

10º CONGRESO DE LA VIALIDAD URUGUAYA

Presentación de Trabajo Técnico

“Generación de Viajes Vehiculares en Emprendimientos Residenciales”

Tema 3: Tránsito y Transporte

Lucía BORDESE y Jorge GALARRAGA

Maestría en Transporte – FCEF y N – Universidad Nacional de Córdoba

Dirección: Av. Vélez Sarsfield 1611. X5016GCA. Córdoba. Argentina.

lubordese@hotmail.com; jorgala@efn.uncor.edu

RESUMEN

Se estima que aproximadamente el 80% de todos los viajes que se realizan en una ciudad tienen su origen o destino en el hogar. Como consecuencia el conocimiento de la generación de este tipo de viajes resulta de la mayor importancia para avanzar hacia una movilidad urbana sustentable. Este trabajo considera dos ambientes bien diferenciados con sus modelos y tasas de generación. Por un lado se estudian establecimientos residenciales de baja densidad, constituidos por casas aisladas y con escaso acceso al servicio de transporte público. Por otro lado se estudian complejos de departamentos, con alta densidad, mejor acceso al servicio de transporte público y mayor diversidad de uso del suelo circundante. En base al estudio de 9 casos en la ciudad de Córdoba, Argentina, se ha caracterizado la generación de viajes en auto, obteniendo importantes diferencias entre los dos ambientes estudiados.

1. INTRODUCCIÓN

Un fenómeno cada vez más frecuente en las ciudades del mundo y que ha llevado a un cambio en la estructura de las mismas es la dispersión urbana, producida por el movimiento de la población desde el centro de la ciudad a las zonas urbanas periféricas. Dicho fenómeno se traduce en desarrollos de baja densidad y menor accesibilidad que son más difíciles y caros para servir por modos de transporte más eficientes, lo que trae como consecuencia una alta dependencia del vehículo particular (La Paix et al, 2012), produciendo mayor congestión, incremento de los tiempos de viaje y negativos impactos ambientales, sociales y económicos. La ocupación desordenada del suelo debido a la falta de un plan de ordenamiento urbanístico a largo plazo, la falta de articulación con un plan de infraestructura y transporte, o bien la falta de mecanismos de control para hacer cumplir dichos planes cuando existen, es un problema común en las ciudades latinoamericanas (Portugal et al, 2010).

Los Polos Generadores de Viajes (PGV) son concentradores de actividades en el espacio, y se caracterizan por impactar en la accesibilidad y el desempeño de los sistemas de transporte y viarios, y por promover los desplazamientos en el desenvolvimiento urbano. Y en función de esa potencialidad de producir externalidades es fundamental que sean adecuadamente planeados, localizados y dimensionados, para lo cual es necesario conocer las especificidades locales en que se insertan (Portugal, 2012).

Los shoppings, hipermercados, hospitales, universidades, estadios, establecimientos residenciales, hoteles, estaciones de transporte público, son algunos tipos de PGV (Portugal y Goldner, 2003). En este estudio, nos centraremos en los establecimientos residenciales, donde se estima que cerca del 80% de todos los viajes tienen su origen o destino (Ortúzar y Willumsen, 2011), y sin embargo, la previsión de la generación de viajes en este tipo de emprendimientos está poco estudiada a nivel local. La dificultad para estudiar este tipo de uso radica en la diversidad en que ocurren. Cada forma de ocupación, como así también, cada perfil de residentes, presenta diferentes tasas de generación de viajes e impactos en el sistema vial asociado. En la tasa de generación de viajes, como en la elección modal, influyen dos tipos de factores principalmente: los socioeconómicos y los de localización.

2. ANTECEDENTES

Los estudios sobre Polos Generadores de Viaje se remontan a la década de 1950 y de forma más sistemática a partir de 1970 con respaldo técnico de organismos internacionales, en especial del Institute of Transportation Engineers (ITE) de Estados Unidos. En un comienzo, se estudiaban los impactos que estos polos generaban a la circulación y al estacionamiento de los vehículos. Con el

tiempo, otros impactos comenzaron a percibirse y valorarse tales como los producidos en el transporte público, en el transporte de cargas y en los modos no motorizados.

El ITE ha desarrollado un manual que provee tasas de generación de viajes y modelos para diversos usos de suelo. Por lo general, los datos utilizados para fijar estas tasas se han extraído de zonas suburbanas, las cuales poseen estacionamiento gratuito y abundante, baja densidad, usos de suelo individuales, y mínimos servicios de transporte. Numerosos estudios (Handy et al., 2013; Arrington y Cervero, 2008; entre otros) indican que estas tasas a menudo sobreestiman significativamente el número de viajes de los automóviles para proyectos ubicados en zonas urbanas cerca del transporte y a poca distancia a pie de otros usos de suelo.

En este marco, y en referencia al fenómeno de dispersión urbana, algunos estudios buscan conocer la relación entre el entorno construido (analizando variables tales como diversidad de uso de suelo, accesibilidad, densidad residencial, y diseño de la red local de calles) y el comportamiento de los viajes.

Dentro de estos estudios pueden citarse un estudio realizado en California (Handy et al., 2013) sobre tasas de generación de viaje multimodales para proyectos denominados de crecimiento inteligente (ubicados en zonas urbanas, cercanos al transporte público y a poca distancia a pie de otros usos de suelo), el estudio realizado por Arrington y Cervero (2008) sobre Desarrollos Orientados al Transporte Público TOD (proyectos multifamiliares de vivienda de diferentes tamaños cerca de estaciones de transporte ferroviario), el estudio realizado por el Departamento de Transporte del Estado de California (Kimley-Horn et al, 2008) que estudia la densificación de ambientes urbanos, a partir de los Desarrollos de Relleno (nuevos proyectos de desarrollo y de reconstrucción situados en terrenos baldíos o subutilizados en las áreas desarrolladas existentes), el estudio en Carolina del Norte (Khattak y Rodríguez, 2005), sobre el comportamiento de los viajes en barrios Neo-Tradicionales (caracterizados por tener densidades superiores de desarrollo, alta conectividad de calles y aceras continuas, combinadas con usos de suelo mezclados), el estudio realizado en el norte de California por Handy et al (2005).

También algunos estudios realizados en América del Sur, como los realizados en Brasil, ciudad de Niteroi, por Grieco (2010) y por el equipo técnico de Nittrans (2011), o el estudio de tasas de generación de viajes en Mérida, Venezuela, de Angulo y Guerrero (2008).

Algunos estudios tienen como objetivo principal encontrar correlaciones entre el entorno construido y la elección del modo con el fin de saber qué variables pueden aumentar el uso del transporte público, como es el caso de un estudio realizado en Italia, en la ciudad de Roma por Gori et al (2013), o el artículo presentado por Tsai (2012) realizado para el Área Metropolitana de Sydney.

En lo referente a antecedentes locales pueden citarse estudios orientados a estimar el impacto del ambiente construido sobre los viajes motorizados y no motorizados (Riera 2012, Riera y Brusa, 2012; Riera y Galarraga, 2013).

Las Tablas N° 1 y N° 2 resumen los valores de tasas de generación de viajes en auto obtenidos en algunos de los estudios antes citados:

Tipología de Empeñamiento	Single-Family Detached Housing	Condominium/Townhouse		Apartment		
		Condominium Townhouse	High-Rise (3 o más pisos)	Apartment	High-Rise (>10 pisos)	Mid-Rise (3<Pisos<10)
Código ITE	210	230	232	220	222	223
Instituto de Ingeniería de Transporte de los Estados Unidos (ITE, 2012)						
Prom Sem	9.52	5.81	4.18	6.65	4.20	-
Pico AM	0.77	0.44	0.34	0.55	0.34	0.35
Pico PM	1.02	0.52	0.38	0.67	0.40	0.44
Densificación de Ambientes Urbanos, California (KIMLEY-HORN et al, 2008)						
Pico AM	-	0.46	0.10	-	0.05	0.22
Pico PM	-	0.41	0.17	-	0.07	0.28
Tasas de generación de viajes en Mérida, Venezuela (ANGULO Y GUERRERO, 2008)						
Pico AM	-	-	-	-	-	0.31
Pico PM	-	-	-	-	-	0.38

Tabla Nº 1: Tasas de generación de viajes en auto según tipología de Empeñamiento [veh/un]

Tasas de generación de viajes en Niterói, Brasil (NITTRANS, 2011)						
Región	Oceanica	Pendotiba	Centro	Santa	Icarí	
Densidad	Baja	Baja	Media	Media	Alta	
Tipología	Casas	Casas	variadas	variadas	Pred. edificio	
Uso de suelo	residencial	residencial	mixto	mixto	mixto	
6h-20h	6.06	5.19	0.81	1.38	1.58	
6h30-9h30	1.28	1.63	0.22	0.37	0.40	
17h-20h	1.46	1.10	0.23	0.34	0.41	
Condominios Residenciales Horizontales en Niterói, Brasil (GRIECO, 2010)						
Densidad	Baja				Alta	
Usos de Suelo	Residencial				Mixto	
6:30-20:00	5.10				1.39	
6:30-9:00	1.16				0.26	
16:00-19:00	1.17				0.34	

Tabla Nº 2: Tasas de generación de viajes en auto según densidad y usos de suelo [veh/un]

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología que se propone en este estudio incorpora las variables de movilidad urbana sustentable para estudiar la generación de viajes de unidades residenciales. Para ello, dentro de un nivel socio económico similar, se buscará caracterizar dos ambientes bien diferenciados con sus tasas de generación por vivienda y por persona. Por un lado se estudiarán establecimientos residenciales de baja densidad, constituidos por casas aisladas y con escaso acceso al servicio de transporte público. Se incluyen en este grupo las tipologías residenciales conocidas como country y barrios cerrados. Por otro lado, se estudiarán complejos de departamentos, con alta densidad, mejor acceso al servicio de transporte público y mayor diversidad de uso del suelo circundante. Se estudian aquí dos tipologías diferentes, los condominios y las torres de departamentos.

En base a un estudio de casos en la ciudad de Córdoba, Argentina, se pretende identificar las diferencias en la generación de viajes en auto a fin de avanzar en la comprensión de ambientes de transporte más sustentables. Las variables explicativas relevadas se clasifican en cuatro grandes grupos: variables socioeconómicas, características del empeñamiento, variables relativas al entorno y características de los viajes.

Las variables socioeconómicas buscan determinar el nivel socioeconómico de las viviendas, a partir de estudiar cómo está conformado el grupo familiar: cantidad de personas y edades de los residentes, sexo, nivel educativo, ocupación, si poseen o no licencia de conducir, nivel de ingreso, número de vehículos por vivienda (autos, motos, bicicletas), cantidad de dormitorios que posee la vivienda.

Dentro de las características de los emprendimientos en este estudio se analizará, además de la tipología, el número de viviendas ocupadas por emprendimiento.

La caracterización del entorno urbano se define a partir de indicadores pertenecientes a cuatro categorías: tipos y diversidad de usos de suelo, accesibilidad (localización, distancia en relación al centro, sistema de transporte público disponible), densidad residencial, y diseño urbano (caracterización de la red local de calles). Estos indicadores se estudiarán en un área de influencia de radio 500 m. del acceso al establecimiento (distancia considerada razonable a recorrer a pie).

La diversidad de usos de suelo se ha medido en variados estudios utilizando una amplia gama de indicadores, desde simples recuentos hasta complejos índices. En este caso se optó por estudiar cuatro indicadores: la Entropía (Entrop), la Diversidad (Divers), el Índice de Simpson (Simp) y la Longitud de Interacción (Interac), ya sea por su uso generalizado en este tipo de estudios, por la facilidad en su definición, o por su capacidad para medir interacción o complementariedad entre usos de suelo.

La Entropía se definió en este estudio como:

$$\text{Entropía} = -\sum \ln P_i (\ln P_i / \ln n) \quad (1)$$

Donde "Pi" son las proporciones de cada una de las categorías de usos de suelo y "n" es igual al número de categorías estudiadas. En esta caso, los usos de suelo relevados se clasificaron en siete categorías: residencial, comercial, educativo, salud, industrial, recreativo y otros.

Para el caso de la Diversidad (Rajamani et al., 2002), se modificó la ecuación de Rajamani cambiando el uso industrial por la suma de usos educativo y de salud, considerando en otros usos la suma de las categorías industrial, recreativo y otros.

$$\text{Diversidad} = 1 - \left(\left[\left(\frac{\text{res}}{t-1/4} \right) + \left(\frac{\text{com}}{t-1/4} \right) + \left(\frac{\text{edu} + \text{sal}}{t-1/4} \right) + \left(\frac{\text{otro}}{t-1/4} \right) \right] / 3/2 \right) \quad (2)$$

El Índice de Simpson se definió como:

$$\text{Índice Simpsons} = 1 - \sum p_i^2 \quad (3)$$

Donde "pi" es la proporción del área de cada una de las siete categorías de uso de suelo relevadas.

Finalmente, la Longitud de Interacción, se definió considerando los bordes de interacción entre polígonos de usos Residencial con aquellos usos que se consideró pueden existir propósitos de viaje posibles. Estos son: uso comercial, educativo, de salud y recreativo.

Entre los indicadores para medir la accesibilidad, se encuentran la distancia al centro de negocios de la ciudad, ya sea medida en línea recta, o bien por ruta vehicular, la distancia a la parada de transporte público más cercana al polo generador en estudio, el número de líneas que sirven dicha parada, como así también la cantidad de paradas y líneas de transporte público en el área de influencia.

La densidad se define como el cociente de la población del área en estudio a la superficie de dicha área. La población de la zona de influencia se determinó a partir de los datos del censo realizado por la Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba en toda la Provincia en el

año 2008, y aplicando a la población obtenida, una tasa de crecimiento anual del 0,4% a fin de obtener la población al año en curso.

El diseño urbano hace referencia a la caracterización de la red local de las calles. Estos indicadores buscan capturar la adecuación de las calles del barrio para el uso de peatones y bicicletas. Los indicadores estudiados en este caso fueron la cantidad de manzanas, el número de nodos, la cantidad de cul de sacs y la longitud de enlaces en el área de influencia.

Las variables relevadas para caracterizar los viajes fueron el número de viajes generados con origen o destino en el hogar, la modalidad empleada y el motivo de los viajes. En cuanto a la cantidad de viajes generados, se estudiaron los viajes producidos y los atraídos por cada uno de los emprendimientos en las horas pico, como así también, los generados por unidad de vivienda para un día completo. Todos estos viajes corresponden a días de semana.

La obtención de las variables descritas se concretó mediante el estudio de planos e imágenes satelitales disponibles, relevamientos in situ, entrevistas con los desarrollistas y administradores de los sitios bajo estudio, como así también a través de conteos manuales de vehículos en los ingresos a los emprendimientos y encuestas a los residentes. Entre los planos disponibles, se encuentran planos de transporte público de pasajeros de la Municipalidad de Córdoba, y los planos disponibles en el servidor Google Maps. Cabe destacar el uso de imágenes satelitales y del reciente servicio de imágenes panorámicas de Google, Street View, disponible desde septiembre de 2014 para la ciudad de Córdoba, que permite recorrer la mayoría de las calles de la ciudad con imágenes panorámicas a nivel de calle en 360° de movimiento horizontal y 290° de movimiento vertical. Esta resultó una herramienta muy potente y útil para completar los relevamientos realizados in situ.

En cuanto a las características de los conteos, y siguiendo los lineamientos propuestos por el Trip Generation Handbook (2001), se realizaron conteos de volúmenes de tránsito direccionales (entrando y saliendo del desarrollo) fraccionados en períodos de 15 minutos durante los períodos pico de la mañana y de la tarde del polo generador. Los conteos fueron realizados días de semana, entre martes y jueves, de forma manual, en los accesos a los establecimientos y permitieron determinar también la modalidad de los mismos.

Con respecto a la encuesta, fue desarrollada en formato papel y en formato digital para ser respondida ingresando a Internet a fin de llegar a la gente por diferentes vías de comunicación, logrando un mayor número de respuestas. El formulario desarrollado para la encuesta consta de cuatro secciones: la primera sección busca recolectar datos con respecto a la vivienda. Busca conocer la cantidad de personas que viven en el hogar, dormitorios que posee, y vehículos disponibles, distinguiendo entre automóviles (autos/camionetas), motos y bicicletas. La sección dos, datos con respecto a las personas. Se busca conocer características de tipo demográficas del hogar. Para ellos se pregunta sobre Edad, Sexo, Nivel Educativo, Ocupación de cada uno de los integrantes del hogar y si poseen o no Licencia de Conducir. Se pregunta también si en el día correspondiente al registro de viajes alguna persona ajena al hogar viaja hacia y/o desde la vivienda. La sección tres recolecta datos con respecto a los viajes (sentido del viaje, hora, modo y motivo). Se solicita anotar los datos con respecto a los viajes realizados por todas las personas que habitan la vivienda como así también por personas ajenas a la misma durante un día de semana (martes, miércoles o jueves) completo (de 0 a 24 horas). Finalmente, la sección cuatro, de respuesta opcional, se refiere a los ingresos del hogar. Se desea conocer el rango en que se encuentran los ingresos totales del hogar.

4. ESTUDIO DE CASOS

Como se mencionara anteriormente, esta investigación se centra en el estudio de casos en la ciudad de Córdoba, Argentina. La ciudad de Córdoba se ha ido expandiendo cada vez más en búsqueda de

tierra más barata y mejores condiciones de habitabilidad, conformándose así nuevos loteos tales como country y barrios cerrados. Estas nuevas urbanizaciones asentadas a las afueras de la ciudad en general no poseen un buen servicio de transporte urbano de pasajeros, ya que la falta de conectividad obliga a que se alarguen los recorridos y esto dificulta notablemente la prestación del mismo, con el aumento consecuente de sus costos y sin una demanda suficiente para satisfacer dichos gastos. Por otro lado, en las zonas más próximas al centro de la ciudad, debido a los elevados costos de la tierra en estos sectores, se tiende al desarrollo de emprendimientos en altura, conformándose así emprendimientos tales como condominios residenciales o barrios cerrados en altura. Estos poseen generalmente un mejor servicio de transporte urbano de pasajeros y suelen ubicarse en zonas con usos de suelo mixto.

A fin de caracterizar estos dos ambientes bien diferenciados, se procedió a relevar los principales emprendimientos residenciales de la ciudad, caracterizándoles a fin de optar por aquellos que mejor se adecuen al estudio.

Entre las características contempladas al momento de optar por los emprendimientos se encuentran: nivel socioeconómico similar entre los diferentes emprendimientos, ubicación en zonas de densidad de población alta y baja, usos de suelo puramente residenciales y usos mixtos, sectores con servicio de transporte urbano de pasajeros buenos y servicios escasos. En cuanto a la muestra, la cantidad de desarrollos a estudiar, será de al menos tres por cada tipología de establecimiento residencial. Cada desarrollo a elegir deberá tener una ocupación razonablemente alta (al menos 85%), y deberá ser madura (al menos 2 años de antigüedad) y estar localizado también en un área madura (desarrollo estabilizado), con acceso único o por entradas limitadas, y permiso de propietario o administrador para realizar los relevamientos. Bajo estas condiciones, los emprendimientos seleccionados para el estudio se muestran en la Figura N° 1.

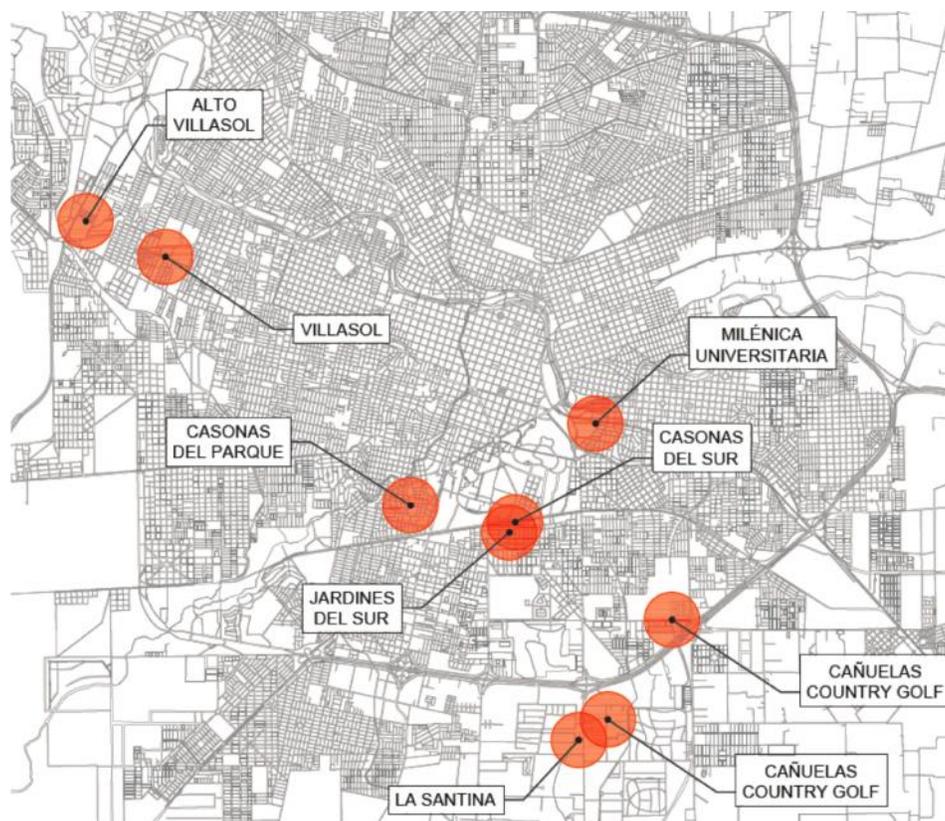


Figura N° 1. Ubicación de los Emprendimientos Residenciales Estudiados

Las Tablas Nº 3 y Nº 4 ofrecen los valores de los distintos indicadores obtenidos como resultado de los relevamientos del entorno urbano. Por otro lado, se obtuvieron datos acerca de los viajes generados en auto en horas pico de la mañana y de la tarde por cada uno de los emprendimientos. Y a partir de estos, las tasas de generación y tasas medias por tipología, según se muestra en la Tabla Nº 5.

Tipología	Emprendim. Residencial	Unidades	Densidad [Pob/Ha]	Indicadores de usos de suelo				Distancia [Km] Centro	
				Divers.	Entrop.	Simp.	Interac.	Auto	Recta
Condominio	Casonas Parque	96	56.53	0.29	0.44	0.38	4477	3.70	3.00
	Casonas Sur	217	50.78	0.34	0.46	0.42	4497	3.00	2.85
	Jardines Sur	48	64.74	0.33	0.53	0.42	5924	3.20	3.05
Country	Claros Bosque	210	19.62	0.35	0.50	0.53	38	7.30	5.55
	La Santina	56	3.26	0.33	0.57	0.41	1539	7.80	7.00
	Cañuelas	90	3.46	0.34	0.38	0.41	205	7.80	6.75
Edificio	Milenica	520	54.07	0.53	0.70	0.60	2926	2.20	2.05
	Villasol	834	39.05	0.69	0.76	0.69	1544	6.40	6.15
	Alto Villasol	989	20.40	0.66	0.71	0.66	1000	8.30	7.55

Tabla Nº 3: Número de Unidades de vivienda e Indicadores de Usos de Suelo y Ubicación.

Emprendimiento Residencial	Manzanas	Nodos	Long[m] Enlaces	Paradas Transp Publico	Líneas en Paradas	Dist [m] Parada Cercana	Líneas en Parada Cercana
Casonas del Parque	76	104	15.63	21	14	305	2
Casonas del Sur	45	58	12.41	20	12	210	4
Jardines del Sur	45	68	13.41	19	13	110	4
Claros del Bosque	24	46	12.11	5	1	150	1
La Santina	6	12	3.92	7	1	125	1
Cañuelas	5	17	5.25	4	1	530	1
Milenica	49	71	12.96	25	20	374	2
Villasol	32	59	9.46	15	5	115	5
Alto Villasol	23	27	5.35	9	4	285	1

Tabla Nº 4: Indicadores de Diseño Urbano y Accesibilidad.

Emprendimiento	Producidos AM	Producidos PM	Total AM	Total PM	Tasa Auto AM	Tasa Auto PM
Claros del Bosque	121	66	151	154	0.72	0.73
La Santina	42	37	62	86	1.11	1.54
Cañuelas	52	56	78	117	0.87	1.30
Tasa media de generación en Countries					0.90	1.19
Milenica	128	68	154	163	0.30	0.31
Villasol	171	74	228	218	0.27	0.26
Alto Villasol	236	139	319	474	0.32	0.48
Tasa media de generación en Departamentos					0.30	0.35
Casonas del Parque	30	21	38	50	0.40	0.52
Casonas del Sur	49	33	58	70	0.27	0.32
Jardines del Sur	16	13	21	28	0.44	0.58
Tasa media de generación en Condominios					0.37	0.48

Tabla Nº 5: Viajes producidos y generados en auto. Tasas de generación de viajes.

Comparando estos valores con los valores del ITE, según se muestra en la Tabla N° 6, puede observarse que para el caso de los countries, comparables con el uso de suelo correspondiente al código 210 del ITE (Vivienda unifamiliar), las tasas medias observadas son un 14% superiores, tanto en horas pico de la mañana como de la tarde. Por el contrario, para las tipologías de mayor densidad, se tienen tasas de generación menores a las tasas del ITE, del orden de 14% menos.

Tipología Emprendimiento	Tasas Observadas		Tasas ITE			Comparación ITE	
	Pico AM	Pico PM	Código	Pico AM	Pico PM	Pico AM	Pico PM
Country	0.90	1.19	210	0.77	1.02	14%	14%
Departamentos	0.30	0.35	222	0.34	0.40	-14%	-14%
Condominio	0.37	0.48	230	0.44	0.52	-20%	-9%

Tabla N° 6: Comparación entre Tasas Medias de Generación en Auto observadas y tasas del ITE.

Finalmente, la Tabla N° 7, relaciona las tasas de generación de viajes en auto de los emprendimientos de baja densidad, con los de alta densidad, tanto para los valores observados como para los valores del ITE. Esta relación muestra que la tasa de los countries es cercana a 3 veces mayor que la de los condominios y torres de departamentos en cuanto a los valores observados (2,5 para condominios y 3,2 para torres de departamentos), mientras que en el caso de los valores del ITE, esta relación es más cercana a 2 (1,9 para condominios y 2,4 para torres de departamentos).

	Relación de tasas Country/Departamentos			Relación de tasas Country/Condominio		
	Observadas	ITE	Comparación	Observadas	ITE	Comparación
Pico AM	3.02	2.26	25%	2.45	1.75	28%
Pico PM	3.39	2.55	25%	2.5	1.96	22%
Promedio	3.20	2.41	25%	2.47	1.86	25%

Tabla N° 7: Relación entre tasas de generación en auto en emprend. de baja y alta densidad

Con respecto a los relevamientos de datos mediante el uso de encuestas, cabe destacar una serie de dificultades enfrentadas que hicieron imposible la recolección de una muestra estadísticamente representativa. Entre estas dificultades, se destaca la falta de interés sumado a las dificultades para comprender y responder las encuestas sin la ayuda de un encuestador de las personas que recibieron la encuesta por mail o bien junto con las expensas. En este primer relevamiento, se obtuvo un porcentaje muy bajo de respuestas que hizo rever el método de recolección de los datos. Luego, se decidió realizarlas personalmente, y surgió entonces una nueva dificultad, la obtención de los permisos para ingresar a los emprendimientos. Es por ello que, si bien se había planteado inicialmente realizar las encuestas en todos los emprendimientos seleccionados y con un objetivo de lograr un número de encuestas estadísticamente representativo, se decidió realizar las encuestas en un emprendimiento de cada tipología, obteniendo una muestra mínima deseada de 40 encuestas, o un mínimo absoluto de 30 encuestas. La Tabla N° 8 resume los principales resultados obtenidos de las encuestas realizadas.

	Torres de deptos	Condominio	Country
	Alto Villasol	Casonas Parque	Claros del Bosque
Hogares encuestados	43	31	42
Promedio Personas H por Hogar	2.21	2.32	3.45
Promedio de Autos por Hogar	1.12	1.10	1.57
Cantidad de Hogares con auto	91%	84%	100%
Viajes en Modos Sustentables (%)	28%	18%	12%
Viajes Modos Sustentables por hogar	2.07	1.29	1.19

	Torres de deptos	Condominio	Country
	Alto Villasol	Casonas Parque	Claros del Bosque
Viajes en auto por hogar	3.51	3.65	5.26
Viajes en auto por persona	1.59	1.57	1.52
Viajes en auto por vehículo	3.15	3.32	3.35

Tabla N° 8: Resultados de las encuestas realizadas en el hogar

Comparando los valores de tasas de generación de viajes en auto diarias obtenidas de las encuestas con las tasas del ITE, se desprende que las tasas diarias reportadas son muy inferiores a las tasas del ITE. Por otro lado, se puede observar que existe una alta dependencia del uso del automóvil en los countries, donde todos los hogares poseen al menos un auto, y donde el porcentaje de viajes en modos sustentables (a pie, en bicicleta o en ómnibus) es mucho menor que en los emprendimientos ubicados en sectores de mayor densidad y diversidad de usos de suelo.

En cuanto a las tasas de generación en auto obtenidas, cabe destacar la gran semejanza de las tasas por personas y por vehículos para los tres emprendimientos, no así en las tasas por hogar, donde la tasa del country es mucho mayor. Esto es explicado por el mayor promedio de personas que habitan en los hogares ubicados en esta tipología, donde se asientan generalmente familias con hijos en edad escolar. Por el contrario, en los departamentos y condominios, viven en su mayoría, parejas jóvenes sin niños o con un hijo pequeño, parejas mayores o adultos solos.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS VIAJES Y FORMULACIÓN DE MODELOS DE GENERACIÓN

En cuanto a los modelos de generación, se desarrollaron diferentes modelos, tanto para los viajes generados en horas pico de la mañana y de la tarde, como para los viajes producidos en el total de las horas pico. En todos los casos se trabajó con regresiones lineales, mediante un método iterativo, agregando y quitando variables, hasta obtener un modelo que, sin llegar a ser demasiado complejo, permitiera una mejor inferencia estadística.

Se estudian los viajes generados, como la suma de los viajes producidos más los atraídos por cada uno de los emprendimientos, es decir, aquellos viajes que tienen su origen o destino en los hogares estudiados.

En primer lugar, se plantean modelos de generación de viajes para cada una de las tipologías, como lo plantea la metodología del ITE en su manual, en función del número de unidades de vivienda.

Tipología Country

$$\text{Auto AM} = 0.59 * \text{Unidades} + 27.47 \quad R^2 = 1.00 \quad (4)$$

$$\text{Auto PM} = 0.41 * \text{Unidades} + 70.76 \quad R^2 = 0.93 \quad (5)$$

Tipología Condominio

$$\text{Auto AM} = 0.21 * \text{Unidades} + 13.91 \quad R^2 = 0.96 \quad (6)$$

$$\text{Auto PM} = 0.23 * \text{Unidades} + 21.37 \quad R^2 = 0.93 \quad (7)$$

Tipología Torres de departamentos

$$\text{Auto AM} = 0.33 * \text{Unidades} - 27.88 \quad R^2 = 0.94 \quad (8)$$

$$\text{Auto PM} = 0.59 * \text{Unidades} - 177.35 \quad R^2 = 0.73 \quad (9)$$

Los modelos obtenidos poseen altos coeficientes de determinación R^2 . Sin embargo, cabe destacar que se trata de regresiones lineales simples sobre conjuntos de sólo tres datos (cantidad de datos

mínima exigida por la metodología del ITE). Las Figuras Nº 2 a Nº 7 muestran estas relaciones, junto a los conjuntos de datos relevados y la comparación con las ecuaciones y tasas medias del ITE.

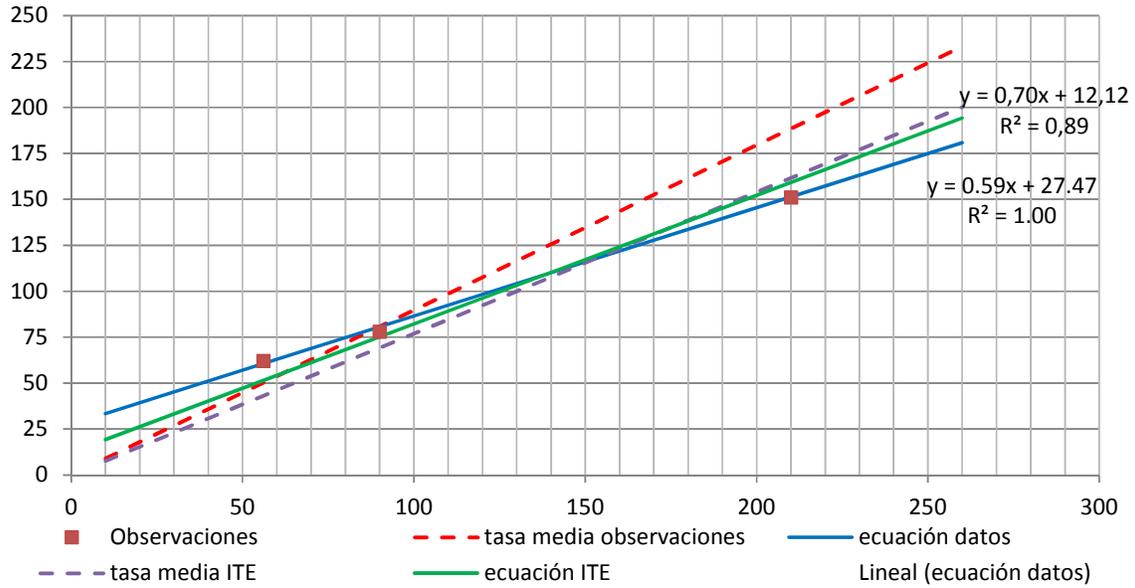


Figura Nº 2: Relación entre los viajes en auto AM y las unidades de vivienda en Countries

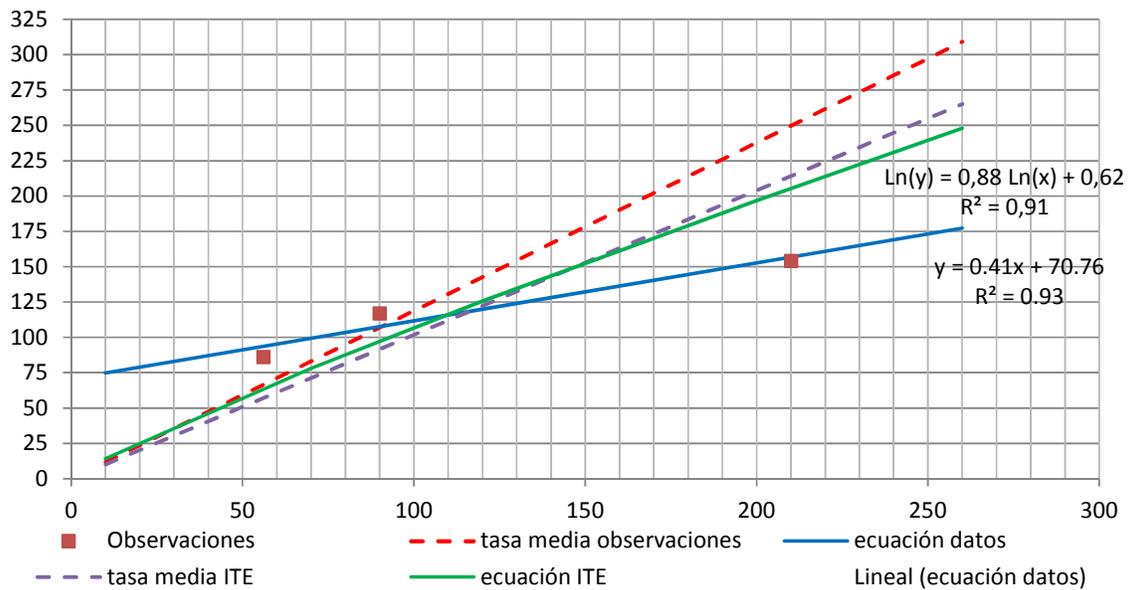


Figura Nº 3: Relación entre los viajes en auto PM y las unidades de vivienda en Countries

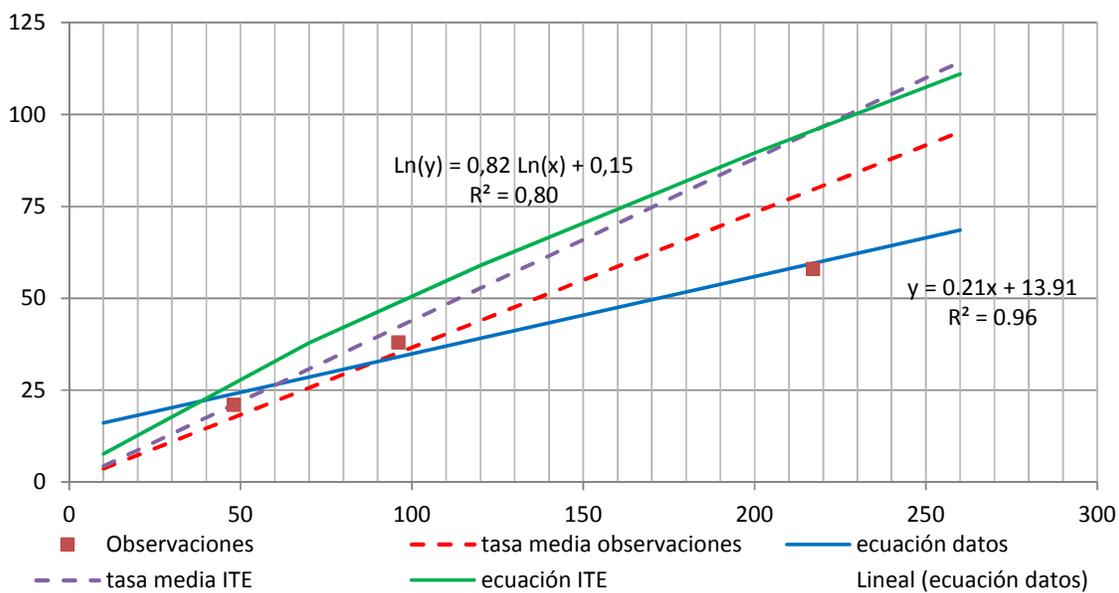


Figura Nº 4: Relación entre los viajes en auto AM y las unidades de vivienda en Condominios

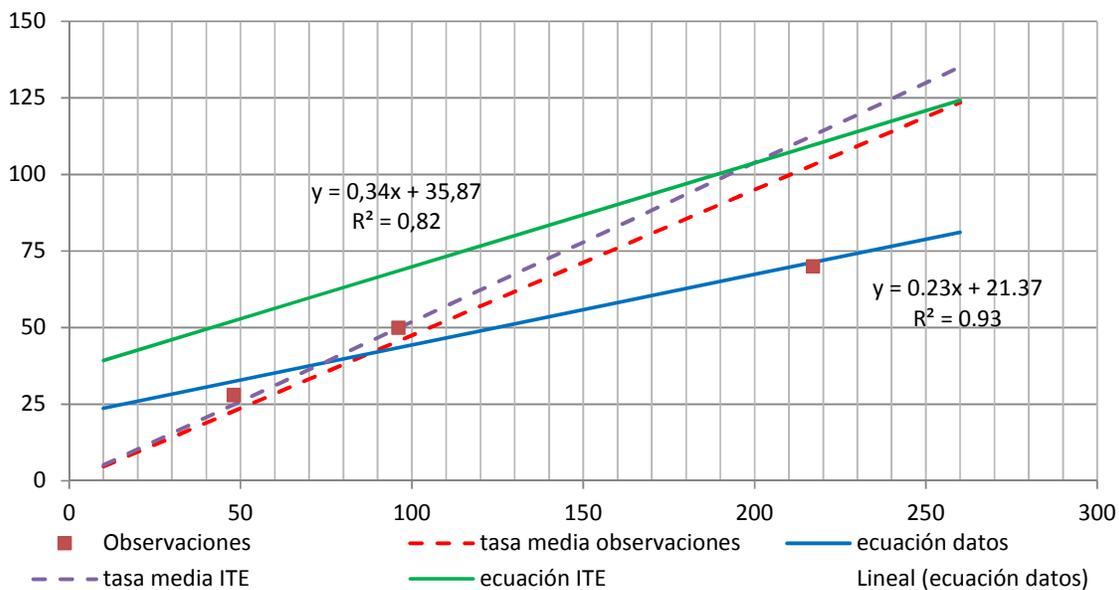


Figura Nº 5: Relación entre los viajes en auto PM y las unidades de vivienda en Condominios

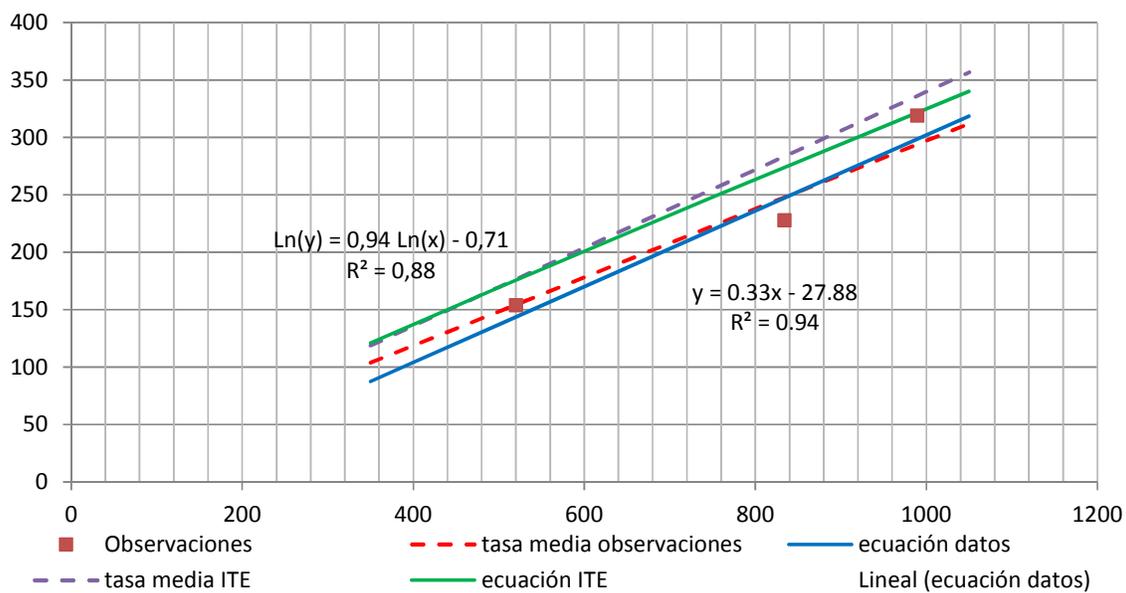


Figura N° 6: Relación viajes en auto AM y las unidades de vivienda en Torres de Departamentos

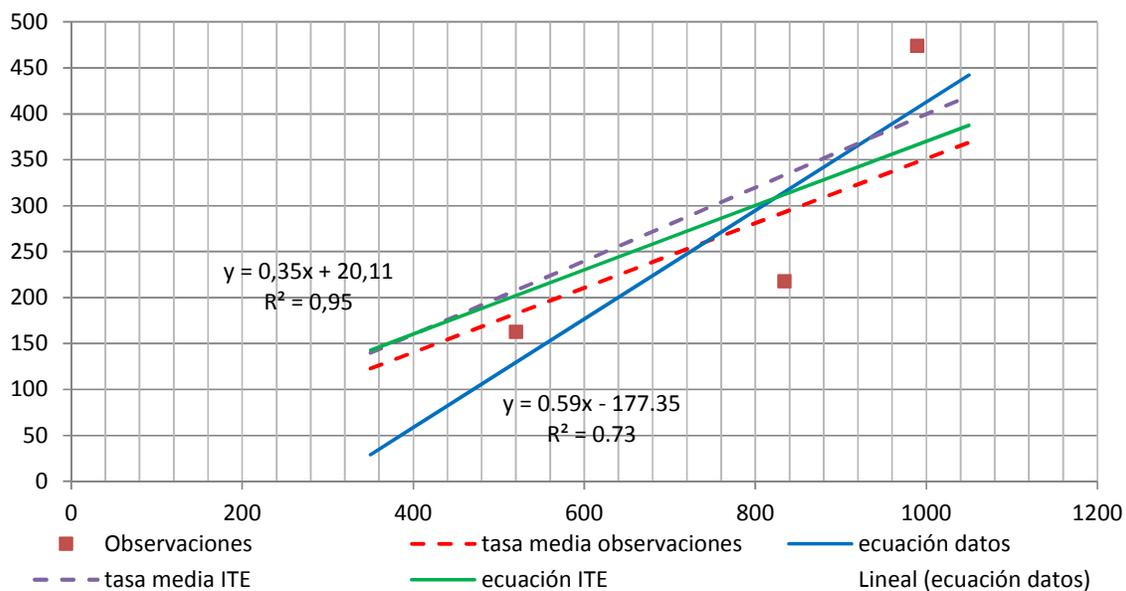


Figura N° 7: Relación viajes en auto PM y las unidades de vivienda en Torres de Departamentos

A continuación, y a diferencia de la metodología propuesta en el manual del ITE, se estudian modelos generales, abarcando todas las tipologías de emprendimientos e incluyendo, además de la variable unidades de vivienda, variables relativas al entorno. Se presentan aquí solamente los modelos que mejor logran explicar la generación de los viajes, sin llegar a ser demasiado complejos.

$$\text{AutoAM} = 0.303 * \text{Unidades} + 61.1 * \text{Dcountry} \quad R^2 = 0.99 \quad (10)$$

$$\text{AutoPM} = 0.378 * \text{Unidades} + 74.1 * \text{Dcountry} \quad R^2 = 0.94 \quad (11)$$

Como puede observarse, los modelos a los que se arribó no poseen variables relativas al entorno, incorporando solamente variables de tipo dummy que permiten incorporar al modelo la variable cualitativa que define la tipología de emprendimiento. Para el caso de los modelos de generación de viajes en auto, resulta importante definir si el emprendimiento en estudio es country o no.

Si observamos la Figura N° 8 de los viajes con respecto a las unidades de vivienda, es posible visualizar como los valores observados en los emprendimientos de tipologías condominios y departamentos se encuentran prácticamente alineados entre sí, no así los correspondientes a countries, que se encuentran también aproximadamente alineados entre sí, pero en una línea con ordenada mayor. Esto explica por qué resulta importante considerar una variable dummy que contemple la clasificación de los emprendimientos en country o no.

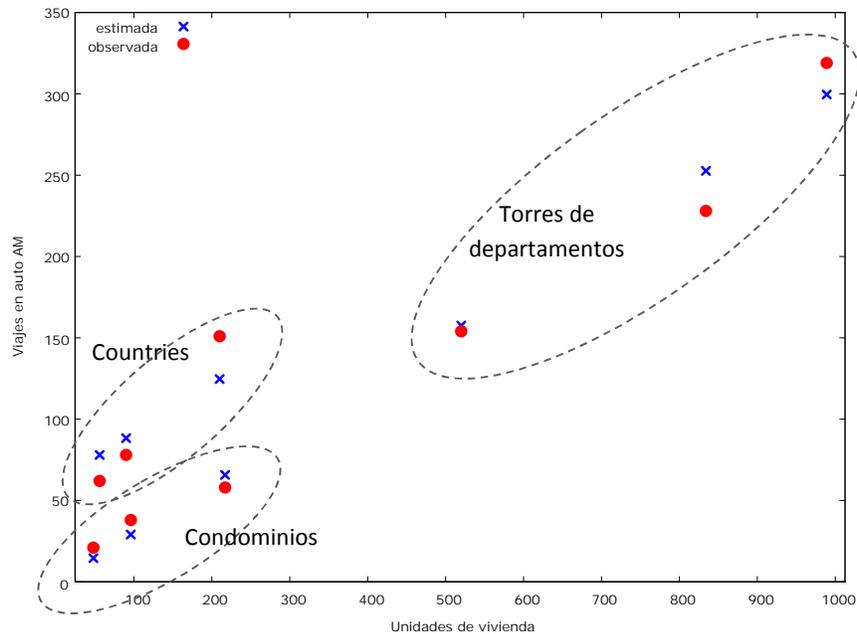


Figura N° 8: Viajes generados en auto en hora pico AM respecto a unidades de vivienda

Los indicadores utilizados para la elección del modelo fueron el coeficiente R2 corregido, la suma de cuadrados de residuos y la desviación típica de la regresión, criterios de decisión de Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn, niveles de significancia y desviación típica de las variables independientes. Se realizaron las pruebas de no colinealidad entre las variables independientes, de normalidad de los residuos, de homocedasticidad.

Finalmente, se estudian los viajes totales producidos durante las horas pico, relacionándolos con la variable unidades de vivienda, como así también con variables relativas al entorno. Se define a los viajes producidos totales como la suma de los viajes con origen en cada uno de los emprendimientos en la hora pico de la mañana más los viajes con origen en cada uno de ellos en la hora pico de la tarde. En estos casos sí resultaron significativas algunas variables relativas al entorno, más precisamente, aquellas que definen la diversidad en los usos de suelo circundante.

En la Figura N° 9, con la cantidad de unidades en abscisas y el número de viajes producidos en ordenadas, se muestra la relación entre ambas variables y la aproximación mediante una regresión lineal simple.

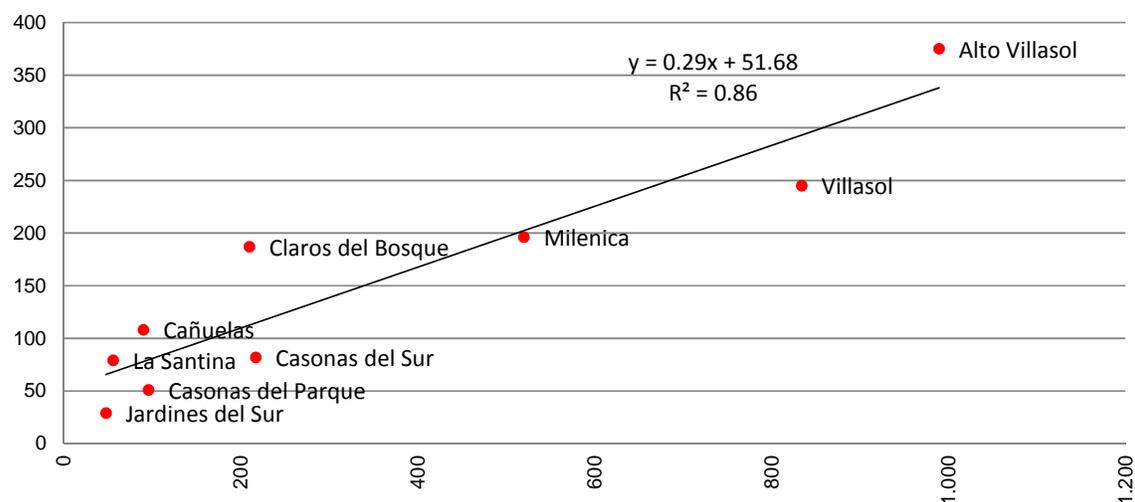


Figura N° 9: Relación entre Viajes Producidos en Auto en las horas pico y Unidades de Vivienda

Al estudiarlo en detalle, puede observarse que, para un número de unidades de vivienda similares en un emprendimiento tipo Condominio y en uno tipo Country, se da que los viajes producidos en auto van por encima de la regresión lineal mientras que sucede al contrario en el condominio. Es decir, para un número similar de unidades de viviendas, los viajes en auto en el country son mayores que en la tipología de viviendas colectivas tipo condominios.

Incorporando al estudio variables relativas al entorno, se obtiene el siguiente modelo:

$$\text{Producidos Auto} = 163 + 0,569 \cdot \text{Un} + 77,9 \cdot \text{Dcountry} - 543 \cdot \text{Divers} \quad R^2 = 0.96 \quad (12)$$

Cabe aclarar, sin embargo, que contemplando las variables explicativas unidades de vivienda y dummy, se logra una buena inferencia, y si bien, la incorporación de la variable Diversidad, mejora la aproximación, dada la complejidad de su obtención, se considera conveniente reportar también aquel modelo que no considera esta variable.

$$\text{Producidos Auto} = 10,7 + 0,338 \cdot \text{Un} + 73,9 \cdot \text{Dcountry} \quad R^2 = 0.95 \quad (13)$$

6. CONCLUSIONES

A partir del estudio de 9 emprendimientos de tres tipologías residenciales diferentes y con distintas características en su entorno urbano, se han obtenido tasas de generación de viajes en auto, y formulado modelos.

Las tasas de generación de viajes por hogar obtenidas en horas pico de la mañana y de la tarde, muestran grandes diferencias entre los dos ambientes estudiados y con las tasas del ITE, lo que afirma la necesidad de realizar estudios locales.

Del análisis de los modelos obtenidos surge que las principales variables explicativas de los viajes generados son el número de unidades de vivienda ocupadas y la tipología de emprendimiento. Algunas variables asociadas a la diversidad y complementariedad de usos de suelo también

mostraron una buena correlación con los viajes producidos, permitiendo mejorar la bondad de predicción de los modelos correspondientes. Las variables de diseño urbano y accesibilidad al transporte público no mostraron en general buena correlación con los viajes generados.

El proyecto apunta a resolver una necesidad creciente de generar acciones orientadas a promover una movilidad urbana sustentable. Para ello resulta necesario disponer de datos y herramientas de análisis aplicables al tránsito y las actividades urbanas. La estimación de tasas y modelos de generación permitirá cuantificar adecuadamente en el futuro, el impacto de emprendimientos residenciales sobre la movilidad urbana, convirtiéndose en una importante herramienta para la planificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, R y GUERRERO, G (2008). *Determinación de índices de generación de viajes para conjuntos residenciales de la ciudad de Mérida*. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- ARRINGTON, G. B. y CERVERO, R. (2008). Vehicle Trip Reduction Impacts of Transit-Oriented Housing. *Journal of Public Transportation, Vol. 11, No. 3*.
- GORI, S.; NIGRO, M.; PETRELLI, M. (2013) Land use and public transport interaction, *World Conference on Transport Research WCTR XIII*. Rio de Janeiro, Brasil.
- GRIECO, E. P. (2010). *Taxas de Geração de Viagens em Condomínios Residenciais – Niterói – Estudo de Caso, Rio de Janeiro*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- HANDY, S.; CAO, X. y MOKHTARIAN, P. (2005). Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment 10 (6), 427-444*.
- HANDY, S.; SHAFIZADEH, K. y SCHNEIDER, R. (2013). *California Smart-Growth Trip Generation Rates Study*. University of California, Davis for the California Department of Transportation.
- KHATTAK, A. J. y RODRIGUEZ, D (2005). Travel Behavior In Neo-Traditional Neighborhood Developments: A Case Study In Usa. *Transportation Research Part A 39. 481–500*.
- KIMLEY-HORN AND ASSOCIATES, INC. (2008). *Trip-Generation Rates for Urban Infill Land Uses in California*. Prepared for The California Department of Transportation (Caltrans), by Association of Bay Area Governments (ABAG).
- LA PAIX, L.; MONZÓN, A. y CHERCHI, E. (2012) Modelling the relationship between Urban Environment and Travel Behaviour: Policy and Indicators. *International Scientific Conference on Mobility and Transport*.
- NITTRANS.(2011) *Niteroi, Transporte e Transito*. Caderno Técnico 01/2011.
- ORTÚZAR, J y WILLUMSEN, L, (2011) *Modelling Transport*. John Wiley and Sons.
- PORTUGAL L. S. (Org.) (2012) *Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental: Modelos e Taxas de Geracao de Viagens*, Editora Interciencia, Rio de Janeiro.
- PORTUGAL, L. S.; FLOREZ, J.; SILVA, A. N. R.(2010) Rede de Pesquisa em Transportes: Um Instrumento de Transformacao e Melhora da Qualidade de Vida, *Transporte, vol XVIII, n°1, p.6-16*.
- PORTUGAL, L. S. y GOLDNER, L. G., (2003) Estudo de Polos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes. 1ª Edição. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo.
- RAJAMANI J., BHAT, C.R., HANDY, S., KNAAP G., SONG, Y., (2002), Assessing the Impact of Urban Form Measures in Nonwork 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 de Maestría en Transporte. UNC. Córdoba, Argentina
- RIERA, A. y BRUSA, M. J. (2012). Impacto Del Ambiente Construido Sobre Los Viajes Motorizados. *XVII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística*. Santiago. Chile.
- RIERA, A. y GALARRAGA, J. (2013). Influencia del ambiente construido en la Generación de viajes a pie en la ciudad de Córdoba. *ANPET XXVII*. Belém, Brasil.
- TRIP GENERATION HANDBOOK (2001). Institute of Transportation Engineers (ITE), Washington.
- TSAI, C.; MULLEY C. y CLIFTON G. (2012). The spatial interactions between public transport demand and land use characteristics in the Sydney Greater Metropolitan Area. *Road & Transport Research*. Vol 21 No 4, pp 62-73.
-