

INFLUENCIA DEL AMBIENTE CONSTRUIDO EN LA GENERACION DE VIAJES A PIE EN LA CIUDAD DE CORDOBA

Alicia Riera

Jorge J. Galarraga

Maestría en Ciencias de la Ingeniería: Mención Transporte
Universidad Nacional de Córdoba - Argentina

RESUMEN

El trabajo presenta la formulación de modelos de generación de viajes a pie sobre información de la encuesta domiciliar de origen y destino de viajes disponible para la ciudad de Córdoba. En primer lugar se estiman modelos de regresión lineal múltiple de los viajes a pie en función de variables socioeconómicas. En el siguiente paso los modelos se amplían incorporando variables representativas del ambiente construido: densidad poblacional, diversidad de uso del suelo y diseño de la red vial. Los resultados obtenidos muestran una asociación entre la forma urbana y la diversidad de usos del suelo y la realización de viajes a pie. Las mejores estimaciones se logran formando grupos de datos caracterizados por valores más elevados de las variables del ambiente construido las que contribuyen, aunque marginalmente, al ajuste de los modelos. El análisis de un caso local, aún con fuertes restricciones en relación a la información disponible y su escala, permite establecer un antecedente que impulsa a avanzar sobre esta línea de investigación. Los hallazgos ratifican la relevancia de las políticas urbanas en relación al transporte sustentable, proveyendo a urbanistas y profesionales del transporte de valiosas herramientas para asistir en la evaluación de políticas y la toma de decisiones.

ABSTRACT

The following paper presents pedestrian trip generation model formulations over household-based O-D trip survey data available for the city of Cordoba. At first, pedestrian trip linear multiple regression models are estimated as a function of socioeconomic variables. In a second step these models are enhanced by incorporating variables representing the built environment: population density, diversity of land use and road network design. Results show the existing association between urban form, land use mix and pedestrian trips. The best estimations were achieved by grouping data with higher values of built environment variables contributing, though marginally, to model adjustment. Even with strong restrictions concerning available data and its scale, the analysis of a local case puts forward a reference to keep on this trend of research. Findings prove the relevance of urban policies concerning sustainable transport, providing urban planners and transportation professionals with valuable tools to assist in policy appraisal and decision making.

1. INTRODUCCION

El constante aumento de los viajes en automóvil derivado de una creciente motorización y movilidad de la población constituye el origen de serios problemas que se presentan a nivel urbano tales como la congestión del tránsito, la contaminación ambiental y el aumento de la accidentalidad. Este escenario se manifiesta tanto en grandes metrópolis como en urbes de menor tamaño, las que suelen presentar gran concentración de actividades en sus áreas centrales.

En muchos casos, los problemas citados han sido abordados mediante la ampliación de la oferta, aplicando medidas de alta inversión económica y/o política, con el agravante que su impacto potencia el incremento de los viajes motorizados y resulta difícil de sostener en el tiempo. Como una alternativa a este tipo de soluciones, se están evaluando estrategias orientadas a influir sobre la demanda de viajes. Estas se basan en intervenciones sobre el ambiente urbano a través diseños y criterios que promoverían la caminata y otros modos no motorizados, ejerciendo al mismo tiempo acciones para desalentar el uso del automóvil. Este enfoque ha generado una línea de investigación dirigida a estudiar la influencia que el ambiente construido ejerce sobre el comportamiento de los viajes.

Modelos de generación de viajes a pie en la ciudad de Córdoba basados en variables socioeconómicas a nivel de hogar son ampliados y mejorados mediante la inclusión de variables representativas del ambiente construido, asociando los factores de localización elegidos a la zona correspondiente a cada hogar donde se realizaron viajes a pie. Verificando la asociación existente entre los viajes a pie y variables representativas del ambiente construido se establece un precedente importante en relación al desarrollo de esta línea de investigación a nivel local.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Los enfoques del Nuevo Urbanismo en los Estados Unidos y de la ciudad compacta en Europa (Schwanen y Mokhtarian, 2005) muestran los avances producidos en el abordaje de los problemas de transporte a través de la planificación y el diseño urbano. Targa y Clifton (2004), Rodríguez y Joo (2004) y Shay y Khattak (2006) encuentran que la decisión de viajar a pie se encuentra estrechamente relacionada con factores del ambiente construido. Cervero y Kockelman (1997), Cervero y Arrington (2008) y Cervero (2002) demuestran una menor propensión a realizar viajes en automóvil y una mayor tendencia a compartir viajes ó utilizar el transporte masivo en aquellos vecindarios donde las densidades son elevadas y existe diversidad de los usos del suelo. Otros trabajos confirman la mayor factibilidad de trasladarse a pie en ambientes construidos compactos, para viajes por motivos distintos al trabajo (Greenwald y Boarnet, 2001; Rajamani *et al*, 2002; Zegras, 2004).

En general los estudios en esta área se han concentrado principalmente en las relaciones establecidas entre la movilidad en modos motorizados y diversos factores como características socioeconómicas de los individuos y de sus hogares, el ambiente construido, aspectos actitudinales y cualidades de los medios de transporte alternativos.

La consideración del motivo de viaje como un elemento significativo dentro de las decisiones de viaje ha derivado en investigaciones que analizan el efecto de las variables del ambiente construido sobre los viajes por trabajo (Cervero, 1991; Eash, 1999) mientras que en otros casos se han investigado estas relaciones para viajes por motivos distintos al trabajo (Kockelman, 1996; Eash, 1999; Rajamani *et al* 2002; Leck, 2006). Otros analizan ambas alternativas en el contexto del mismo estudio ó bien no desagregan los viajes por motivo (Khattak y Rodriguez, 2005; Shay y Khattak, 2006; Grieco, 2010).

El impacto de la densidad residencial sobre la movilidad ha suscitado numerosas controversias. Cervero y Kockelman (1997) muestran el efecto marginal de la densidad sobre la probabilidad de viajar en automóvil, caminar ó utilizar el transporte público. En contraste con las características de desarrollo a nivel regional que influyen los viajes en auto, Greenwald y Boarnet (2001) destacan el efecto fuertemente localizado de la densidad sobre la decisión de realizar viajes a pie. Para Zegras, (2004) y Rodríguez y Joo (2004) la variable densidad residencial no resulta significativa.

Un estudio comprensivo de la literatura existente hasta el año 2009 es desarrollado por Cervero y Ewing (2010), aplicando el procedimiento de meta-análisis para derivar conclusiones que resulten generalizables. Esta metodología arroja promedios ponderados de las elasticidades estimadas por los distintos estudios recopilados por los autores concluyendo que las variables de viajes resultan inelásticas con respecto a cambios en las medidas del ambiente construido (elasticidades promedio inferiores a 0,39), mientras que el efecto

combinado de varias variables es significativo. Confirmando hallazgos anteriores, encuentra que los vehículos-millas recorridos se encuentran fuertemente asociados a medidas de accesibilidad en destino y en segundo orden, a las variables de diseño de la red. La caminata presenta una estrecha relación con medidas de la diversidad de usos del suelo y la cantidad de destinos presentes a distancias de caminata. La proximidad al transporte masivo y las variables de diseño de la red son los factores más relacionados con el uso del transporte masivo, resultando la diversidad de usos un factor secundario. Contrario a lo esperado, el estudio encuentra que, una vez controladas las demás variables, las densidades poblacionales y de empleos presentan una débil asociación con el comportamiento de viajes. Los autores hacen referencia a las posibles aplicaciones de las elasticidades derivadas del meta-análisis. No obstante, puntualizan la imposibilidad de establecer intervalos de confianza en razón del reducido tamaño de las muestras y de que rara vez se controlan las preferencias y actitudes en la elección residencial.

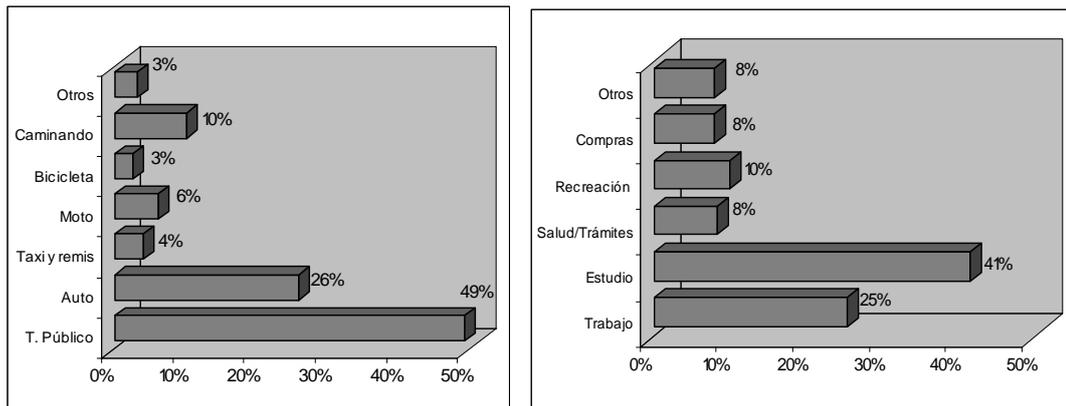
Puede verse que la mayoría de las investigaciones que han considerado el impacto que el uso del suelo y la configuración urbana ejercen sobre la movilidad han sido desarrolladas en los Estados Unidos. Se ha identificado un acotado número de trabajos realizados en universidades brasileras (Grieco y Portugal, 2010; Amancio, 2005) y en el área metropolitana de Santiago de Chile (Zegras, 2004). A nivel de la ciudad de Córdoba los antecedentes específicos en esta área se limitan a la estimación de modelos generación de viajes a pie y en bicicleta (Riera, 2012) y el estudio de la relación entre los viajes a pie y el ambiente construido. Entre las variables analizadas, la diversidad de usos del suelo y la conectividad de las redes son las que mejor explican los viajes a pie.

3. CASO DE ESTUDIO

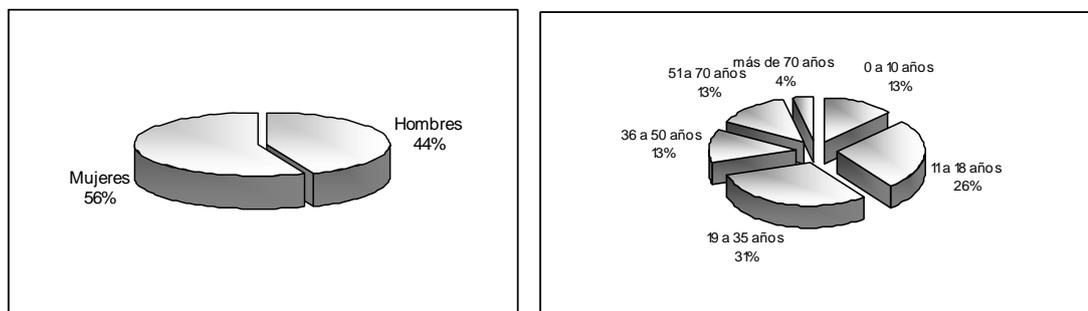
El caso objeto de estudio corresponde a la ciudad de Córdoba, capital de la provincia argentina homónima, cuya población alcanzaba los 1.330.000 habitantes, de acuerdo a datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010. El área urbana de Córdoba experimenta desde hace dos décadas un proceso de expansión de la trama urbana caracterizado por la aparición de urbanizaciones de baja densidad, ya sea por la proliferación de barrios cerrados ó por la implantación de loteos destinados a viviendas sociales o de cooperativas, los que en su mayoría se localizan sobre terrenos alejados de los sectores consolidados de la zona urbana. Esta tendencia de crecimiento de la ciudad complica la movilidad de la población dado que la infraestructura vial y los servicios de transporte enfrentan grandes dificultades para acompañar una expansión de esta naturaleza.

El medio de transporte más utilizado es el modo de transporte masivo cuya participación, de acuerdo a la EOD del año 2008, alcanza al 49%. La cuarta parte de los viajes realizados por personas pertenecientes a hogares de la ciudad de Córdoba son en auto particular. Un 20%, de estos viajes, equivalentes a 75.000 viajes diarios, tienen el Área Central como extremo de viaje. Con un factor de ocupación estimado en 1,17 personas por vehículo, se estima que a fines del año 2008 ingresaban diariamente al centro de la ciudad alrededor de 64.000 automóviles particulares además de taxis, autos de alquiler, vehículos de carga y unidades del transporte público de pasajeros. La participación del transporte no motorizado es baja, con un 10% de viajes caminando y apenas un 3% de viajes en bicicleta.

Las Figuras 1 y 2 exhiben la distribución modal y por motivo de los viajes a pie mientras que en las Figuras 3 y 4 se muestran la distribución por sexo y por franja etaria de los viajes a pie.



Figuras 1 y 2: Distribución modal de viajes totales y distribución por motivo de viajes a pie



Figuras 3 y 4: Distribución por sexo y por franja etaria de los viajes a pie

4. ASPECTOS METODOLOGICOS

4.1. Base de información

La encuesta domiciliaria de origen y destino de viajes realizada en la ciudad de Córdoba durante el mes de noviembre del año 2008 constituye la principal fuente de datos empleada en este trabajo. Entre la información relevada, la cual incluye todos los medios de transporte y corresponde a días hábiles dentro del período de actividad escolar, se encuentran el modo utilizado para viajar y los orígenes y destinos de los viajes. También contiene datos acerca de diversas características de los viajes como por ejemplo sus motivos, duración, periodicidad y horarios de inicio y finalización. Asociadas a cada viaje se encuentran las características individuales de los viajeros y sus respectivos hogares.

Los datos necesarios para construir las variables que describen el ambiente construido se obtuvieron a partir de fuentes de información secundaria. Las variables asociadas a la configuración urbana ó como se suele denominar en la bibliografía, al ambiente construido, pueden resumirse en tres aspectos: densidad, diversidad y diseño.

La densidad, la cual puede ser poblacional, residencial, comercial, industrial, etc, se valoró en base a datos de cantidad de habitantes y número de viviendas ocupadas por zona de transporte. Componiendo radios y fracciones censales¹ se estimaron la densidad poblacional y la densidad residencial medidas en habitantes por hectárea y viviendas ocupadas por hectárea, respectivamente. Finalmente se empleó la densidad poblacional.

¹ Censo Provincial de Población y Vivienda, Año 2008. Instituto Provincial de Estadísticas y Censos

La diversidad hace referencia a la variedad presente en la distribución de los usos del suelo. En este sentido resulta factible categorizar los usos de acuerdo a la siguiente clasificación: 1. residencial, 2. comercial institucional, 3. salud y educación, 4. espacios verdes y recreación y 5. industrial. El programa Google Earth constituyó la herramienta empleada para estimar las hectáreas destinadas a cada tipo de uso del suelo. Mediante la superposición de los límites de las zonas definidas para la encuesta de origen y destino de viajes y la imagen satelital histórica del año correspondiente a la realización de la encuesta, se identificaron superficies de tierra vacante, parques y plazas, predios deportivos, centros comerciales, institucionales y sanitarios, áreas industriales y secciones primordialmente residenciales. Cada una de las superficies identificadas se midió empleando el programa autoCAD para registrar la superficie destinada a cada uso, por zona de transporte. Estas estimaciones se ajustaron en base a los datos contenidos en una publicación oficial del Observatorio Urbano de la ciudad de Córdoba orientada a la actividad económica en la cual se consigna la cantidad de establecimientos comerciales, de servicios e industriales registrados por barrio de la ciudad de Córdoba, requiriéndose para tal fin agrupar los barrios contenidos dentro de cada zona de transporte.

Con los datos estimados se calcula un índice que describe la diversidad del uso del suelo formulada por medio de la formulación de Rajamani et al, (2002):

$$Diversidad\ de\ la\ mezcla\ de\ usos\ del\ suelo = 1 - \left\| \frac{\left\{ \frac{r-1}{T-4} \right\} + \left\{ \frac{c-1}{T-4} \right\} + \left\{ \frac{i-1}{T-4} \right\} + \left\{ \frac{o-1}{T-4} \right\}}{\frac{3}{2}} \right\| \quad (1)$$

dónde: r = hectáreas de uso residencial (viviendas uni y multi-familiares); c = hectáreas de uso comercial; i = hectáreas de uso industrial, o = hectáreas destinadas a otros usos, y $T = r + c + i + o$.

Una variedad de índices han sido empleados en la literatura para representar la forma urbana, variable a la que se ha referido como diseño y que se relaciona con la configuración de la red vial. Para el caso del presente análisis se adopta el número de manzanas por hectárea contenidas dentro de cada zona de transporte, variable que es calculada mediante un simple conteo.

4.2. Construcción de la muestra

La muestra consiste en un vector de generación de viajes construido a partir de las bases de datos de la encuesta de origen y destino y valores estimados de los factores de localización correspondientes a la zona de transporte de cada hogar encuestado. Cada elemento del vector corresponde a un hogar donde se efectuó al menos un viaje a pie. Se decide aplicar un procedimiento estadístico de regresión lineal múltiple sobre datos desagregados, en este caso a nivel del hogar, por resultar más apropiado al introducir en el modelo la totalidad de la variabilidad observada acerca de las características del hogar y del comportamiento en la realización de viajes. El procedimiento de regresión basado en zonas de transporte y características promedio de los hogares de cada zona, se encuentra condicionado por el tamaño de las zonas, la homogeneidad socioeconómica intrazonal y a la capacidad de las variaciones inter-zonales para reflejar adecuadamente la variabilidad de los viajes. Esto implica que si se trabaja con menos zonas más extensas queda representado un mayor rango

de condiciones pero disminuye la varianza inter-zonal. Si, en cambio, se trabaja con una mayor cantidad de zonas de menor tamaño se reduce la variación intrazonal con dos consecuencias: modelos más costosos y errores de muestreo más elevados, asumidos como inexistentes por los modelos de regresión lineal múltiple.

Teniendo en cuenta los antecedentes de la bibliografía revisada y la disponibilidad de datos mencionada en el punto anterior, se seleccionaron las variables independientes que permitieran caracterizar lo mejor posible los viajes a pie en los hogares

La variable dependiente estimada es el número de viajes a pie efectuado en cada hogar encuestado mientras que las variables independientes a evaluar son de dos tipos: 1) variables socioeconómicas características de los hogares a partir de las cuales se formula el modelo básico y 2) variables descriptivas del ambiente construido correspondientes a la zona donde se encuentra cada hogar. La muestra final empleada para efectuar el análisis incluye 382 hogares cuyos integrantes realizaron 1085 viajes a pie dentro de la ciudad capital de Córdoba.

La introducción en el modelo de las variables de localización pretende perfeccionarlo, profundizando la comprensión de la relación entre la movilidad y el ambiente construido. En la Tabla 1 se enumeran las variables testeadas, entre las cuales algunas resultaron no significativas para el modelo formulado, mientras que otras se encuentran correlacionadas entre sí.

Tabla 1: Variables testeadas por los modelos de generación de viajes

Variable	Tipo	Media	Desv.est.	Min-Max
Viajes por hogar efectuados a pie (hogares donde se relevaron uno ó más viajes a pie)	Dependiente	2,84	2,01	1 - 16
Número de personas en el hogar	Independiente	2,17	0,94	1 - 6
Cantidad de autos en el hogar	Independiente	0,37	0,55	0 - 3
Cantidad de motos en el hogar	Independiente	0,19	0,44	0 - 2
Cantidad de bicicletas en el hogar	Independiente	0,69	0,96	0 - 5
Cantidad de estudiantes en el hogar	Independiente	0,66	0,89	0 - 6
Cantidad de trabajadores en el hogar	Independiente	0,27	0,48	0 - 2
Índice de Nivel Socioeconómico	Independiente	3,08	1,57	1 - 6
Densidad poblacional (habitantes/hectárea)	Independiente	85,7	50,0	15 - 256
Densidad residencial (viviendas por hectárea)	Independiente	28,8	30,2	4 - 136
Índice de diversidad de usos del suelo	Independiente	0,041	0,095	0,003 - 0,782
Manzanas por hectárea	Independiente	0,76	0,17	0,13 - 1,09
Área de tierra vacante (hectáreas por zona)	Independiente	57,08	183,4	0 - 1734

Fuente: Encuesta de Origen y Destino. Ciudad de Córdoba. Año 2008

La validez de los resultados del método de regresión lineal múltiple depende de que se verifiquen una serie de supuestos por lo que el análisis se realizó en cada caso, comprobando por medio de estadísticos provistos por el software de aplicación SPSS, la verificación de los mencionados supuestos por las series de datos disponibles, a saber: linealidad verificada a través de diagramas de regresión parcial, independencia ó ausencia de autocorrelación a partir del estadístico de Durban-Watson, homocedasticidad ó constancia de la varianza de los residuos por medio del diagrama de dispersión de los residuos tipificados, normalidad cotejando la distribución de frecuencias con la curva normal y no-colinealidad controlada a partir de los valores de los coeficientes de correlación y otros estadísticos asociados.

5. FORMULACION DE MODELOS DE GENERACION DE VIAJES

En esta sección se expone el desarrollo de la metodología y los resultados obtenidos a partir de investigar la relación existente entre los viajes a pie y diversos factores de localización a nivel urbano. El objetivo consiste en ampliar el modelo, basado en el hogar, formulado inicialmente a partir de variables socioeconómicas.

La introducción de las variables del ambiente construido se lleva a cabo asociando el vector de generación de viajes de cada hogar a las características de la zona donde éste se encuentra localizado. Lo anterior encuentra justificación en el hecho de que la mayor parte de los viajes realizados a pie son con origen y destino en la zona correspondiente al hogar de la persona que efectuó el viaje.

El desarrollo de este proceso se inicia caracterizando las zonas de transporte a través del INSE (Índice de Nivel Socioeconómico). Este indicador, cuya metodología emplea la Asociación Argentina de Marketing, se construye a partir de variables que describen la situación socioeconómica del hogar empleando una escala de seis categorías donde al nivel superior se le asigna un valor de seis. La Tabla 2 muestra la distribución de frecuencias del INSE dentro de los hogares analizados, a partir de los valores de este índice para todos los hogares donde se efectuaron viajes a pie, observándose que la mayor proporción de viajes corresponden a hogares de menor nivel socioeconómico (1 a 3) con mayor incidencia en el estrato intermedio.

Tabla 2: Proporción de los hogares encuestados según estrato socioeconómico

INSE	Frecuencia	Porcentaje
1	72	20%
2	44	12%
3	108	30%
4	48	13%
5	60	17%
6	28	8%

Fuente: Encuesta de Origen y Destino. Ciudad de Córdoba. Año 2008

La definición de escenarios contempló la calidad del servicio de transporte público en cada sector de la ciudad. Este parámetro se evaluó en función de la escala de valoración adoptada durante una encuesta de opinión del transporte público. Los resultados extraídos del análisis de la mencionada encuesta permiten concluir que la percepción de la calidad del servicio de transporte público no difiere sustancialmente entre las distintas zonas de la ciudad y como consecuencia este aspecto no constituye un elemento determinante.

Se intentó identificar escenarios opuestos en cuanto a las variables del ambiente construido. Se presentaron dificultades para poder identificar estos grupos que permitieran la comparación de situaciones opuestas con la totalidad de las variables. Dentro de cada zona, una mayor densidad no necesariamente implica que la red de calles se encuentre más interconectada ó que se presente una mayor diversidad de usos del suelo. Finalmente, se adaptaron los siguientes agrupamientos para el tratamiento de los datos:

- 1) Análisis conjunto de la totalidad de hogares del área de estudio
- 2) Análisis comparativo entre grupos caracterizados según la densidad de población y grado de conectividad de la zona correspondiente a cada hogar.

- 3) Análisis comparativo entre grupos caracterizados según la densidad de población de la zona correspondiente a cada hogar.
- 4) Análisis comparativo entre grupos caracterizados de acuerdo al grado de conectividad de la zona correspondiente a cada hogar.

5.1. Modelos formulados sobre la totalidad de los datos

Las ecuaciones (2) y (3) muestran los resultados de una primera modelización, permitiendo comparar el modelo básico y el modelo ampliado luego de aplicar el procedimiento de regresión sobre la totalidad de los hogares donde se relevaron viajes a pie.

$$V_{pie} = 1,758 + 1,612 X_1 + 0,932 X_2 - 0,077 X_3 \quad (2)$$

(9,941) (20,229) (6,247) (-1,701)

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,534 - \text{Durbin Watson: } 1,773 - \text{FSnedecor: } 146,324$$

$$V_{pie} = 1,682 + 1,617 X_1 + 0,970 X_2 - 0,050 X_3 - 0,004 X_4 + 0,315 X_5 + 1,487 X_6 \quad (3)$$

(4,052) (20,531) (6,517) (-1,050) (-2,688) (0,738) (1,935)

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,546 - \text{Durbin Watson: } 1,830 - \text{FSnedecor: } 77,12$$

dónde,

V_{pie} = tasa de viajes a pie por hogar en la ciudad de Córdoba

X_1, X_2 = cantidad de estudiantes y trabajadores en el hogar, respectivamente

X_3 = índice de nivel socioeconómico

X_4 = densidad poblacional

X_5 = manzanas por hectárea

X_6 = diversidad de usos del suelo

El modelo formulado en función de variables socioeconómicas se contrasta con el modelo ampliado a través de la inclusión de las variables que caracterizan el ambiente construido, observándose una mejora en el ajuste que se materializa a partir de un incremento del 3% en el coeficiente de determinación (R^2) y del 2,1% en el R^2 ajustado. El signo negativo estimado para la variable densidad poblacional, de reducido valor pero significativo, resulta contrario al esperado. El coeficiente positivo estimado para la variable manzanas por hectárea, representativa de la conectividad, no resulta significativo. En el caso de la variable representativa de la mezcla de usos del suelo el impacto es positivo y significativo. Los rangos de variación de las variables manzana por hectárea y diversidad de usos estimados para las zonas de transporte de la ciudad de Córdoba son 0,13 a 1,09 y 0,4789 a 0,9981, respectivamente. Si bien estos guarismos significan pequeños incrementos, hay un impacto en la cantidad de viajes para cambios sustanciales en el ambiente construido.

5.2. Modelos formulados sobre datos agrupados según densidad y conectividad

Las ecuaciones (4) y (5) exhiben los modelos formulados sobre dos muestras parciales obtenidas luego de clasificar los hogares según la densidad y la conectividad de la zona de transporte donde se localizan. Si bien estas variables no siempre evolucionan de manera conjunta, los dos grupos conformados intentaron vincular las citadas variables con la mayor aproximación posible.

$$V_{pie} = 0,04 + 1,458 X_1 + 0,779 X_2 - 0,01 X_3 + 1,887 X_5 + 2,346 X_6 - 0,003 X_7 \quad (4)$$

(0,072) (15,364) (4,580) (-0,258) (2,931) (0,544) (-1,164)

R^2 ajustado = 0,531 - Durbin Watson: 1,876 - FSnedecor: 41,42

$$V_{pie} = 2,58 + 1,505 X_1 + 0,780 X_2 - 0,08 X_3 - 0,02 X_4 + 0,794 X_5 + 1,209 X_6 - 0,002 X_7 \quad (5)$$

(3,131) (8,779) (2,481) (-1,015) (-2,156) (0,773) (1,290) (-0,322)

R^2 ajustado = 0,381 - Durbin Watson: 1,814 - FSnedecor: 13,582

dónde,

V_{pie} = tasa de viajes a pie por hogar en la ciudad de Córdoba

X_1, X_2 = cantidad de estudiantes y trabajadores en el hogar, respectivamente

X_3 = índice de nivel socioeconómico

X_4 = densidad poblacional

X_5 = manzanas por hectárea

X_6 = diversidad de usos del suelo

X_7 = área de tierra vacante

Para el grupo constituido por hogares ubicados en zonas donde la densidad y la conectividad son más elevadas (ecuación 4), una mayor conectividad contribuye positivamente y significativamente en la generación de viajes a pie. La variable diversidad de usos del suelo muestra un coeficiente positivo y elevado, aunque no significativo. La variable que representa el área de tierra vacante ó no desarrollada medida en hectáreas, muestra signo negativo del coeficiente estimado, aunque éste resulta no significativo.

El modelo formulado para las zonas de menor densidad y conectividad (ecuación 5) observa un menor ajuste, con un término independiente considerablemente mayor. Los coeficientes estimados conservan el signo pero su magnitud es bastante menor y no son significativos.

5.3. Modelos formulados sobre datos agrupados según la densidad

Se ensaya una segunda forma de agrupamiento exclusivamente dependiente de la densidad. Los hogares localizados en zonas donde la densidad varía entre 79 y 136 habitantes por hectárea corresponden al modelo representado por la ecuación 6, mientras que aquellos hogares situados en zonas donde la densidad varía entre desde 15 a 77 habitantes por hectárea corresponden a la formulación de la ecuación 7.

$$V_{pie} = -0,005 + 1,495 X_1 + 0,802 X_2 + 0,04 X_3 + 1,380 X_5 + 13,690 X_6 \quad (6)$$

(-0,009) (14,832) (4,757) (0,646) (2,168) (1,952)

R^2 ajustado = 0,562 - Durbin Watson: 1,818 - FSnedecor: 47,72

$$V_{pie} = 2,71 + 1,685 X_1 + 1,061 X_2 - 0,124 X_3 - 0,02 X_4 + 0,739 X_5 + 1,069 X_6 - 0,004 X_7 \quad (7)$$

(3,751) (14,259) (4,271) (-1,751) (-2,288) (0,824) (1,193) (-0,753)

R^2 ajustado = 0,543 - Durbin Watson: 1,908 - FSnedecor: 34,389

La regresión sobre una muestra de hogares localizados en zonas de mayor densidad poblacional, arroja un modelo de generación de viajes a pie para el cual las variables independientes asociadas a la forma urbana asumen coeficientes positivos y significativos.

En contrapartida las variables de la forma urbana del modelo de generación de viajes a pie basado en una muestra de hogares localizados en zonas de menor densidad poblacional, ajustan con coeficientes positivos aunque de menor magnitud y que además son no significativos. Se verifica un aumento considerable del término independiente, en la formulación realizada para el grupo de menor densidad.

5.4. Modelos formulados sobre datos agrupados según la conectividad

La tercera forma de agrupamiento se efectuó en función de la conectividad, aglomerando hogares localizados en zonas dónde el número de manzanas por hectárea varía entre 0,82 y 1,09 por un lado (ecuación 8) y hogares dónde esta variable varía entre 0,13 y 0,81 (ecuación 9).

$$V_{pie} = -0,697 + 1,557 X_1 + 0,916 X_2 + 0,02 X_3 + 2,219 X_5 + 7,636 X_6 \quad (8)$$

(-0,531) (17,230) (5,378) (0,329) (1,618) (1,551)

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,611 - \text{Durbin Watson: } 2,054 - \text{FSnedecor: } 63,639$$

Si bien los coeficientes de las variables de la forma urbana no son significativos en ningún caso, poseen signo positivo y contribuyen a lograr un ajuste bastante bueno del modelo global.

$$V_{pie} = 1,182 + 1,650 X_1 + 1,028 X_2 - 0,126 X_3 + 0,885 X_5 + 1,590 X_6 + 0,001 X_7 \quad (9)$$

(1,509) (11,694) (4,010) (-1,658) (0,775) (1,769) (1,150)

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,480 - \text{Durbin Watson: } 1,669 - \text{FSnedecor: } 28,839$$

El modelo ajustado para la muestra de hogares en zonas donde la conectividad es menor exhibe una menor influencia de las variables de la configuración urbana ya que los coeficientes son de menor valor absoluto reduciéndose también su nivel de significación, no obstante continúan siendo positivos. En el caso de mayor conectividad el efecto de la variable área de tierra vacante no es el esperado resultando además, no significativo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el proceso de modelización de los viajes a pie se testearon variables relacionadas con características socioeconómicas, sobre muestras de hogares donde se relevaron viajes a pie. El modelo general formulado para los viajes a pie resulta representativo ya que, en todos los casos, los estudiantes influyen más que los trabajadores mientras que un mayor nivel socioeconómico implica menor cantidad de viajes a pie

La evaluación del modelo incorporando variables del ambiente construido muestra la asociación existente entre forma urbana y diversidad de usos del suelo y la realización de viajes a pie. Si bien estas variables contribuyen marginalmente a las estimaciones, son pasibles de ser intervenidas, mientras que las variables socioeconómicas que explican la mayor parte del modelo presentan escasas probabilidades de ser modificadas.

Mediante la formulación de modelos con datos agrupados siempre se consiguió un mejor ajuste del modelo para los grupos caracterizados por valores más elevados de las variables del ambiente construido. La mayor bondad de ajuste se manifiesta a partir del valor sustancialmente mayor del R^2 ajustado y la menor magnitud del término independiente en las ecuaciones (4), (6) y (8). Para estas ecuaciones los parámetros que corresponden a las variables del ambiente construido son de mayor magnitud y presentan un mayor nivel de significación.

La formulación de modelos de generación de viajes a pie a nivel local constituye un primer paso para ofrecer una respuesta de tipo cuantitativo a preguntas que hasta el presente han generado especulaciones de carácter subjetivo sobre los beneficios ambientales, recreacionales y para la movilidad de la población provenientes de la utilización de modos no motorizados

Una descripción más completa del ambiente construido exige evaluar otras variables de las que hubo que prescindir por falta de recursos informáticos para procesamiento de datos. Además hubiese sido deseable contar con datos a nivel geográfico y de los viajes efectuados a una escala sensiblemente menor. La escala de trabajo para el caso estudiado no resulta adecuada para este tipo de análisis y su excesivo tamaño trae como consecuencia una menor apreciación de efectos locales. Tampoco fue factible evaluar si las actitudes y preferencias en la elección residencial componen parte del efecto atribuido a las variables del ambiente construido.

A pesar de las debilidades puntualizadas para esta investigación, la misma provee una base para profundizar esta temática. Futuros trabajos deberían centrarse en áreas más reducidas, cuya configuración pueda definirse con más precisión permitiendo evaluar efectos más localizados. En igual sentido la información sobre los viajes exigiría ser relevada a una escala compatible con los datos de localización, demandando la realización de encuestas específicas. Si la sociedad persigue el objetivo de reducir la participación del automóvil, entonces la dirección de los resultados obtenidos puede dar sustento a políticas de desarrollo urbano que, por ejemplo, contengan la expansión de la trama urbana y favorezcan la diversidad de los usos del suelo. En la medida que se produzcan resultados en esta área, será factible que el transporte no motorizado sea integrado dentro de los modelos generales de planeamiento del transporte

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMANCIO, M.A. (2005) Relacionamento entre a forma urbana e as viagens a pé - *Dissertação Mestrado* - Universidade Federal de São Carlos. CDD: 388,4 (20)^a. 88.
- CERVERO, R. (1991) Land Uses and Travel at Suburban Activity Centers. *Transportation Quarterly*, v. 45, n. 4, p. 479-491.
- CERVERO, R. y KOCKELMAN, K. (1997) Travel demand and the 3 Ds: density, diversity, and design. *Transportation Research, D 2* (3), p. 119-219.
- CERVERO, R. (2002) Built Environments and Mode Choice: Towards a Normative Framework. *Transportation Research D*, (www.elsevier.com/locate/trd), v.7, p. 265-284.
- CERVERO R. y ARRINGTON, G.B. (2008) Vehicle Trip Reduction Impacts of Transit-Oriented Housing. *Journal of Public Transportation*, v. 11, n3, p. 1-17.
- CERVERO, R. y EWING, R. (2010) Travel and the Built Environment - A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, v. 76, n.3, p. 265 - 294.
- EASH, R. (1999) Destination and Mode Choice. *Transportation Research Record* 1674, Paper N° 99-0746, p.1-8.

- GREENWALD, M. y BOARNET, M. (2001) Built Environment as Determinant of Walking Behavior: Analyzing Non-work Pedestrian Travel in Portland, Oregon. *Transportation Research Record* 1780, p. 33-42.
- GRIECO, E.P y SILVA PORTUGAL, L. (2010) Taxas de Geração de Viagens em Condomínios Residenciais - Niterói - Estudo de Caso. *Revista Transportes*, v. XVIII, n. 1, p. 87-95.
- KHATTAK, A. y RODRÍGUEZ D. (2005) Travel Behavior in Neo-traditional Neighborhood Developments: A Case Study in USA. *Transportation Research Part A*, v. 39, p. 481-500.
- KOCKELMAN, K (1996) Travel Behavior as a Function of Accessibility, Land Use Mixing and Land Use Balance: Evidence from the San Francisco Bay Area. *Thesis Document for the Master of City Planning Degree*, University of California, Berkeley, p. 1-51.
- LECK, E. (2006) The Impact of Urban Form on Travel Behavior: A Meta-Analysis. *Berkeley Planning Journal*, v.19, p. 37-58.
- MUNICIPALIDAD DE CÓRDOBA (2008) *Barrios Bajo la Lupa*. Sitio Web: <http://www.cordoba.gov.ar>, Córdoba, Argentina.
- ORTUZAR J. y WILUMSEN L. (2004) *Modelling Transport*. Third Edition, John Wiley & Sons, LTD. p.126 - 127.
- PÖYRY SA (2009) *Base de datos en soporte informático de la Encuesta de Origen / Destino 2008 en la ciudad de Córdoba y Área Metropolitana*
- RAJAMANI J., BHAT, C.R., HANDY, S., KNAAP G. y SONG, Y. (2002) Assessing the Impact of Urban Form Measures in Non-work Trip Mode Choice after Controlling for Demographic and Level-of-Service Effects. *Paper Submitted in 2002 for Presentation and Publication Transportation Research Board 2003*.
- RIERA, A. (2012) Estudio de las Perspectivas del Transporte no Motorizado en Ciudades Argentinas Aplicando Modelos de Generación de Viajes. *Tesis para el título de Magister en Ciencias de la Ingeniería-Mención en Transporte*. FCEfyN. Universidad Nacional de Córdoba.
- RODRIGUEZ, D. y JOO, J. (2004) The Relationship between Non-motorized Mode Choice and the Local Physical Environment. *Transportation Research Part D*, v. 9, p. 51-173.
- SHAY E.y KHATTAK, A.J. (2006) Autos, Trips and Neighbourhood Type: Comparing Environmental Measures. *Transportation Research Record (TRB)*, Paper 07-1119 - TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM
- SCHWANEN T. y MOKHTARIAN P. (2005) What affects commute mode choice: neighbourhood physical structure or preferences towards neighbourhood?. *Journal of Transport Geography*, v.13, p. 83-99.
- TARGA F. y CLIFTON, K.J. (2004) Built Environment and Trip Generation for Non-Motorized Travel. *Paper summary submitted for presentation National Household Travel Survey Conference: Data for Understanding Our Nation's Travel*, Washington, DC.
- ZEGRAS, C. (2004) The Influence of Land Use on Travel Behavior: Empirical Evidence from Santiago de Chile. *Transportation Research Board (TRB) 83rd Annual Meeting*, Washington Dc.

Alicia Riera (rieraalicia@gmail.com)

Jorge J. Galarraga (jorgala@efn.uncor.edu)

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Avda. Velez Sarsfield 1611, X5016GCA. Córdoba, Argentina.