo caminata desarrollada en el marco del estudio denominado “Análisis del Transporte No Motorizado en Santiago”, SUBTRANS (2002). La definición de una red para el modo caminata, denominada Red No Motorizada (RNM), se basa en una buena caracterización de los movimientos de los usuarios que la utilizan, tanto en cantidad, como en el tipo de los viajes, a lo cual se agregan además los elementos urbanos a los cuales la red permite dar conectividad. Para ello se realizaron mediciones de flujos peatonales a nivel de tramos de la RNM, en 102 puntos de la comuna de Santiago, siendo cada tramo representativo de uno o más arcos de la red de similares características físicas y operativas. Se desarrolló también una encuesta origen-destino a usuarios de este modo, en días y períodos representativos de una semana, en aquellos lugares que presentaron los mayores volúmenes de viajes: 23 puntos en los períodos punta de un día laboral normal, 26 puntos en los períodos punta de un día viernes y 23 puntos en el período punta de un día sábado.

Utilizando la información anterior, se construyó una herramienta de simulación del modo caminata, desarrollada en un Sistema de Información Geográfico, que utiliza un modelo de redes para determinar el conjunto de rutas potenciales que los usuarios utilizarían para realizar sus viajes, y un modelo de Preferencias Declaradas que determina la probabilidad de elección de cada ruta, de acuerdo a las características físicas, operativas y urbanas que presentan los arcos de la RNM que las componen. El trabajo concluye con las mejoras a introducirse a la herramienta construida para futuras aplicaciones.

1. INTRODUCCION

El modo caminata no ha sido lo suficientemente analizado en la literatura especializada, tal vez debido a que su participación en los viajes totales de las grandes urbes es muy bajo y a que, en general, este modo resulta estar asociado a viajes de corta distancia. Sin embargo, en comunas como Santiago el modo caminata cobra especial relevancia, ya que en ella se encuentra el principal centro de actividades de la ciudad. Debido a esto, múltiples actividades y propósitos generan viajes desde un punto a otro de la comuna, en los cuales, atributos particulares como el entorno y la distancia hacen que la caminata sea considerada dentro del conjunto de elección (*choice set*) de modo de cada usuario (Ben-Akiva y Lerman; 1985). Este artículo presenta la construcción de una herramienta, que permite simular las decisiones de los usuarios de este modo en la comuna de Santiago, la cual se basa tanto en información existente como recopilada en terreno.

Considerando lo anterior la estructura del texto es la siguiente. La sección 2, presenta la revisión bibliográfica realizada. La sección 3 presenta las mediciones de flujo y la encuesta origen destino (EOD) a peatones. La sección 4, presenta la construcción de la RNM, en la cual cobran relevancia la determinación de conflictos entre peatones y vehículos, y la categorización de cada uno de los arcos de la red. La sección 5, presenta la metodología utilizada para construir la herramienta que permite simular la elección de rutas peatonales y, por último, la sección 6 presenta las principales conclusiones.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

La revisión bibliográfica incluyó un análisis de la experiencia internacional y nacional en el tema y estuvo enfocada a conocer tanto las características principales que determinan este modo de transporte, como la forma en que se ha modelado la elección de rutas peatonales.

Del análisis de la literatura a nivel internacional, se constató que en general las investigaciones realizadas respecto del modo caminata cubren áreas poco extensas, menores a la considerada en esta investigación. Un ejemplo de esto es el caso del bulevar Queen, situado en pleno centro de Nueva York, Estados Unidos (ITE Journal, 1998). Asimismo, es común que la caminata sea analizada en estrecha relación con otros modos no motorizados, en especial la bicicleta, como, por ejemplo, en el estudio realizado por el Ministerio de Transporte de los Estados Unidos (Bureau of Transportation Statistics, 2000). En cuanto a la simulación de la elección de rutas destaca la investigación realizada por Verlander y Heydecker (1992), quienes plantean una metodología para determinar el conjunto de elección (*choice set*) de rutas factibles que posee un peatón para ir desde un origen a un destino. Dicho método es conocido como *k - shortest routes* y genera las *k* rutas más cortas, entre un origen y un destino, suponiendo que el atributo relevante en la elección es la distancia.

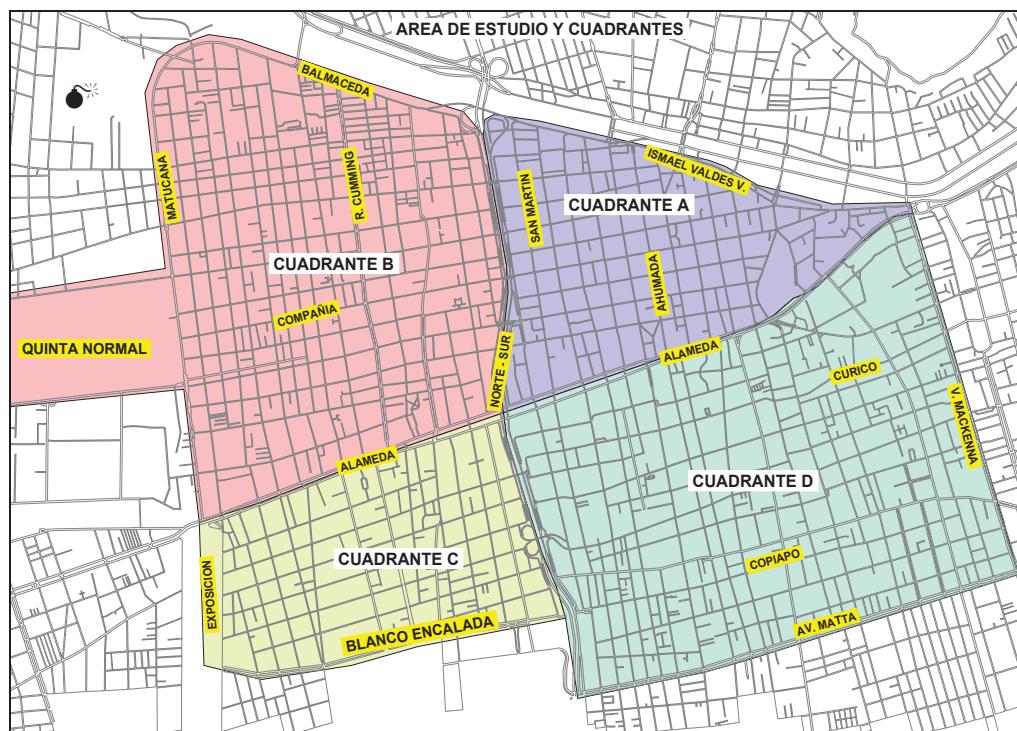
A nivel nacional, el estudio de demanda de transporte público de SEREMITT (1998), permitió conocer los principales puntos de generación y atracción de viajes realizados por medio de caminatas, los que resultaron estar asociados, principalmente, a paraderos del transporte público mayor y a estaciones de Metro. Por otra parte, en cuanto a la elección de rutas peatonales, el estudio de políticas de peatones de SECTRA(1999), fue determinante, ya que de él se extrajo el modelo de Preferencias Declaradas (PD) que se incorpora como parte de la herramienta de simulación que se

desarrolló en esta investigación. Dicho modelo, considera como atributos relevantes en la elección de ruta peatonal, una serie de variables que se encuentran directamente relacionadas con aspectos urbanísticos como, por ejemplo, la iluminación, el nivel de ruido, anchos de vereda, vigilancia y calidad del entorno, entre otros.

Finalmente, para cuantificar cada uno de estos atributos en los arcos del grafo RNM, junto con realizar un catastro de dicha red, se consultó la información urbanística y de uso de suelo comunal con la que cuenta la Ilustre Municipalidad de Santiago. Entre los antecedentes analizados, a nivel de manzanas se contó con el catastro de uso de suelo realizado por el Servicio de Impuestos Internos (SII) el año 2001. A nivel de vías de la comuna, se contó con datos relacionados con el equipamiento, la iluminación, el estado de pavimentos, líneas de predios, líneas de soleras y estadísticas sobre delincuencia.

3. RECOLECCION DE DATOS

Con el propósito de caracterizar los principales movimientos peatonales que se efectúan dentro de la comuna de Santiago, se realizaron tanto mediciones de flujo peatonal, en los lugares de mayor volumen de viajes, como una EOD a peatones la que, además, permitió conocer la ruta escogida y los principales atributos que determinaron dicha elección. Para ello, se dividió el área de estudio en cuatro cuadrantes, según se muestra en la Figura 1, cada uno con características similares en el uso de suelo y en la operación del sistema de transporte público y privado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1: Área de Estudio

3.1. Mediciones de Flujos Peatonales

La metodología utilizada para medir los flujos peatonales consideró contabilizar a grupos de personas que realizaban movimientos similares en cuanto a magnitud y direccionalidad. Considerando lo anterior, se realizaron mediciones de flujos peatonales en 7 períodos (3 períodos puntas de un día laboral normal, 3 períodos puntas de un día viernes, y un periodo punta del día sábado), en un total de 102 puntos distribuidos de la siguiente forma: 31 en el Cuadrante A, 27 en el Cuadrante B, 17 en el Cuadrante C y 27 en el Cuadrante D. Debido a la variedad de movimientos que pueden realizar los flujos de peatones, en comparación con los flujos vehiculares, se requirió diseñar técnicas particulares para contabilizarlos adecuadamente. Dichas técnicas derivaron finalmente en que los puntos de medición fueran agrupados en:

Puntos de medición situados sobre una vía en ambas veredas.

Puntos de medición situados sobre una vía en una vereda.

Puntos de medición localizados sobre una calle peatonal (ej.: Paseo Ahumada, Huérfanos).

Puntos de medición situados en cruces peatonales (o cebras) importantes (con semáforo).

Puntos de medición localizados a la entrada y salida de importantes centros generadores o atractores de flujo peatonal (ej.: acceso al Metro, galería comercial).

Puntos de medición situados en intersecciones no semaforizadas (con o sin señal prioritaria).

La Tabla 1 presenta los niveles de flujos medidos por período en aquellos puntos más representativos del cuadrante A (Santiago Centro).

Tabla 1
Niveles de Flujos Peatonales por Período en Puntos Representativos Cuadrante A

PERÍODO	CALLE	TRAMO	PEATONES POR HORA	PERÍODO	CALLE	TRAMO	PEATONES POR HORA
1 ¹	Miraflores	Alameda - Moneda	1,735	5 ⁵	Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	8,558
	Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	2,301		Huérfanos *	Bandera - Pasaje Edwards	6,187
	Bandera	Bombero Ossa - Agustinas	1,192		Puente *	Catedral - Santo Domingo	3,707
2 ²	Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	16,538	6 ⁶	Estado *	Alameda - Moneda	3,767
	Puente *	Catedral - Santo Domingo	3,584		Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	8,195
	Huérfanos *	Bandera - Pasaje Edwards	6,103		Huérfanos *	Bandera - Pasaje Edwards	2,869
3 ³	Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	12,748	7 ⁷	Puente *	Catedral - Santo Domingo	4,821
	Puente *	Catedral - Santo Domingo	4,364		Estado *	Alameda - Moneda	3,691
	Estado *	Alameda - Moneda	3,210		Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	4,704
4 ⁴	Ahumada *	Bombero Ossa - Agustinas	2,229		Puente *	Catedral - Santo Domingo	4,106
	Miraflores	Alameda - Moneda	1,834		Estado *	Huérfanos - Merced	1,913

* Paseo Peatonal

¹ Punta Mañana Laboral Típico: 07:30 a 09:30

² Punta Mediódia Laboral Típico: 12:00 a 15:00

³ Punta Tarde Laboral Típico: 18:00 a 21:00

⁴ Punta Mañana Laboral Viernes: 07:30 a 09:30

⁵ Punta Mediódia Laboral Viernes: 12:00 a 15:00

⁶ Punta Tarde Laboral Viernes: 18:00 a 21:00

⁷ Punta Mediódia Sábado: 10:00 a 14:00

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se aprecia que los paseos peatonales mueven bastante más gente que las vías con vehículos. Se observa, además, que el paseo Ahumada congrega a mediodía la mayor cantidad de peatones con 16.538 peat./hr, lo que corresponde a más del doble de lo que circula por el paseo Huérfanos, que es el segundo en importancia. Sin embargo, estos flujos bajan considerablemente el día sábado. Por último, llama la atención lo similar del flujo peatonal en el paseo Puente en todos los períodos de la semana.

3.2. Encuesta Origen Destino a Peatones

El objetivo principal de la EOD a peatones fue conocer el origen y destino de los viajes, además de las rutas utilizadas para sus desplazamientos. Para cada viaje se recabó su propósito, el modo utilizado antes y/o después de la caminata, las principales características socioeconómicas y los atributos más relevantes que determinaron la elección de la ruta declarada. La muestra encuestada correspondió al 2% del flujo peatonal medido, lo que originó la realización de un total de 13.690 encuestas. La metodología utilizada para la entrevista consistió en interceptar directamente a los usuarios, a través de encuestadores especialmente capacitados. Del total de personas encuestadas, el 53% fueron hombres, mientras que el 47% mujeres. Respecto a la edad, el 75% de ellas tenían entre 19 y 50 años. La variación de los propósitos de viaje por cuadrante se muestra la Tabla 2 siguiente:

Tabla 2
Distribución Porcentual del Propósito de Viaje por Cuadrante

PROPÓSITO	CUADRANTE			
	A	B	C	D
Trabajo	34	26	30	39
Estudio	8	23	43	20
Compras	21	18	11	15
Salud	2	2	1	7
Recreación	14	11	5	7
Trámites Personales	16	12	5	8
Otro	1	5	3	1
Sin respuesta	2	2	2	3
Total	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Destacan los propósitos Trabajo, Estudio y Compras, debido a que el área bajo análisis corresponde al centro de la ciudad. El propósito Recreación resulta relevante en los cuadrantes A y B. En cambio, en los cuadrantes C y D destacan los propósitos Estudio y Trabajo. Respecto al modo utilizado antes y/o después de la caminata, la mayoría declaró utilizar transporte público, siendo éste bus urbano o metro. La Tabla 3 siguiente presenta el conjunto de atributos que determinan la elección de la ruta declarada, y el porcentaje de preferencia por período.

Tabla 3
Atributos Determinantes en la Elección de Ruta

ATRIBUTO	PERÍODOS						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ruta más corta	47%	38%	32%	40%	38%	38%	30%
Ruta habitual	55%	46%	48%	58%	43%	46%	39%
Demora en intersecciones	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Menos transporte público	2%	2%	2%	2%	2%	2%	1%
Menos congestión (gente)	5%	3%	3%	5%	3%	3%	3%
Menos congestión (vehículos)	3%	3%	2%	2%	2%	2%	1%
Mayor iluminación	1%	1%	2%	1%	0%	2%	0%
Mayor vigilancia	2%	4%	6%	2%	4%	6%	3%
Menor ruido / contaminación	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%
Ancho de veredas	2%	5%	5%	2%	5%	4%	3%
Mejor estado de veredas	1%	3%	2%	1%	2%	2%	1%
Calidad del Entorno	3%	21%	26%	3%	23%	25%	35%
TOTAL DE ENCUESTAS REALIZADAS EN EL PERÍODO	1010	3128	3053	1056	1890	1934	1619

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, es posible notar que la suma de los porcentaje en cada período es superior al 100%, lo que indica que junto a la habitualidad de la ruta los peatones basaron su elección en otros atributos, que en los períodos punta mañana (P1 y P4) correspondió a la distancia mínima (ruta más corta) y en los otros períodos, además de la mínima, a la “calidad del entorno”. En menor proporción se observa en todos los períodos el atributo “menos congestión de gente”.

4. CONSTRUCCION DE LA RED DE TRANSPORTE NO MOTORIZADO

El proceso de construcción de la RNM se realizó en dos etapas. En la primera, a partir de información existente, se generó una red preliminar, previa a las mediciones de flujo y a la EOD, que consideró las principales calles peatonales, pasajes y galerías del centro de Santiago; además de un conjunto de centros generadores y atractores de viajes como: edificios de servicios y oficinas, edificios residenciales, edificios patrimoniales, culturales y religiosos, centros de recreación y compras; y puntos de intercambio modal como: estaciones de metro y paraderos de transporte público.

Posteriormente, una vez realizada la medición de flujos peatonales y la EOD, se generó la RNM definitiva, incorporando nuevos nodos y arcos para representar aquellas rutas reportadas por los usuarios en la encuesta.

Por otra parte, para realizar la categorización de arcos de la RNM se consideró la información catastrada y aquella facilitada por la Ilustre Municipalidad de Santiago. Con dicha información fue posible caracterizar física y operacionalmente cada uno de los arcos de la red. De manera adicional, y con el objetivo de incorporar un estimador de la molestia que produce en los peatones la interacción con los flujos vehiculares, en aquellas vías en que ambos comparten su uso, se estimó el índice de **fricción lateral (F)**, definido por la siguiente ecuación

$$F = \frac{pq}{w}^2 \quad (1)$$

Dicho índice, que contiene una modificación al propuesto por MTT (1982), depende del flujo peatonal p (peatones/hora), del flujo vehicular q (veq/hora)¹ y del ancho promedio del área disponible para la circulación peatonal w , este último estimado a partir de las diferencias de las coberturas entre predios y líneas de soleras para el centro de Santiago.

Con todo lo anterior, fue posible realizar la categorización de los arcos de la RNM, que se presenta en la Tabla 4 siguiente.

La Tabla 5 muestra, para cada cuadrante del área de estudio, la cantidad de arcos de la RNM en cada una de las categorías definidas anteriormente.

¹ Veq corresponde a un vehículo equivalente

Tabla 4
Definición de Categorías de Arcos en la RNM

CATEGORÍA	DEFINICION
1	Arco exclusivamente peatonal y superficial
2	Arco exclusivamente peatonal y cubierto
3	Arco con fricción lateral de vehículos alta y con baja presencia de transporte público
4	Arco con fricción lateral de vehículos alta y con alta presencia de transporte público
5	Arco con fricción lateral de vehículos media y con baja presencia de transporte público
6	Arco con fricción lateral de vehículos media y con alta presencia de transporte público
7	Arco con fricción lateral de vehículos baja
8	Arco con fricción lateral de vehículos “nula”

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5
Número de Arcos de la RNM en Cada Categoría

CATEGORÍA	A	B	C	D	TOTAL
1	85	17	2	20	124
2	98	3	1	8	110
3	23	5	0	8	36
4	36	17	17	29	99
5	40	30	24	36	131
6	120	25	9	39	193
7	100	54	57	58	269
8	62	26	7	24	119
TOTAL	564	177	118	222	1.081

Fuente: Elaboración propia

5. CONSTRUCCION DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA SIMULAR LOS USUARIOS DE LA RNM

La herramienta computacional que simula la elección de ruta de los peatones en la RNM, se desarrolló en lenguaje **GIS-DK** de TRANSCAD y consta de tres módulos. El primero de ellos, permite generar el conjunto de elección de rutas (*choice set*) en un par origen-destino de nodos de la red, a partir de un atributo en particular o mediante combinaciones de éstos. El segundo módulo, secuencial al primero, calcula la utilidad generalizada de cada una de las rutas del *choice set* y, de acuerdo a un modelo PD Logit Simple, determina la probabilidad de elección de cada ruta. Finalmente, el tercer módulo permite desplegar en un mapa digital de la comuna las rutas, destacando su probabilidad de elección. Mayores detalles del manual de uso de esta herramienta computacional y de la implementación del sistema completo pueden ser consultados en SUBTRANS (2002).

5.1. Determinación del Conjunto de Elección de Rutas

Para determinar el conjunto de elección de rutas entre los distintos nodos de la RNM, se realizó una adaptación del método propuesto por Verlander y Heydecker (1992). Para ello se programó en TRANSCAD una rutina que a partir de la minimización de una función objetivo implementada en este software, genera, del total de rutas disponibles en un par origen destino, un

conjunto jerarquizado de rutas que satisfacen dicha condición. La cardinalidad de dicho conjunto es de 15 rutas, y éstas pueden ser generadas a **partir de la minimización del valor de un atributo en particular o de la minimización de combinaciones lineales de éstos**. Por ejemplo, dado un par origen-destino, es posible solicitar al modelo que genere el conjunto de elección de rutas de acuerdo al atributo “distancia”, obteniéndose como resultado las 15 rutas de menor distancia que unen dicho par.

5.2. Cálculo del Valor de los Atributos a Nivel de Arcos de la RNM

A continuación se presenta la forma como se calculó el valor de cada uno de los atributos del modelo de PD calibrado por Sectra (1999) para cada arco de la RNM. Es importante señalar que esta tarea requirió del máximo esfuerzo, ya que en la mayoría de los casos el valor de los atributos debió ser catastrado en terreno y de la forma más objetiva posible, de manera tal de representar fielmente las características particulares de cada arco.

a) Distancia Caminando

Variable continua que fue calculada directamente del SIG TRANSCAD, de acuerdo a las funciones propias de este software que permiten medir en el plano digital la longitud de cada arco.

b) Entorno

Variable dicotómica que fue catastrada en terreno, de acuerdo a la siguiente definición

- *Entorno Descuidado: si no presenta condiciones adecuadas para la caminata, como sitios eriales, veredas angostas, sin veredas, etc. \Rightarrow Entorno = 1.*
- *Entorno Normal: presenta características de usos de suelo residencial \Rightarrow Entorno = 2.*
- *Entorno Agradable: presenta características adecuadas para los peatones como vitrinas, kioscos; es decir, uso de suelo comercial y/o servicios y áreas verdes \Rightarrow Entorno = 3.*

c) Demora en Intersecciones

Variable continua que se calculó a partir de la demora obtenida en cada arco, considerando el tipo de regulación existente en la intersección aguas abajo de cada uno de ellos. En el caso de una intersección semaforizada, la demora se obtuvo en función de la programación del semáforo y fue calculada como la mitad del tiempo de rojo de la fase respectiva, ponderada por la proporción de rojo en el ciclo. En el caso de intersecciones prioritarias, se realizó una agregación en la estratificación de arcos (Tabla 4) en cuatro tipos: sin flujo vehicular (categorías 1 y 2), con flujo vehicular bajo (categoría 7 y 8), con flujo vehicular medio (categorías 5 y 6), y con flujo vehicular alto (categorías 3 y 4). En el primer caso, se asignó demora nula; en el segundo caso 2,0 segundos; en el tercero 2,5 segundos y en el cuarto 4,0 segundos. Lo anterior, considerando lo propuesto en Ramos (1999).

d) Nivel de Ruido

Variable discreta que depende, entre otros, del flujo vehicular (emisor), la distancia del emisor al receptor del ruido y la topografía urbana existente (presencia de edificios, el ancho de la calle, el tipo de pavimento, las áreas verdes). Considerando lo anterior, la variable fue catastrada en terreno de acuerdo a la siguiente definición.

- *Ruido Bajo: si existe bajo flujo vehicular, bajo flujo peatonal, distancia apreciable entre el emisor y el receptor \Rightarrow Nivel de ruido = 1*
- *Ruido Regular: si existe un flujo vehicular bajo, alto flujo peatonal, distancia entre emisor y receptor baja \Rightarrow Nivel de ruido = 2*
- *Ruido Regular: si existe un flujo vehicular Medio, bajo flujo peatonal, distancia entre emisor y receptor baja \Rightarrow Nivel de ruido = 2*
- *Ruido Alto: si existe flujo vehicular alto, para cualquier flujo peatonal y distancia nula entre emisor y receptor \Rightarrow Nivel de ruido = 3*

e) Estado de Vereda

Variable discreta que fue catastrada en terreno de acuerdo a la siguiente definición.

- *Vereda Deteriorada: si no presenta condiciones adecuadas para la caminata, como por ejemplo, vereda en mal estado o camino de tierra \Rightarrow Estado de vereda = 3*
- *Vereda Normal: si presenta características normales para caminar \Rightarrow Estado de vereda = 2*
- *Vereda Excelente: si presenta características adecuadas para circular (tipo de pavimento mejorado) \Rightarrow Estado de vereda = 1*

f) Ancho de Vereda

Variable continua obtenida como el ancho medio de vereda de cada arco. Se calculó a partir de las diferencias entre la línea de predio y la de soleras. Dependiendo de la longitud del arco, se realizaron 2 o 3 mediciones, calculándose a través de las funciones propias de TRANSCAD el ancho promedio.

g) Segregación de Flujo

Variable discreta que fue catastrada en terreno, considerando la influencia que ejerce la presencia de flujo vehicular que circula en forma inmediatamente adyacente al flujo peatonal en el arco.

- *No existe Segregación \Rightarrow Segregación del flujo = 1*
- *Si existe Segregación \Rightarrow Segregación del flujo = 2*

h) Vigilancia

Variable discreta determinada a partir de la información obtenida de la I. Municipalidad de Santiago, generada para cada arco a partir de la variable número de delitos, de la siguiente forma.

- *Existencia de delitos en el arco \Rightarrow No existe vigilancia \Rightarrow Vigilancia = 0*
- *No existencia de delitos en el arco \Rightarrow Existe vigilancia \Rightarrow Vigilancia = 1*

i) Iluminación

Variable discreta que fue estimada a partir de la información entregada por la I. Municipalidad de Santiago, de acuerdo a la siguiente definición.

- *Iluminación Excelente: Potencia ≥ 1000 Watts \Rightarrow Iluminación = 1*
- *Iluminación Normal: $400 \leq$ Potencia < 1000 Watts \Rightarrow Iluminación = 2*
- *Iluminación Débil: Potencia < 400 Watts \Rightarrow Iluminación = 3*

j) Congestión Peatonal

Variable discreta que se define de acuerdo al flujo peatonal y al ancho medio de vereda de cada arco, de la siguiente manera:

$$x_p = \frac{q}{w * d * v} \quad (2)$$

donde

- x_p : nivel de congestión peatonal,
- q : flujo peatonal del arco (peatones/hora),
- w : ancho medio vereda (metros)
- d : densidad (igual a 1,5 peatón/m²)
- v : velocidad peatonal (igual a 1,2 m/s = 4.320 m/hora)

Luego x_p se expresa en porcentaje, definiendo la congestión peatonal de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ll} \text{Congestión Baja} \Rightarrow x_p < 1 \% & \Rightarrow \text{Congestión Peatonal} = 1 \\ \text{Congestión Media} \Rightarrow 1 \% \leq x_p < 3 \% & \Rightarrow \text{Congestión Peatonal} = 2 \\ \text{Congestión Alta} \Rightarrow 3 \% \leq x_p & \Rightarrow \text{Congestión Peatonal} = 3 \end{array}$$

5.3. Paso de Valores de Atributos en Arcos a Valores de Atributos en Rutas de la RNM

Dado que el modelo de PD utilizado por la herramienta computacional está basado en elecciones de “rutas” peatonales, lo correcto es alimentar a dicha herramienta con las características de las rutas que componen la RNM. Para esto, fue necesario calcular el valor de cada atributo de la ruta, en base a los valores de cada arco. De la sección anterior, se aprecia que existen tres atributos descritos por variables continuas en los cuales la agregación al caso de atributo en ruta es directo:

a) Distancia Caminando

Donde la longitud L_r de la ruta r se calculó como la suma de las longitudes de cada arco d_a

$$L_r = \sum_{a \in A_r} d_a \quad \forall r \in RNM \quad (3)$$

donde A_r es el conjunto de arcos que componen la ruta r

b) Demora en Intersecciones

Este atributo fue calculado como la suma de las demoras en cada una de las intersecciones que componen la ruta.

c) Ancho de Vereda

El ancho de vereda de la ruta W_r se calculó como la suma de los anchos medio de vereda w_a de cada arco, ponderados por el “peso” de la longitud de dicho arco en la longitud total de la ruta L_r .

$$W_r = \sum_{a \in A_r} w_a \frac{d_a}{L_r} \quad \forall r \in RNM \quad (4)$$

El resto de los atributos en arcos se encuentran descritos por variables dicotómicas, cuestión que llevó a considerar percepciones de usuario en su cálculo. Es así, que tanto a la **Iluminación** como a la **Vigilancia** de una ruta se les asignó, del conjunto de valores de cada arco de ruta, el mínimo en cada caso. Lo anterior, dado que análisis posteriores de la EOD revelaron que para los usuarios bastaba que **un** arco de la ruta contara con Iluminación débil para no considerarla en su elección y, así, estimar que toda la ruta presentaba una mala calidad en este atributo. Algo similar pudo constatarse con la Vigilancia. Por otra parte, en los casos de **Entorno, Nivel de Ruido, Estado de Vereda, Segregación de Flujo y Congestión peatonal** es evidente que el peso de la longitud del arco en la longitud total L_r , influirá directamente en el valor de estos atributos a nivel de rutas. Por esta razón, el cálculo en estos casos se realizó mediante la suma del valor de cada atributo a nivel de arco, ponderada por el “peso” de la longitud de cada arco en la longitud total de la ruta, aproximándose finalmente dicho resultado al entero más cercano. Esto último, se presenta en la ecuación 5.

$$Att_r = \left[\sum_{a \in A_r} Att_a \frac{d_a}{L_r} \right] \quad \forall r \in RNM \quad (5)$$

donde $Att_r \in \{Entorno, Nivel Ruido, Estado Vereda, Segregación flujo, Congestión Peatonal\}$ y $[x]$ corresponde a la función cajón de x .

6. CONCLUSIONES

Se ha presentado en este artículo, tanto la construcción de una Red de Transporte No Motorizado (RNM) para la comuna de Santiago, como una herramienta de simulación de la elección de ruta peatonal. Ambos desarrollos constituyen un avance en el análisis del modo caminata, el que a la fecha no ha sido suficientemente considerado en la literatura especializada.

Respecto a la construcción de la RNM se realizaron innovaciones metodológicas en cuanto a las mediciones de flujo peatonal, debido principalmente a la necesidad de captar la mayor variedad de movimientos que realizan los usuarios en el desarrollo de sus viajes. En cuanto a la EOD a peatones, se constató que los principales propósitos de viaje al centro son trabajo y estudio, y que la mayoría de los viajes a pie constituyen viajes de acceso desde o hacia el transporte público. Además, se verificó que la distancia y la habitualidad del viaje junto a características del entorno son los atributos que más inciden en la elección de ruta. Por último, en cuanto a la categorización de arcos se introdujo el índice de fricción lateral, cuestión novedosa en la configuración topológica de redes de transporte.

Respecto a la herramienta computacional de simulación, su programación quedó completamente parametrizable, por tanto, es posible incorporar nuevos atributos los que deben ser calculados a nivel de rutas, de manera coherente tal como se realizó en esta investigación.

Finalmente, es importante mencionar que la herramienta construida permite estimar ruteos de peatones entre pares orígenes destino de nodos de la RNM, de tal forma que para calcular los peatones totales asignados a cada arco de la red, bastará incorporar otro módulo que contenga un algoritmo que sume los flujos en cada arco de las distintas rutas por par origen destino (por ejemplo de zonas de la red). De esta manera se estará ad-portas de un modelo de asignación de peatones.

REFERENCIAS

- Ben-Akiva, M. E. y S. R. Lerman (1985) **Discrete Choice Analysis: Theory and Applications to Travel Demand**. The MIT Press, Cambridge.
- Bureau of Transportation Statistics (2000) **Bicycle and Pedestrian Data: Sources, Needs and Gaps**. U.S. Department of Transportation.
- Copley G. y M. J. Maher (1975) **Liverpool Pedestrian Movements Study** – Survey Technique and Data Analysis, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Inglaterra.
- Institute of Transportation Engineers, ITE Journal (1998) **Pedestrian Safety Study**. Queen Boulevard. Nueva York, E.E.U.U.
- MTT (1982) **Manual de Señalización de Tránsito**. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Santiago, Chile.
- Ramos G. (1999) **Funciones para transformar demoras de una intersección aislada a demoras en una intersección en red**. Memoria de Titulo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Escuela de Ingeniería. Universidad de Chile.
- SECTRA (1999) **Análisis y Proposición de Políticas de Inversión para Favorecer a los Peatones**. Comisión de Planificación de Inversiones en infraestructura de Transporte. Santiago Chile.
- SEREMITT (1998) **Estudio de Demanda del Sistema de Transporte Público de Superficie**. Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones. Santiago, Chile.
- SUBTRANS (2002) **Análisis del Transporte No Motorizado en Santiago**. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Subsecretaría de Transportes. Santiago, Chile.
- Verlander N. Q. y B. G. Heidecker (1992) **Pedestrian Route Choice: An Empirical Study**. Center of Transport Study, University College London, Inglaterra.