

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



**Determinación del Índice de Generación de Viajes para Centros Comerciales en el  
Departamento de Guatemala**

INGENIERO CIVIL JOSÉ LUIS ARGUETA MAYORGA

ASESORADO POR ING. MSC. JOSÉ SANTOS MONZÓN GÁMEZ

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**Determinación del Índice de Generación de Viajes para Centros Comerciales en el  
Departamento de Guatemala**

TESIS

PRESENTADA AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA DE INGENIERÍA VIAL

POR

INGENIERO CIVIL JOSÉ LUIS ARGUETA MAYORGA

ASESORADO POR ING. MSC. JOSÉ SANTOS MONZÓN GÁMEZ

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA VIAL

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

Decano	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal I	Inga. Glenda Patricia García Soria
Vocal II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
Vocal III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
Vocal IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
Vocal V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
Secretario	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

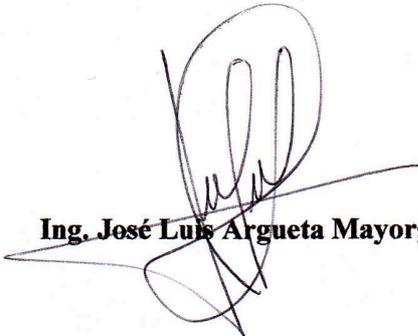
Decano	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Examinador	Ing. César Augusto Akú Castillo
Examinador	Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla
Examinador	Ing. Edgar de León Maldonado
Secretario	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos establecidos de la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**Determinación del Índice de Generación de Viajes para Centros Comerciales en el  
Departamento de Guatemala**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha



**Ing. José Luis Argueta Mayorga**

**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**

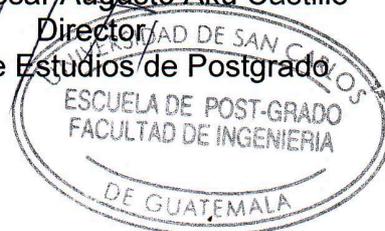


Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del trabajo de tesis de graduación titulado **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA CENTROS COMERCIALES EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **José Luis Argueta Mayorga**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA CENTROS COMERCIALES EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **José Luis Argueta Mayorga**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. José Santos Monzón Gámez  
Coordinador  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

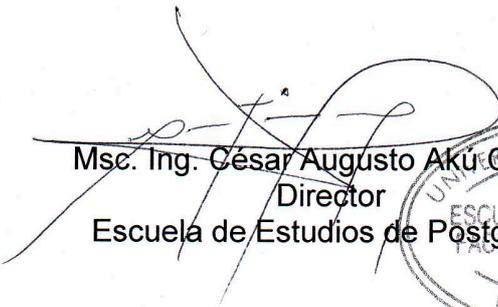
**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA CENTROS COMERCIALES EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA** presentado por el Ingeniero Civil **José Luis Argueta Mayorga**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

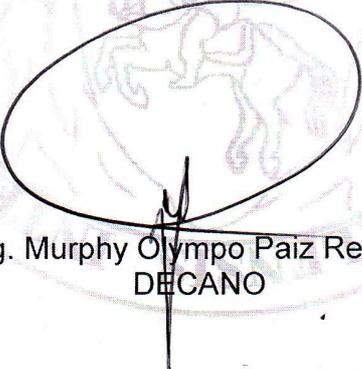


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. D. Postgrado 008.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA CENTROS COMERCIALES EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **José Luis Argueta Mayorga** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, octubre de 2010

/la

## **AGRADECIMIENTOS**

Usualmente se debe en esta sección, por gratitud o simplemente como un motivo de reconocimiento para las personas que han influido para alcanzar este objetivo, aunque hay otras que aprovechan este espacio para agradecerles por situaciones que han contribuido en el diario vivir, siendo difícil dejar de nombrar a un familiar o ser querido, aún sabiendo que el apoyo brindado por ambos no delimita privilegios, el efecto que hace en nuestra existencia es lo importante, retribuyéndoles con nuestras acciones durante el tiempo que compartimos con cada uno de ellos cada día, particularmente, con mis acciones he agradecido a las personas que influyeron en mí, por lo que no hace falta que escriba en esta hoja sus nombres, porque cometería la imprudencia de caer en el olvido momentáneo de ese ser o este espacio se convierte en un trivial y mal medio que refleje un apropiado agradecimiento.

A todos los que me han ayudado, les digo que pueden sentirse satisfechos de saber, que, no ha sido mi logro el que se reconoce al alcanzar este objetivo, sino que ha sido un trabajo realizado por todos, por lo que conjuntamente todos lo hemos logrado.

Muchas Gracias a esos seres queridos que alcanzaron conmigo, este grado académico.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS</b>	III
<b>LISTA DE TABLAS</b>	IV
<b>GLOSARIO</b>	V-VII
<b>RESUMEN</b>	IX - X
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>ANTECEDENTES</b>	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XV
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b>	1
1.1 Estimación de la generación de viajes dentro del proceso de planificación del transporte	1
1.2 Generación de viajes, primer paso del proceso de planificación	2
1.3 Modelos de estimación en la generación de viajes	5
1.3.1 Modelos de factores de crecimiento	
1.3.2 Modelos de regresión	
1.3.3 Modelos de análisis de índices de viajes	
1.3.4 Modelos de clasificación cruzada	
1.4 Análisis comparativo de los modelos de estimación	17
1.5 Índices de generación de viajes, Método sencillo de estimación	21
1.5.1 Modelo de estimación de generación a través de Índices	
1.5.2 Índices de generación de viajes y estudios de impacto vial (EIV)	
1.6 Actividades urbanas como generadoras de viajes	32
1.6.1 Desarrollo urbano, movilidad y transporte	
1.6.2 Principales actividades urbanas y sus características de transporte	
1.6.3 Polos generadores de viajes	
1.6.4 Principales polos generadores de viajes en la ciudad de Guatemala	
<b>CAPÍTULO 2 “Determinación del índice de generación de viajes para pequeños centros comerciales”</b>	47
2.1 Centros comerciales y sus características como polos generadores de viajes	
2.2 Centros comerciales en la metodología del instituto de ingenieros de transporte (Institute of Transportation Engineers, ITE)	

- 2.3 Cálculo y análisis de resultados de la investigación
- 2.4 Comparación de resultados obtenidos con los índices propuestos por el Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE)

<b>CONCLUSIONES</b>	73
<b>RECOMENDACIONES</b>	77
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	79
<b>APÉNDICE</b>	81
<b>ANEXOS</b>	95

### LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1	Centro Comercial Mix, San Cristóbal	54
Figura No. 2	Vista Aérea Centro Comercial Mix, San Cristóbal	54
Figura No. 3	Centro Comercial La Cerca, Mariscal, zona 11	55
Figura No. 4	Vista Aérea Centro Comercial La Cerca, Mariscal, Zona 11	56
Figura No. 5	Vista Aérea Centro Comercial Plaza San Cristóbal	57
Figura No. 6	Centro Comercial Plaza San Cristóbal	58

### LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1	Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)	62
Gráfica No. 2	Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)	62
Gráfica No. 3	Modelo de generación considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)	63
Gráfica No. 4	Modelo de generación considerando el área de ventas para el día en fin de semana (sábado)	63
Gráfica No. 5	Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)	66
Gráfica No. 6	Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)	66
Gráfica No. 7	Modelo de generación considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)	67
Gráfica No. 8	Modelo de generación considerando el área de ventas para el día en fin de semana (sábado)	67

**LISTA DE TABLAS****Pág.**

Tabla No. 1	Generadores de viajes y variables independientes	24
Tabla No. 2	Polos generadores de viajes y sus características	41
Tabla No. 3	Medidas mitigadoras del impacto causado por los polos generadores sobre la fluidez del tránsito	44
Tabla No. 4	Viajes vehiculares (ingresos más egresos) en hora de días martes y sábado.	59
Tabla No. 5	Viajes vehiculares (ingresos más egresos) en hora de días martes y sábado	59
Tabla No. 6	Características de los Centros Comerciales	60
Tabla No. 7	Índices de generación hora pico martes	60
Tabla No. 8	Índices de generación hora pico sábado	60
Tabla No. 9	Modelos de generación para hora pico entre semana	61
Tabla No. 10	Modelos de generación para hora pico de sábado	61
Tabla No. 11	Índices de generación diaria martes	64
Tabla No. 12	Índices de generación diaria sábado	64
Tabla No. 13	Modelos de generación diaria entre semana	65
Tabla No. 14	Modelos de generación diaria de sábado	65
Tabla No. 15	Modelo de regresión entre semana que mayor relación presenta	69
Tabla No. 16	Modelo de regresión en fin de semana que mayor relación presenta	69
Tabla No. 17	Índices de generación de viajes que menor desvío presentan	70
Tabla No. 18	Modelos e índice de generación horaria entre semana	71
Tabla No. 19	Comparación de resultados obtenidos de acuerdo a los diferentes modelos presentados en este estudio	72

## GLOSARIO

**Accesibilidad:** característica o cualidad que favorece a una zona, sector o parcela en virtud de su relación con el sistema vial y de transporte que opera en su entorno. Puede establecerse en términos de distancia, tiempo o costo.

**Atracciones de viajes:** conjunto de destinos de los viajes dentro de un modelo de Generación de Viajes. Incluye los extremos residenciales y no residenciales.

**Centro Comercial:** grupo integrado de establecimientos comerciales que han sido planificados, desarrollados y trabajados como una unidad. Su composición está relacionada con su área de mercado en términos de tamaño, localización y tipo de comercios, también proporciona al lugar donde se localiza facilidades de estacionamiento para atender sus propias necesidades.

**CET:** Compañía de Ingeniería de Tránsito del Brasil.

**Coefficiente de Correlación (R):** medida del grado de asociación lineal entre dos variables. Indica el grado en que cada valor estimado por el modelo explica las variaciones en los valores individuales observados de la variable independiente desde su valor promedio. Sus magnitudes numéricas varían desde -1 a +1, con los valores absolutos más altos representando los mayores grados de asociación lineal.

**Coefficiente de Determinación ( $R^2$ ):** fracción decimal de la variable dependiente que es explicada por los cambios en las variables independientes del modelo. Se puede expresar como un porcentaje. Varía entre 0 y 1, si se aproxima a 1 la estimación obtenida tiene mayor relación con las variables incluidas y por tanto el modelo es mejor, por el contrario a medida que su valor se aproxima a 0, el modelo es más deficiente.

**HBW:** viajes basados en el hogar con destino el trabajo.

**HBNW:** viajes basados en el hogar con destino diferente al trabajo.

**Índice Promedio de Viajes:** promedio ponderado del número de viajes o extremos de viaje de vehículos por unidad de la variable independiente utilizada. Es calculada sumando todos los viajes y todas las unidades de la variable independiente, y dividiendo la primera sumatoria entre la segunda. Debido a la varianza de cada grupo de datos o unidad de generación, el índice promedio ponderado se usa en vez del promedio de los índices individuales.

**Índice Promedio de Viajes en Día Laboral:** promedio ponderado de los viajes de vehículo de lunes a viernes, durante todo el día.

**Índice Promedio de viajes en Fin de Semana:** promedio ponderado de viajes vehiculares generados durante uno de los dos días del fin de semana.

**Índice Promedio de Viajes en Fin de Semana en la Hora Pico del Generador:** promedio ponderado de viajes de vehículos generados en uno de los días del fin de semana durante la hora de mayor volumen de tránsito entrando y saliendo de la actividad. Puede ocurrir en la mañana o en la tarde.

**Índice Promedio de Viaje para la Hora Pico del Generador:** promedio ponderado de generación de viajes de vehículos durante la hora de mayor volumen de tránsito entrando y saliendo del generador, en la mañana o en la tarde. Esta puede o no coincidir en tiempo o volumen con el índice de viaje para la hora pico del tránsito de la vialidad adyacente. Será igual o más grande que el índice de viajes de la hora pico entre las 7 y las 9 a.m. y las 4 y las 6:00 p.m.

**Índice Promedio de Viaje para la Hora Pico del Tránsito en la Vialidad Adyacente:** promedio ponderado de generación de viajes vehiculares para una hora entre las 7 y 9 a.m. y entre las 4 y las 6:00 p.m. cuando la combinación del tránsito del generador y el de las vías adyacentes es el más alto. Si el volumen en la vialidad adyacente no es conocido, este índice representa el mayor volumen horario de extremos de viaje de vehículos generado por la actividad durante el tradicional período pico señalado.

**ITE:** Instituto de Ingenieros de Transporte (éstas siglas están en inglés, s Institute of Transportation Engineers).

**Modelo:** formulación matemática desarrollada para reproducir las relaciones entre dos o más variables.

**NHB:** viajes no basados en el hogar.

**Producciones de viajes:** Conjunto de orígenes de los viajes dentro de los modelos de Generación de Viajes. Pueden ser o no ser extremos residenciales.

**Sistema de Transporte Urbano:** Definen como una gama total de oportunidades en lo que respecta al movimiento de personas y bienes entre distintos puntos de la región urbana.

**Variable Independiente:** unidad física, medible y predecible que cuantifica el área de estudio o el generador, que puede ser utilizada para estimar el valor de una variable dependiente.



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación titulado “Determinación del Índice de Generación de Viajes para Centros Comerciales en el Departamento de Guatemala.” describe las metodologías posibles a ser empleadas para la obtención de la generación de viajes de un tipo de suelo específico, marco teórico de las mismas y se centra principalmente en el desarrollo de una práctica para la determinación del índice y de los diferentes modelos de regresión que representará la influencia del uso de suelo analizado. Se seleccionaron los índices y modelos de regresión, como métodos de estimación para procesar los datos obtenidos del conteo y de la investigación preliminar de los centros comerciales analizados, obteniendo resultados que ayudarán en la aproximación de la influencia de futuros proyectos de construcción que se desarrollarán, siempre que éstos posean similares características a los evaluados.

La estimación de la Generación de Viajes tiene como propósito definir el número total de desplazamientos generados y atraídos por un uso de suelo, en un día típico, para un año de análisis futuro, partiendo de las características actuales. Puede expresarse en viajes de personas o viajes de vehículos basándose de los objetivos perseguidos por el estudio para el cual se realiza la estimación. Su requerimiento se origina de los Estudios de Impacto Vial, los cuales deben hacer uso información fidedigna.

Con esta investigación, se estaría incentivando la planificación del transporte, considerando de primera importancia para las autoridades municipales en la mejora de su infraestructura vial, ya que el desinterés o la incapacidad, han hecho que no se esté regularizando y requiriendo a los nuevos desarrolladores de proyectos de construcción, que mitiguen los problemas que éstos ocasionan en las vías aledañas o del área que circunscribe el espacio dónde se ejecutará dicho proyecto. Además se estaría promoviendo a los expertos y recién graduados de la maestría en la Ingeniería Vial, para que sean estos los que coordinen, ejecuten y desarrollen proyectos viales.

Como principales características de los centros comerciales analizados, se encuentran unidades comerciales en un espacio arquitectónicamente abierto y al mismo tiempo posee parqueo al cielo abierto, pero en cuanto a características de mayor relevancia propias de la generación de viajes se abarca zapaterías, relojerías, panaderías, estudios fotográficos, comida rápida (Pollo Campero, McDonald's, Pizzerías, Go Green, Tacontento y otros similares), heladerías, agencia bancarias sin autobanco, cajeros automáticos y en especial algún supermercado (La torre o Paiz), sin embargo, no se está involucrando oficinas, bodegas, área de restaurantes (food court), cines, hoteles, exposiciones, parque de diversiones, áreas verdes, escuelas e industria. Todo lo anterior es de manera generalizada las características que deberán poseer los proyectos que serán evaluados de acuerdo a los modelos e índices propuestos en esta investigación. En esta breve descripción, hay que considerar las diferentes variantes que se pueden presentar en centros comerciales recientes, ya que se puede tener como generador de viajes influyente dentro del Centro Comercial, algún gimnasio, cines, área de juegos de diversiones, entre otros, quiere decir que hay que considerar la influencia de los mismos para que se apeguen los resultados a la realidad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

1. Definir el índice de Generación de Viajes para Centros Comerciales en el departamento de Guatemala.

### **Objetivos específicos:**

1. Definir la metodología para la estimación del índice de generación de viajes para cualquier actividad urbana.
2. Descripción del manejo y uso actual de los índices y modelos de Generación de Viajes en el departamento de Guatemala, por entes educativos, profesionales y municipales.
3. Establecer el modelo y los índices de generación de viajes de acuerdo a la ubicación, tamaño y estrato socioeconómico al que se orienta los Centros Comerciales que se desarrollarán en el espacio urbano analizado.
4. Brindar un mayor entendimiento en lo que a generación de viajes se refiere.



## ANTECEDENTES

Uno de los factores más importantes en la ingeniería de tránsito, tanto a nivel operacional como de planificación es la estimación de los volúmenes generados por diferentes usos de suelo (nuevos desarrollos inmobiliarios, zonas comerciales, industriales, educacionales, etc.) que directamente afecten las vías circunvecinas al proyecto.

Los cambios del uso del suelo derivado de nuevos proyectos inmobiliarios generan problemas de vialidad por lo que es necesario establecer las Índices de generación de viajes asociadas, las que deben ser establecidas para determinar su impacto sobre la vialidad existente y la necesidad de implementar mejoras sobre la misma o de construir nuevas vías para garantizar un nivel de servicio adecuado tanto a conductores como a peatones. Los patrones de generación de viajes dependen de diversos factores siendo los principales las características socioeconómicas y el uso del suelo.

En nuestro país, y en específico, en nuestra ciudad, recientemente las autoridades municipales han mostrado gran preocupación debido a la promoción de nuevos desarrollos inmobiliarios, dentro de estos destacan los Centros comerciales, y han dispuesto de normativas para realizar la compleja tarea de pronosticar el comportamiento de los flujos vehiculares (privado y público), luego de la construcción del desarrollo planteado. La falta de instrumentos reguladores de lo anteriormente planteado, ha derivado en lo que muchos califican como el caos urbano, para ilustrar el fenómeno que es el gran crecimiento desordenado de las ciudades.

Sin embargo, la metodología para el estudio de impacto vial requiere de la estimación de los viajes de transporte tanto públicos como privados. Esta estimación sólo se puede lograr conociendo los patrones de generación de viajes característicos. Hasta el momento, nuestro país no dispone de una base de datos lo suficientemente amplia por lo que es común utilizar los índices de generación de otros países, siendo estos probablemente muy diferentes a los nuestros.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, cuando se realiza un Estudio de Impacto Vial en Guatemala, se aplica la metodología que el desarrollador conoce o ha establecido; para la aplicación de los índices de generación de viaje, se utilizan los datos y ecuaciones establecidas, por el *Institute of Transportation Engineering* de Estados Unidos de Norteamérica o se realiza una investigación por parte del desarrollador quien establecerá los datos acoplados a la realidad del país y así usar un dato apegado a sus necesidades; por lo que se observa la carencia de datos reales que reflejen el entorno del país donde se desarrollará el proyecto; en consecuencia, el desarrollador se ve en la necesidad de establecer cuántos viajes se generarán en un día típico y según las horas del mismo.

Cuando el proyecto esté en servicio, se deben recopilar, primeramente, los índices de generación de viajes para que con su labor defina la influencia que tendrá o tiene el tipo de uso del suelo que se está analizando; sin embargo, por escasez de información se suelen utilizar los datos de otros países, los que en base a investigaciones periódicas, se han recopilado. Por esa razón, es importante que cada vez que se realice un Estudio de Impacto Vial, los Índices de Generación de Viajes, sean de acuerdo con el tipo de proyecto y las condiciones culturales, sociales y económicas de cada región y país, para que lo obtenido esté apegado al impacto que el proyecto producirá sobre las vialidades aledañas.

Durante la investigación, se expondrán con mayor detalle los principales elementos que incorpora el modelo de Generación de Viajes para actividades urbanas, como una herramienta de análisis que, aunque limitada en algunos aspectos, presenta un importante potencial para el desarrollo de estudios locales de impacto vial y que con pequeñas inversiones podrá adaptar fácilmente sus parámetros a las condiciones de nuestro país. El proceso que se desarrollará, está basado fundamentalmente, en la metodología propuesta por el Instituto de Ingenieros de Transporte de los Estados Unidos, que posee la mayor experiencia en la estimación de índices y aplicación de los modelos desarrollados a partir de ellas.



# **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1 LA ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE VIAJES DENTRO DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE**

Los problemas actuales en los espacios urbanos de las ciudades, están relacionadas a los procesos de intercambio propias del sobrevivir diario de la población. Éstos intercambios implican el desplazamiento de personas y bienes en una red vial insuficiente, llegando a ser inflexible y de alguna manera retrasada en comparación a las demandas provocadas por el desarrollo económico, social y humano. Esos problemas se acrecientan si esas demandas poseen características como la concentración horaria, la regularidad de algunos viajes y lo aleatorio de otros. Es necesario definir y establecer las diversas metodologías de análisis que permitan anticiparse a los problemas provocados por estos desplazamientos, comenzando por comprender claramente sus causas y así diseñar las soluciones. A raíz de lo anterior surge la necesidad de la planificación del transporte como medio técnico en respuesta al análisis y resolución de esos problemas, aplicar e implementar esa metodología, llevaría a la mejora de la red vial dentro de nuestras ciudades. Con respecto a las ciudades del país de Guatemala, la única entidad que está implementando todo un plan de ordenamiento y una planificación basado en normas y reglamentos, es la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, la cual estableció un reglamento que norma la aplicación de los Estudios y Evaluaciones de Impacto Vial.

En este trabajo se plantea un resumen de cada uno de los métodos de estimación en la Generación de Viajes dentro del proceso de planificación del transporte. Presentándose sus características más importantes desde el punto de vista de la formulación matemática, la información a requerir para ser empleada y el procedimiento a seguir para su evaluación. Concluyendo dicho planteamiento con un análisis comparativo de esos modelos de estimación.

## **1.2 GENERACIÓN DE VIAJES, PRIMER PASO DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN**

Los países que presentan mayor avance en la investigación de procesos de planificación en el área de transporte, han logrado a través de los años desarrollar una serie de metodologías y modelos, prediciendo con mayor exactitud el comportamiento de los viajes. Dentro del proceso de planificación del transporte y analizando el comportamiento actual del tránsito como un medio de establecer similitudes para un proyecto futuro, la actividad como principal objetivo dentro del mismo es la determinación del número de viajes que se realizarían en un área determinada, definiendo para ello sus orígenes y destinos, los modos de transporte que se utilizarían y la ruta que seguirían.

Al inicio del proceso en mención, se sectoriza la zona en estudio con sus particularidades y se bosqueja una red que represente las distintas instalaciones y medios de transporte a disposición de la población, y la correspondiente información recopilada, desarrolla una metodología de análisis dividida en cuatro etapas: la Generación de

Viajes, la Distribución de Viajes, la Distribución Modal y la Asignación de Viajes. Conjuntamente las tres primeras etapas componen la modelación de la demanda, y culminan con la predicción del número de viajes entre dos zonas por cada medio de transporte disponible y la cuarta etapa, considera los aspectos de la oferta de transporte, ya que define la ruta que utilizarán los viajes para llegar, de cada origen a cada destino, en relación con la red vial o los sistemas de transporte disponibles; recientemente se incorpora el proceso de equilibrio oferta/demanda, indispensable para validar los resultados de cualquier evaluación. Sin embargo cada una de las fases se trabaja individualmente y por separado, elaborando actualmente avances en las técnicas de planificación, centrándose en el desarrollo de mecanismos que permitan mejorar la vinculación entre éstos, siendo inherente la estrecha dependencia existente entre el cuánto, desde y hacia dónde, cómo y por dónde se realizan los viajes.

El primer paso del proceso de planificación del transporte y del cual se enfoca la presente investigación, es la estimación de la Generación de Viajes, la misma tiene como propósito definir el número total de desplazamientos generados y atraídos por un uso de suelo, en un día típico, para un año de análisis futuro, partiendo de las características actuales. Puede expresarse en viajes de personas o viajes de vehículos basándose de los objetivos perseguidos por el estudio para el cual se realiza la estimación. En éste trabajo se realizará la estimación de la Generación de Viajes, para Centros Comerciales.

Con el objetivo de obtener predicciones apegadas al entorno en donde se realizará el análisis, se deben de cumplir las siguientes características: la primera, los viajes deberán guardar una estrecha relación con las características urbanas del sector y con las condiciones socioeconómicas de la población que realizará el viaje, permitiendo estimar la generación a partir de parámetros conocidos y de factible determinación; estos parámetros tienen implicaciones en cuanto a la magnitud, horario y modos de transporte

utilizados para realizar los viajes. La segunda, es el tiempo de las relaciones entre los parámetros o variables independientes y el volumen de demanda generado, permitiendo validar, a efectos del desarrollo de los modelos, la posibilidad de establecer proyecciones. Es en esta última consideración donde radica la importancia de la fase de Generación de Viajes pues es necesario comprender los condicionantes actuales de la producción y atracción de viajes, para luego establecer la demanda futura, que pasará en las siguientes fases del proceso de planificación, que serán distribuidas entre los distintas tomas de datos de origen-destino, y asignaciones a los modos disponibles de transporte en una red vial, que finalmente puede evaluarse en términos de la calidad de funcionamiento de todo el sistema de transporte.

Se encuentran ciertos problemas durante la primera fase del proceso de planificación que las metodologías desarrolladas y los modelos disponibles no han podido resolver del todo. Estos problemas se pueden clasificar en dos tipos: los primeros, relativos a consideraciones de formulación teórica, surgen del aislamiento en que se mantiene al submodelo de generación, basado en el concepto de la inelasticidad de la demanda de viajes ante cambios en la red vial o en los servicios de transporte, considerados la oferta del sistema; en la práctica, y con la profundización de la comprensión de los sistemas urbanos y sus cambios, se ha podido demostrar que a largo plazo, ésta condición de estabilidad no se mantiene, ocasionando distorsiones en las estimaciones, pues la retroalimentación entre oferta y demanda no puede ser incorporada en ninguna de las fases del proceso de planificación. En segundo término, los problemas de esta etapa están vinculados a los requerimientos de información y a los esfuerzos económicos necesarios para lograr construir y mantener actualizada la base de datos, que permita utilizar los diferentes modelos disponibles.

En nuestro país Guatemala, con escasez de recursos y poca tradición en la recopilación de información, actualmente se plantean serias dificultades para el desarrollo de estudios que puedan medir el impacto de políticas y proyectos de diversa índole, siempre concernientes al área del transporte y por consiguiente a la calidad de vida en zonas urbanas y sus habitantes. Por lo que al contar con un modelo o índices de generación de viajes, a partir de este estudio, es importante recalcar que se puede encontrar con problemas de retroalimentación, ya que la oferta y la demanda puede ir cambiando, de acuerdo a muchos parámetros, siempre influyentes del entorno en análisis.

### **1.3 Modelos de estimación de la generación de viajes**

La construcción de modelos para estimar la generación de viajes, como se señaló anteriormente, utiliza las relaciones observadas entre el número de viajes (en tanto variable dependiente), y los factores relacionados con las actividades urbanas y las condiciones socioeconómicas de la población, como variables independientes o explicativas (área total, área de ventas, cajas registradoras, etc.); las cuales pueden ser recopiladas para el año base, y gracias a la hipótesis de permanencia temporal de estas relaciones, proyectadas al año horizonte que se requiera.

Antes de su aplicación y con el objetivo de obtener una estimación futura confiable, el modelo debe ser calibrado utilizando las observaciones actuales, para garantizar que cumpla con los propósitos predictivos para los cuales fue desarrollado. Los usos de la tierra y sus intensidades son los factores más importantes que influyen sobre la generación de viajes, y que se convierten por tanto en las variables independientes que se utilizarán en los distintos tipos de modelos. Dentro de ellos los

más importantes de acuerdo al volumen generado son el residencial, ya que la mayoría de los viajes se originan desde los hogares; y luego el comercial e industrial, por ser considerados estos como fuentes de empleo y los lugares de atracción de esos viajes de origen.

Existen características socioeconómicas de la población, las cuales se consideran importantes, ya que reflejan una forma de medir, llegando a ser estos el tamaño y estructura de la familia, la tenencia vehicular o índice de motorización, la actividad de los residentes, es decir el número de personas empleadas, los ingresos familiares, y en algunas ocasiones el valor de la tierra o de la propiedad, como aproximaciones al ingreso.

Al momento de incorporar las variables independientes dentro de los modelos a formular, éstas son adicionadas a través de indicadores de área de terreno, construcción, rentable o alquilable, ya sea bruta o neta, número de viviendas totales o por tipo, número de locales comerciales o industriales, matrícula escolar, número de empleos, número de consultorios o camas de hospitalización, entre otros. Con respecto a las estimaciones de los distintos modelos que pronostican el número de viajes referenciados a los extremos asociados, por una parte los que se originan en cada zona de estudio, o producciones de viajes, y por otra, los que terminan en cada zona o atracciones de viajes.

El propósito del viaje y la hora en la cual éste se realiza pueden definir la estructura del modelo a emplear en relación con el objetivo que se desea alcanzar. En este sentido, los viajes al trabajo y a los centros educativos tienen características diferentes a los que se realizan hacia áreas comerciales o lugares de esparcimiento y recreación. Mientras los primeros poseen un carácter obligatorio ya que responden a una

necesidad impostergable definiendo su hora y frecuencia, los segundos son discretos y ocasionales teniendo cada persona mayor poder de decisión sobre el día, la hora y la regularidad para efectuarlos. De acuerdo a lo anterior, es posible obtener mejores estimaciones si los modelos de generación se separan por propósito del viaje, ya que la asertividad en los mismos se mejora considerablemente. Comúnmente los modelos se estiman para la hora pico de la mañana y de la tarde, ya que son los períodos de mayor compromiso en la trama vial.

En los actuales procedimientos de planificación del transporte, el volumen de viajes se estima de manera separada para cada propósito y para diferentes períodos del día. Sin embargo, la formulación de modelos específicos conduce a un número muy elevado de posibles combinaciones de variables, por lo que se establecen compromisos en cuanto al tipo de viajes a modelar, seleccionando los de mayor interés para cumplir el objetivo particular del estudio y con base en los recursos disponibles, para la obtención de la información necesaria. Es frecuente la construcción de modelos de producción y modelos de atracción por separado, ya que pueden utilizar diferentes tipos de variables, los primeros usan parámetros más ligados al hogar o la residencia, y los segundos a las actividades no residenciales y sus intensidades. Al finalizar las estimaciones y utilizar éstos modelos diferenciados, debe realizarse un proceso que balancee generaciones y atracciones, antes de iniciar la fase de distribución de viajes. Para lograr el balance pueden desarrollarse métodos a partir del mantenimiento de alguno de los dos valores estimados constantes, y ajustar el otro, o ajustar ambos. Es posible desarrollar igualmente modelos basados en viajes de personas o de vehículos. Los patrones de viajes son resumidos a través de la sectorización de la zona de estudio, asociando los viajes estimados a éstas unidades de relativa homogeneidad, ya que en los estudios de planificación del transporte no se puede determinar los patrones de viajes de cada unidad residencial dentro de una zona. En los actuales modelos zonales de generación de viajes se consideran a los sectores como unidades muy pequeñas, y al usar los promedios de

dichos sectores, se puede perder la variación interzonal y afectar la estimación, si éstos llegan a tener un tamaño demasiado grande.

Actualmente, se presenta cierta complejidad al definir el tamaño adecuado de los sectores dentro de un estudio de transporte, desarrollándose modelos basados en el hogar como unidad básica, bajo la premisa de que los hogares con similares características tienden a tener una igualdad en la conducta de viajes sin importar su localización geográfica, así, la calibración de estos modelos emplea una muestra de hogares. Estos modelos son conocidos también como modelos desagregados porque descomponen cada sector en pequeñas unidades, pero no en términos geográficos, sino relacionando la interacción de los distintos tipos de hogares dentro de una zona; por lo que la descomposición no equivale necesariamente a pequeños sectores separables. Para llegar a estimar la generación de viajes de una zona en éstos modelos desagregados, es necesario combinar la contribución de cada grupo homogéneo de hogares, con el total de la misma, circunstancia que requiere que los proyectos urbanos proporcionen información que será utilizado en los modelos de generación, especificando el número de hogares por tipo.

Dentro del desarrollo de modelos de generación de viajes existen cuatro formulaciones matemáticas: *modelos de factores de crecimiento*, *modelos de regresión*, *modelos de análisis de índices de viajes*, y *modelos de clasificación cruzada*. Adicionalmente, existen otros modelos de reciente desarrollo, que han combinado estas cuatro formulaciones matemáticas básicas.

### 1.3.1 Modelos de factores de crecimiento

Se desarrollaron primeramente estos modelos para estimar la generación de viajes, y actualmente sólo se utilizan para predicciones a muy corto plazo o para calcular los viajes externos a una zona de estudio. De acuerdo con esta formulación, el número de viajes futuros de una determinada zona es el resultado de los viajes actuales, multiplicado por un factor de crecimiento.

Su ecuación básica es:

$$V_{fi} = F_i \times V_{ai}$$

donde,

$V_{fi}$  = viajes futuros de la zona i

$F_i$  = factor de crecimiento de la zona i, y

$V_{ai}$  = viajes actuales de la zona i

El objetivo dentro de este tipo de modelo es determinar el valor del factor de crecimiento o expansión. Este se construye relacionando, entre otros, los valores de población (P), ingreso (I) y tenencia vehicular o índices de motorización (TV) actuales y futuros. Así la expresión que determina  $F_i$  es:

$$F_i = \frac{f^n(P_f, I_f, TV_f)}{f^n(P_a, I_a, TV_a)}$$

donde,

$f^n$  = función multiplicativa

El procedimiento de estimación que propone este modelo es:

- 1°. Determinar los valores actuales y futuros de la población, el ingreso y la tenencia vehicular para cada zona y el volumen actual de viajes.
- 2°. Estimar el valor del factor de expansión  $F_i$ , y
- 3°. Aplicar la formulación del modelo para cada zona en estudio.

### 1.3.2 Modelos de regresión

Los modelos de regresión pueden ser lineales o no lineales, dependiendo del tipo de relación que se establezca entre las variables; luego, pueden ser simples o múltiples, de acuerdo con el número de variables involucradas. Todos estos modelos pueden ser utilizados en estudios de generación de viajes, y la selección de la forma más apropiada en un caso en particular, se basa en la experiencia de investigaciones preliminares en la materia.

Un modelo de regresión frecuentemente utilizado es el modelo de regresión lineal múltiple, que tiene la forma:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + \dots + a_rX_r$$

donde,

$Y$  = variable dependiente

$X$  = variables independientes relevantes o explicativas

$a$  = parámetros que deben ser estimados previo a la aplicación del modelo.

En un modelo de producciones de regresión lineal múltiple, la variable dependiente corresponde al total de viajes producidos por una zona P1 si es un modelo agregado o zonal, o al índice de producciones por vivienda, si es un modelo basado en el hogar. Las variables independientes incluidas en un modelo zonal, son características de la zona en su conjunto, mientras que las empleadas por un modelo desagregado, son características de las viviendas. La calibración del primero se basa en un conjunto de observaciones para un número de zonas, correspondiendo cada observación a una zona, y la calibración del modelo desagregado utiliza un número de observaciones que corresponden cada una a una vivienda de una muestra aleatoria tomada en el área en estudio. En el caso de modelos de regresión lineal múltiple de atracciones, las variables independientes son atributos no residenciales.

En todos los casos, cada término de la ecuación puede interpretarse como la contribución de la variable independiente asociada a la magnitud de la variable dependiente. De esta manera, un cambio en una unidad de cualquier variable independiente, produce un cambio de la variable dependiente igual a la magnitud del coeficiente de la variable independiente.

El término constante “ $a_0$ ” captura el efecto no incluido en el modelo. Cuando se calibra un modelo de regresión lineal múltiple, el investigador afronta las preguntas sobre cuántas y cuáles variables independientes se deben incluir en la ecuación. En relación con el número de variables independientes a ser consideradas, la experiencia ha demostrado que la ley de rendimientos decrecientes se mantiene, respecto de la precisión o exactitud resultante de incrementar el número de variables; es decir, se alcanza un

punto más allá del cual el costo y la complejidad asociada a la adición de una nueva variable, puede no garantizar mejoras en la exactitud de la estimación.

Por su parte, las variables explicativas seleccionadas deben:

- estar linealmente relacionadas con la variable dependiente
- estar altamente correlacionada con la variable dependiente
- no correlacionarse estrechamente entre ellas
- poder ser proyectas con relativa facilidad

La primera regla establece que la relación entre una variable explicativa seleccionada y la variable dependiente debe ser lineal, tal como lo requiere la formulación matemática del modelo. Si no es así, se debe realizar una transformación de la variable explicativa, a través de la aplicación del logaritmo, extraer raíz o elevar a potencia, por ejemplo. La segunda regla señala que la variable independiente debe estar altamente asociada con la variable dependiente, en caso contrario, la variable no tendrá poder explicativa. La tercera regla establece que variables que están estrechamente correlacionadas entre sí no deben incluirse en la misma ecuación, ya que miden, esencialmente, el mismo efecto, y si las dos se incluyeran conllevarían a una doble consideración. Según la cuarta regla, las variables explicativas seleccionadas deben ser proyectadas para el año horizonte con relativa facilidad, pues es esta la razón principal para recurrir al uso de modelos, que se calibran en términos de un grupo de factores (o variables independientes) y que pueden ser proyectados con mayor facilidad que la variable dependiente.

Con estas consideraciones se reduce el número de modelos alternativos de generación de viajes. Luego debe seleccionarse el mejor modelo con base en pruebas estadísticas de bondad y la aplicación de la experticia profesional.

Las pruebas estadísticas más comunes que pueden ser aplicadas para la selección de un modelo de regresión lineal son el coeficiente de correlación múltiple “R”, que indica el grado de asociación entre las variables independientes y la dependiente; el coeficiente de determinación “R<sup>2</sup>”, que expresa el porcentaje de la variación de la variable dependiente explicado por las independientes; el error estándar de la estimación (EEE), el cual mide el grado de variación de los datos sobre la línea de regresión; la relevancia de los coeficientes de regresión, a través de la prueba “t” que determina el grado de contribución de las variables independientes y el signo de estos coeficientes, los cuales deben expresar relaciones lógicas y esperables entre las variables. También debe evaluarse el valor de la constante “a<sub>0</sub>” para evitar que sea ella quien esté estimando el mayor efecto o cambio en la variable dependiente.

En resumen para el desarrollo de estimaciones con un modelo de regresión deben seguirse los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar las variables a incluir a través de un análisis de correlación
- 2 Formular todos los posibles modelos de regresión
- 3 Definir el valor actual de las variables independientes incluidas en los modelos
- 4 Aplicar el análisis de regresión con los datos actuales de las variables independientes
- 5 Aplicar pruebas de bondad estadísticas a los modelos desarrollados
- 6 Seleccionar el modelo

- 7 Definir el valor futuro de las variables independientes incluidas en el modelo seleccionado y
- 8 Estimar los viajes generados por el área en estudio al horizonte temporal definido.

### 1.3.3 Modelos de análisis de índices de viajes

El análisis de índices de viajes se refiere a modelos basados en la determinación de índices promedio de producción o atracción de viajes, asociados con generadores importantes de una zona. Las índices de generación se asocian con varias categorías de usos del suelo y relacionan características de estas actividades con el número de viajes generados. Así, los índices de viajes pueden expresarse en términos de viajes de personas por unidad de superficie, para varios usos del suelo y localizaciones. Los usos del suelo incluyen tanto las categorías residenciales como no residenciales.

Los índices de atracción se expresan, por ejemplo, en términos del número de viajes atraídos por empleado, o de viajes a la escuela atraídos por estudiante matriculado en cada tipo de institución educacional. La formulación matemática correspondiente es similar al modelo de factores de crecimiento:

$$V_{gi} = T_i \times VI_i$$

donde,

$V_{gi}$  = viajes generados por la actividad  $i$

$T_i$  = índice de generación de la actividad  $i$

$VI_i$  = variable independiente asociada a la actividad  $i$

Para cada actividad o uso de la tierra, el índice de generación se obtiene dividiendo el número total de viajes generados por ese polo dentro de la zona, entre la sumatoria de la variable independiente que se le asocia. Éstas variables pueden ser áreas, viviendas, empleos, locales, etc. Así, el índice se expresa:

$$T_i = \frac{\sum V_{gi} \text{actuales}}{\sum VI_i \text{actuales}}$$

El mayor inventario de Índices de Viajes para cualquier uso del suelo lo posee el Instituto de Ingenieros de Transporte (por sus siglas en inglés ITE, Intitute of Transportation Engineers) en el reporte denominado “Trip Generation”, octava edición, fecha de publicación diciembre del año dos mil ocho.

#### **1.3.4 Modelos de clasificación cruzada**

Los modelos de clasificación cruzada o análisis de categorías, se considera una extensión de los modelos de Índices de viajes. Sin embargo, aunque pueden ser calibrados como modelos zonales, en estudios de generación de viajes son casi exclusivamente utilizados como modelos desagregados. En el contexto de la generación residencial, la hipótesis que subyace es que se pueden establecer intervalos dentro de cada variable explicativa; de modo que todas las familias pueden ser descritas con un número limitado de categorías, así las viviendas son clasificadas según este conjunto de

categorías correlacionadas con la producción de viajes. Luego a cada clasificación se le asocia un Índice de Viajes diferente para cada categoría, las cuales son estimadas por métodos estadísticos, asumiendo como estable en el tiempo, construyéndose con ellas una matriz de Índices de Generación.

Cada celda de la matriz contiene el Índice calibrado de producciones de viajes diarios/ vivienda expresado en términos de viajes bien sean estos de personas, por vivienda, por día. Contando con las proyecciones de la composición de las viviendas de las zonas para el año horizonte, la aplicación de este modelo calibrado con propósitos predictivos es simple, ya que sólo debe multiplicarse el Índice correspondiente, por el número de nuevas viviendas de cada categoría. El problema consiste en estimar este nuevo número de unidades por categoría.

En este modelo se consideran como variables explicativas de mayor relevancia las relativas a la propiedad vehicular, la estructura familiar y el ingreso. Es común también que se estimen modelos para diferentes propósitos de viajes, siendo la clasificación más utilizada la que separa los viajes en: viajes basados en el hogar con destino trabajo (HBW), viajes basados en el hogar con destino diferente al trabajo (HBNW), y viajes no basados en el hogar (NHB).

Para el caso de las atracciones de viajes, igualmente puede establecerse categorías por características del empleo localizado en una zona, en función de estándares industriales y comerciales, y la matrícula escolar por niveles. De esta manera, para el desarrollo del modelo de clasificación cruzada deben realizarse las siguientes acciones:

1. Seleccionar las variables que conformarán las categorías
2. Formular las clasificaciones por el conjunto de variables seleccionadas
3. Definir el número actual de hogares u otro indicador de atracción por categoría
4. Determinar el Índice de generación por categoría
5. Definir el número futuro de hogares u otro indicador de atracción por categoría
6. Estimar los viajes generados por el área en estudio, por categoría, al horizonte temporal definido.

#### **1.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS DE ESTIMACIÓN**

Es de suma importancia considerar un análisis comparativo de cada uno de los modelos propuestos en este marco teórico, revisando los modelos de generación de viajes desarrollados y de sus técnicas. Primeramente se analiza los inconvenientes asociados con cada tipo de modelos, revisar posteriormente las ventajas y desventajas de la utilización de unos sobre otros.

Con respecto al modelo de Factores de Crecimiento, las deficiencias que se encuentran del mismo son las siguientes:

- El factor no refleja las causas de los viajes. Qué origina o provoca los viajes, es la parte que no se detalla en el.
- Conceptualmente es pobre, refiriéndose al análisis de las relaciones entre variables que condicionan la generación; por lo que es conveniente no considerar su uso para pronósticos en áreas urbanas de rápida evolución.

Entre los inconvenientes de los modelos de regresión se encuentran los siguientes:

- Los principales problemas son de carácter estadístico, pues se fundamentan en supuestos que pueden no coincidir con la realidad. En ese sentido, pueden encontrarse relaciones no lineales entre variables, por lo que se hace necesario realizar ajustes y transformaciones entre ellas, consiguiendo así, la linealidad. También es posible encontrar correlaciones muy altas entre variables independientes, que alteran la calidad de las estimaciones.
- Cada estudio debe desarrollar todo el proceso para determinar la ecuación que mejor se ajuste al objetivo. Es difícil calcular todas las posibles modificaciones de las variables, por lo que no se puede recomendar las ecuaciones más adecuadas para diferentes casos.
- Por la naturaleza empírica del modelo, es complejo establecer relaciones causales entre la variable dependiente y las independientes.
- Se establece la permanencia de las relaciones entre las variables a través de la inalterabilidad de los coeficientes de regresión asociados. Las predicciones pueden ser confiables a corto plazo, además en proyecciones más prolongadas no puede señalarse el grado de exactitud de las mismas. Desechándose las modificaciones a posibles cambios en las características de las actividades urbanas y las condiciones socioeconómicas que puedan tener sobre dichas relaciones.
- Si se trata de modelos zonales de regresión, estos presentan problemas de orden espacial, ya que al aumentar el tamaño de los sectores, se tiende a disminuir la variabilidad entre zonas, por lo que es indispensable asegurarse de que las subdivisiones reflejen adecuadamente una composición socioeconómica homogénea y expresen dicha variabilidad. En estos modelos el mínimo error está ligado al tamaño de las unidades, y es difícil determinar la ideal dimensión para reducirlo.

Los problemas que se presentan al utilizar los Índices de Generación de Viajes, son los siguientes:

- Las relaciones se llegan a establecer sólo entre un par de variables, el número de viajes y el indicador que describe la actividad. Por esta razón es muy importante al trabajar dicho modelo, escoger la adecuada variable independiente que mejor refleje el comportamiento (exista mayor correlación).
- Este modelo posee mayor relación con variables socioeconómicas que con características del uso del suelo, llegando a ser pobre el uso para el caso de la actividad residencial.
- Se presenta un mayor margen de error en las estimaciones a largo plazo, ya que las relaciones entre las constantes y las variables, al igual que el modelo de regresión, sólo se incluye una variable independiente.
- Sólo se puede interpretar las vinculaciones ligadas a las variables urbanas. Presentándose limitaciones en reflejar las relaciones causales de la generación de viajes, en cuanto a todos sus componentes.
- Requiere del análisis de cada categoría de usos de la tierra, ya que no es posible suponer la similitud en las condiciones de generación, aún en actividades del mismo tipo, parte de éstos, modifican sustancialmente el patrón de viaje asociado. En el contexto urbano actual, construir una base de información que pueda cubrir todas las actividades existentes requiere de un esfuerzo técnico importante. Por eso es recomendado este modelo para casos particulares y puntuales.

Aún cuando es uno de los modelos de mayor utilidad en la actualidad, la Clasificación Cruzada o Análisis de Categorías presenta también aspectos deficientes:

- Requiere realizar extensos estudios con entrevistas domiciliarias, construyendo una base de información confiable y para establecer, por una parte, los Índices de generación por categoría, y también, para definir el número de familias en cada clasificación. En éste último caso, se requiere de una muestra muy grande que garantice un mínimo de hogares por categoría, asimismo es posible que no se reflejen todas ellas.
- Al incrementarse el número de variables a incluir dentro de las clasificaciones, se incrementa también la muestra de información a recopilar, ya que el número de categorías crece exponencialmente.
- Al igual que en el caso de los modelos de Regresión, los índices de generación por categoría se mantienen fijos al momento de realizar las proyecciones, ya que suponen una estabilidad en las relaciones de las variables que maneja. Ésta situación es aceptable para estimaciones a corto plazo, no siendo confiables las mismas a largo plazo.
- Para propósitos predictivos, el mayor inconveniente se deriva de la necesidad de establecer el número de hogares por categoría a futuro. Los proyectos urbanos y los estudios socio-demográficos no manejan éstas clasificaciones, y los instrumentos de que disponen no permiten realizar su estimación, por lo que es difícil la obtención de ese dato a través de investigaciones o documentos de fuentes secundarias. Además, las características de las familias, principalmente en cuanto a composición, empleo e ingresos, están fuertemente condicionadas por factores sociales, políticos, culturales y económicos que varían con relativa frecuencia, más aún en países en vías de desarrollo. Haciendo difícil a la vez, establecer el número de hogares por categoría en la actualidad, ya que los

mecanismos de recopilación de información son costosos y su aplicación no es constante y consistente.

- En términos estadísticos el principal problema radica en la incapacidad de estos modelos para probar el grado de importancia o significación de las variables seleccionadas y establecer las clasificaciones respecto a la realización de viajes.

Para concluir el análisis, en ninguno de los modelos se puede representar la realidad a la perfección, en otros términos, con total exactitud es difícil reflejar en un uso de suelo específico un modelo que lo represente y que considere todos los parámetros que lo caracterizan, por lo tanto, se recomienda que se utilice aquel que mejor se adapte al objetivo del estudio, en donde se empleará dicho modelo.

## **1.5 ÍNDICES DE GENERACIÓN DE VIAJES. MÉTODO SENCILLO DE ESTIMACIÓN**

A partir de la definición, características y herramientas que incorporan los diversos métodos existentes, los cuales estiman la demanda o generación de viajes, se estableció una comparación entre ellos; en base a la misma y de acuerdo con el estudio de transporte, se debe determinar con precisión el método o modelo predictivo que se estaría empleando, enfocándose siempre con el objetivo que se pretenda alcanzar; ya que como se abordó en los incisos anteriores, todos los modelos disponibles poseen ventajas y desventajas relativas.

A continuación se estará exponiendo con mayor detalle los principales elementos que incorpora el modelo de Índices de Generación de Viajes para actividades urbanas, como una herramienta de análisis que, aunque limitada en algunos aspectos, presenta un importante potencial para el desarrollo de estudios locales de impacto vial y que con pequeñas inversiones, puede adaptar fácilmente sus parámetros a la realidad de países en vías de desarrollo.

La descripción se basa fundamentalmente, en la metodología propuesta por el Instituto de Ingenieros de Transporte de los Estados Unidos (*ITE, Institute of Transportation Engineers*), que posee la mayor experticia en la estimación de Índices y modelos desarrollados a partir de ellas.

### **1.5.1 Modelo de estimación de generación de viajes a través de índices**

Como objetivo principal dentro del marco conceptual de la metodología de Índices de Generación se encuentra la determinación de la demanda de transporte, asociada a ésta se presentan diversas actividades preexistentes a través de la definición de correlaciones entre el número de viajes que pueden ser generados por una edificación específica y variables descriptivas de dicha edificación, y así obtener patrones de desplazamientos para diferentes tipos de usos y permitir la estimación de flujos para nuevos asentamientos. Los índices son desarrollados comúnmente para el día laboral promedio, el sábado y el domingo, para la hora pico del generador en día laboral en la mañana y en la tarde y para una hora coincidente con el pico del tránsito en la vialidad adyacente en día laboral en la mañana y en la tarde. En el caso de la metodología del ITE, ésta se refiere a una hora en el período entre las 7 y las 9 a.m. y las 4 y las 6 p.m. .

Entre las variables descriptivas de las actividades generadoras se puede encontrar las siguientes: áreas de diversos tipos (bruta, neta, rentable, de construcción, alquilable o de terreno), empleos, matrículas escolares, personas residentes, viviendas, camas, consultorios, etc. Todas ellas, unas más que otras, dependiendo del uso del suelo del cual se trate, establecen relaciones muy significativas con el número de desplazamientos generados. El enfoque de este modelo se centra en la definición de la variable independiente a ser utilizada y estimar el Índice de Generación, proyectando al final el número de viajes futuros.

Se presentan casos, en los que los índices son desarrollados para más de una variable explicativa, por lo que primeramente se debe seleccionar la variable con la mejor correlación. Sin embargo, es importante chequear el tamaño de la muestra de cada variable independiente, pues si dos variables presentan la misma correlación, debe escogerse el índice correspondiente a aquella variable con mayor tamaño como muestra.

En la tabla número uno, se presentan diferentes variables explicativas, de acuerdo al generador, esto involucra los viajes producidos y atraídos para diferente actividad, éstos últimos comúnmente se relacionan con el número de viajes producidos y atraídos para dicha actividad.

**Tabla No. 1 Generadores de viajes y variables independientes**

<b>GENERADOR</b>	<b>VARIABLE EXPLICATIVA</b>
<b>Residencias</b>	Tipo de residencia, número de unidades de vivienda, número de personas o superficie de terreno ocupada.
<b>Industrias y Oficinas</b>	Área de construcción bruta, empleos o superficie de terreno ocupada.
<b>Restaurantes</b>	Área de construcción bruta o superficie de terreno ocupada.
<b>Bancos</b>	Área de construcción bruta o empleados.
<b>Parques o Instalaciones Recreacionales</b>	Superficie de terreno ocupada o empleos para algunos tipos.
<b>Hospitales</b>	Empleos, camas o área de construcción.
<b>Centros Educativos</b>	Empleos o estudiantes.
<b>Bases Militares</b>	Personal militar y empleos civiles o total de empleos.
<b>Estadios</b>	Puestos o asistentes.
<b>Estaciones de Servicio</b>	Número de dispensadores de gasolina.
<b>Iglesias</b>	Área de construcción bruta o superficie de terreno ocupada.

Fuente: Elaboración propia en base a Martin, William A. y Nancy A. McGuckin, REPORT N° 365 DEL NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESERCH PROGRAM (NCHRP). "Travel Estimation Techniques for Urban Planning". Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. 1998.

A pesar de emplear el área y ésta no siempre describe las mayores correlaciones, en muchos estudios se prefiere su utilización debido a dos aspectos, primero, por ser fácilmente definible tanto para equipamientos existentes como para los que pueden ser desarrollados en el futuro, y segundo, a su permanencia en el tiempo, y la posibilidad de percibir con rapidez cualquier alteración de la misma. Además, el área ofrece gran simplicidad para el uso de los resultados que realizará las entidades jurisdiccionales encargadas del tránsito de su región y a su vez de su gestión urbana.

Otras variables, vinculadas a características operativas de la actividad, son más difíciles de establecer a futuro, ya que pueden modificarse a lo largo del tiempo y ser subestimadas tanto por organismos planificadores, como en el sector privado que busca la aprobación del proyecto por los entes públicos y desea minimizar cualquier conflicto que pueda derivarse de su instalación. También debe considerarse que algunas variables pueden ser estimadas a través de otras. Así, el número de empleos y puestos de estacionamiento puede ser derivado del área bruta de la parcela, por lo que es esta la variable más determinante. Cuando se conoce poco del tamaño del generador, pero sí de la edificación, la densidad es una herramienta para obtener el valor de otros parámetros. Éstas consideraciones se hacen sobre la información requerida por el modelo, son de gran importancia en términos generales, y más aún en el caso de los estudios en el área del transporte, ya que los mismos son altamente sensibles a la calidad y cantidad de la fuente de datos disponible.

En Guatemala, existen serias deficiencias en la producción, manejo, procesamiento y actualización de información. Culturalmente no ha existido tradición al respecto; económica y políticamente, no se ha valorado la posibilidad de obtener de dicha información herramientas útiles para administrar esos recursos que redundan en su escasez. Por el contrario, la recopilación de información siempre se ha concebido como una tarea costosa y poco rentable, solo útil para tener una radiografía del presente. Es, quizás, el resultado de una visión muy a corto plazo de los problemas y sus soluciones, y una gran incapacidad de ver y rescatar del pasado las causas, procesos y relaciones que permitan establecer posibles soluciones del futuro.

Por ejemplo, en el caso de la metodología ITE, los índices de viajes representan promedios ponderados de estudios recopilados en los Estados Unidos y Canadá desde los años 60, obtenidos de varias agencias gubernamentales locales, firmas de consultoría de ingeniería, ingenieros de transporte y universidades. La base de datos se ha continuado actualizando y expandiendo. La información fue recopilada inicialmente en localizaciones suburbanas con pequeños servicios de transporte colectivo, y se ha extendido a generadores dentro y fuera de un área metropolitana para determinar las diferencias que se producen debido a la localización, por lo que es importante establecer para áreas específicas de análisis qué condiciones urbanas poseen, ya que los índices pueden requerir ajustes de acuerdo con la ubicación de las mismas.

Al no existir una base de información que permita utilizar datos de acuerdo con el lugar en estudio, es común la utilización de los índices ITE sin ningún tipo de adaptación, más aún cuando numerosos programas de análisis especializados las usan como parámetros, ya que no se disponen de herramientas que lo permitan, ocasionando que pueda subestimarse o sobrestimarse la demanda de viajes.

La información para construir los índices es recopilada generalmente por medio de conteos automáticos de vehículos, tanto para días laborales como fines de semana, localizando los contadores de tal manera, que puede definirse el tránsito que ingresa y sale de cada generador, y descartar el tránsito de paso. Para complementarlos, se realizan conteos manuales para determinar la ocupación vehicular y la composición del tránsito por tipo de vehículo. De esta manera, se desarrollan los índices correspondientes en viajes de vehículos.

Dentro del modelo de análisis a través de Índices de Generación se han desarrollado comúnmente dos tipos de indicadores, los primeros, denominados Índices Constantes, permanecen inalteradas ante variaciones de tamaño de la variable independiente, y los segundos, o Índices Variables, utilizados en algunos casos para edificios de oficinas y centros comerciales, varían con el tamaño de la edificación. Sin embargo, a partir del año 1997, éstas últimas, han dejado de formularse al avanzar los estudios y disponer de mayor información que permita mejorar la formulación y precisar el comportamiento particular de estos usos de la tierra.

Los Índices de Viajes pueden ser desarrollados para diferentes períodos de tiempo y pueden incluir tanto los índices promedio como un rango de índices determinado por los mínimos y máximos, proporcionado para mostrar la variación de la información disponible. El índice promedio de viajes es aplicable si el generador es de naturaleza promedio; si por el contrario, existe evidencia de que éste pueda tener características particulares, el índice deberá ser ajustado adecuadamente. La correcta elección de los índices para un período específico de tiempo, está relacionada directamente con el tipo de generador y las características del tránsito en el sistema vial adyacente. Es recomendable examinar la variabilidad de los índices promedio para los diferentes períodos de tiempo, para determinar los picos de flujo de tránsito del generador y definir su relación con las características pico de la vialidad adyacente. Se debe analizar el generador tanto para la hora pico propio, como para la hora pico de la vialidad adyacente, definiendo los requerimientos de diseño y el efecto que causarán en el normal desenvolvimiento del tránsito durante las horas de mayor congestión.

Los índices de generación para las horas pico a.m. y p.m. de la vialidad adyacente al generador, deben ser desarrollados de tal manera que puedan ser utilizados para evaluar el impacto en la hora pico del tránsito de la mayor parte de las actividades, es decir, debe intentarse que el período definido como pico de la vialidad adyacente

incorpore los picos particulares de cada uso del suelo. Los índices del ITE, están definidas para una hora entre la 7 y las 9 a.m. y entre las 4 y las 6 p.m.; en estos intervalos se engloba la mayor parte de casos. Otros períodos específicos pueden ser analizados en relación con el patrón diario de tránsito en el sistema vial y requieren de información más detallada para determinar exactamente el período pico particular. Dentro del proceso postulado por el ITE, los índices para la hora pico de atracción, producción o total, en casi todos los casos, provienen de diferentes estudios, por lo que la suma de los índices de entrada y salida no es igual a la total. Sin embargo, para evitar errores en la lectura de las tablas de generación, los índices promedio de producción y atracción han sido ajustados para que la sumatoria sea igual al índice total horario bidireccional.

Los índices de entrada y salida mostrados como rango máximo y mínimo no han sido ajustados, por lo que el promedio de los mismos, pueden, en efecto, a veces ser más alto que el índice máximo medido por los procedimientos de ajuste. Los índices de viajes y sus correspondientes períodos de tiempo incluidos en la metodología ITE para las diferentes actividades, así como los resultados que pueden obtenerse de su aplicación, son los siguientes:

- *Índice promedio de viajes de vehículos en día laboral:* determina el volumen promedio diario del total de viajes, contabilizados, entrando y saliendo de un generador, entre los días lunes a viernes.
- *Índice de viajes en hora pico del tránsito de la vialidad adyacente:* refleja el volumen máximo horario medido entrando, saliendo, o en ambos sentidos, entre las 7 y las 9 a.m. y entre las 4 y las 6 p.m. en un día laboral.
- *Índice de viajes en hora pico del generador:* calcula el volumen horario medido entrando, saliendo o en ambos sentidos durante un día laboral en la hora pico

a.m. y p.m. del generador. Para algunos usos, como el residencial o las oficinas, la hora pico del generador puede ser la misma que la hora pico del tránsito en las vías adyacentes. Para otros usos, como los comercios, restaurantes y bancos, el pico del generador puede ocurrir desplazado del pico del tránsito en vías adyacentes. El tiempo exacto de esta hora no es incluido en la información suministrada y debe ser obtenido de otras fuentes, si es necesario.

- *Índices de viajes en vehículo en sábado y en domingo*: define el volumen de tránsito diario entrando y saliendo de un generador, en sábado y en domingo. Se expresan como dos índices separados, uno para cada día.

- *Índice de viajes en hora pico del generador en sábado y en domingo*: con ella se obtiene el volumen horario medido, entrando o saliendo en ambos sentidos, en sábado y en domingo. Esta hora pico puede ocurrir en cualquier momento durante el día o la noche. El tiempo exacto de esta hora no es incluido por el ITE en sus reportes. Al igual que en el caso anterior, se expresan a través de dos índices diferentes.

Otro aspecto que puede requerir del ajuste de los Índices de Generación, es la necesidad de reflejar el uso de modos alternativos de transporte, pues comúnmente son desarrollados para viajes vehiculares. Estos ajustes pueden afectar principalmente a los viajes hogar-trabajo (HBW), por lo que además de los índices, se requiere información que permita determinar la proporción de los viajes con este propósito, la cual es afectada por modos alternativos.

Concluyendo la descripción del proceso de estimación de generación de viajes a través de índices, a continuación se describen los principales pasos a seguir para

lograrlo, dejando de lado el proceso de construcción de cada índice, objeto de esta investigación:

1. Definir las actividades o generadores a analizar dentro del área en estudio.
2. Determinar los períodos de tiempo a analizar.
3. Seleccionar los índices de generación que se utilizarán.
4. Definir el valor presente y futuro de las variables independientes de cada actividad en las unidades en que se establece el índice a utilizar.
5. Establecer conteos de tránsito en la vialidad adyacente a los generadores.
6. Estimar la generación actual a través de los Índices utilizados y comparar con los datos de conteos.
7. Realizar los ajustes necesarios a los índices, partiendo de la comparación del inciso 6.
8. Estimar los viajes generados por el área en estudio por generador y por período, al horizonte temporal definido.

### **1.5.2 Índices de generación de viajes y los estudios de impacto vial**

Una de las premisas de la planificación del transporte es que la demanda de transporte es un reflejo directo de la localización de actividades, mientras que, como apuntan Echeverry y Yamashita, es común observar principalmente en las ciudades latinoamericanas, cómo los sistemas de transporte y la urbanización han sido planificados aisladamente. Por estas razones, para avanzar en el terreno de la

investigación del transporte y la determinación de sus implicaciones para la calidad de vida de la población, es fundamental considerar la estructura de la ciudad para tomar decisiones en relación con el sistema de transporte.

Así como se está presentando en la ciudad de Guatemala, se ha volcado la mirada hacia la planificación de los usos del suelo como herramienta en la planificación del transporte: el desarrollo urbano no es un condicionante sino un instrumento más en la política de transporte; se piensa en dirigir el desarrollo económico y residencial en el espacio para reducir el tráfico. En este sentido, el método de Índices de Generación es una herramienta que permite correlacionar satisfactoriamente las variables urbanas y de transporte, facilitando la coordinación de la planificación y gerencia de las actividades urbanas y la planificación del transporte y la eficiencia del sistema vial.

## **1.6 LAS ACTIVIDADES URBANAS COMO GENERADORAS DE VIAJES**

Es necesario analizar las actividades y componentes del sistema urbano, por una parte, como generadores de viajes, tomando en cuenta el desarrollo de los principales conceptos que vinculan el desarrollo urbano y el sistema de transporte, y por otra, haciendo énfasis en la revisión de las características de transporte y de los principales usos del suelo.

En tal sentido, se desarrollan algunos aspectos vinculados a la movilidad, accesibilidad, demanda y patrones de viajes, y se incorpora en mayor detalle la revisión del concepto de Polos Generadores de Viajes, o de Tránsito. Igualmente se ha elaborado un inventario de las principales actividades urbanas y sus características en cuanto a su tipología desde el punto de vista de transporte, las variables explicativas, el patrón horario que despliegan, así como las principales fuentes de información y los métodos de recolección de la misma, que pueden ser utilizados para estimar Índices de Generación de Viajes (IGV) de cada una de dichas actividades.

### **1.6.1 Desarrollo urbano, movilidad y transporte**

El desarrollo urbano de las áreas metropolitanas está marcadamente influido por factores históricos, físicos y geográficos, que determinan sus patrones de localización y crecimiento. Del mismo modo, variables socio-económicas condicionan su estructuración y evolución, logrando hacer de éste, un complejo sistema de relaciones

funcionales, donde el transporte juega un papel determinante como uno de los vehículos que permite que las interacciones necesarias se lleven a efecto.

Las teorías de estructuración de las ciudades permiten entender la lógica de las relaciones entre los diversos entes de la sociedad (individuos, grupos e instituciones) y el espacio que ellos ocupan, en cuanto que un sistema de transporte, garantiza que estas relaciones se mantengan.

Un patrón de movimiento urbano es un producto marginal generado por las actividades urbanas distribuidas en el espacio y además por la disponibilidad técnica de los sistemas de transporte. Esta afirmación, bajo un enfoque sistémico, apunta a que la relación entre el transporte y la estructura urbana no es unidireccional. Al igual que la ciudad, como organismo vivo, se sirve del sistema de transporte para garantizar estas relaciones, el esquema de transporte imperante en un área urbana condiciona la distribución de las actividades dentro de ella. Por tanto, la conformación de una ciudad puede verse también como un producto del sistema de transporte y las facilidades disponibles. En la parte de la teoría económica del transporte, la localización de actividades viene determinada por los servicios disponibles de transporte y el transporte se ha convertido en un elemento principal de las teorías acerca de cómo, por un lado, se distribuyen las actividades económicas y, por otro, se desarrollan los valores del suelo.

Cada día se difunde más el concepto de los costos crecientes de transporte como elemento determinante en la localización espacial de las actividades, aún cuando en etapas muy recientes el desarrollo de los sistemas de comunicación ha venido a incorporar la posibilidad del trabajo remoto y la disminución de los desplazamientos, gracias a las facilidades para la transferencia de información. Sin embargo, esta es una

opción aún muy lejana, sobre todo para países como el nuestro en vías de desarrollo, donde la mayoría de la población no dispone de acceso a estas nuevas tecnologías.

La influencia de la estructura urbana sobre el sistema de transporte es apreciable, ya que los efectos pueden notarse casi a diario, tan solo al observar el incremento de los volúmenes de tránsito o los cambios en la estructura de rutas de un servicio de transporte público colectivo, producto de la localización de un nuevo centro empleador; mientras que a la inversa, el impacto que sobre la estructura urbana pueden generarse por modificaciones en el sistema de transporte es más difuso, pues participa una serie de factores encadenados, que hacen más difícil la identificación de la contribución neta del transporte. Bajo esta realidad, y con la intensificación de los procesos urbanos de densificación de las áreas centrales no tradicionales, por una parte, y por la otra, la dispersión de las áreas residenciales que el automóvil ha facilitado, nuestra manera de vivir y la calidad de vida, dependen hoy más que nunca y en forma determinante, de la naturaleza y calidad de nuestros sistemas de transporte, los grandes facilitadores de las interacciones humanas.

Pero precisando más en las motivaciones que permiten comprender la movilidad en nuestras ciudades, la literatura clásica, además de resaltar la función del transporte como herramienta para facilitar los intercambios con finalidades sociales o económicas específicas de los individuos, donde la inmensa mayoría de los desplazamientos no se hacen por gusto y no se harían si no fuera por algún objetivo adicional o compensatorio, es decir, el deseo de estar en el lugar A más que en el lugar B, señala que pueden identificarse siete razones para que se efectúen los viajes: diferencias geográficas, especialización, economías de escala, objetivos políticos, relaciones sociales, oportunidades culturales y las preferencias en la localización de población, resultado del balance personal de las familias entre el costo de viajar y la calidad de la vivienda.

Otra característica de los desplazamientos, en particular de aquellos con determinados propósitos, es que mantienen patrones regulares tanto en el tiempo como en el espacio, por lo que es posible desarrollar modelos de estimación de los mismos en los que estas conductas se reflejan y pueden ser proyectadas. Además, hoy en día, el incremento en el nivel de vida de la población, ya sea por aumentos en el ingreso, mayor disponibilidad de tiempo libre, o mejores facilidades de transporte, disminuye la fricción que la distancia representa para viajes con ciertos propósitos, los cuales se relacionan más estrechamente con las necesidades de la población y sobre todo con la oferta especializada de servicios de la ciudad, es decir con lo que se necesita, más que con lo que debe desplazarse para obtenerlo. Es por esto último que la vinculación entre las actividades urbanas y el transporte es un tema de particular importancia para la planificación de la ciudad en los actuales días. Y dentro de esto, es de suma relevancia el tema de la generación de viajes asociada a las diferentes tipologías de usos del suelo urbano, como instrumento de gestión urbana que conduzca a mejorar el funcionamiento, entre otros, del sistema vial, ya que la capacidad de la red vial depende de las actividades que se desarrollan a lo largo del sistema de transporte y este puede ser mejorado a través de políticas adecuadas de planeamiento urbano.

Así, las políticas de transporte, actualmente, están orientándose hacia la coordinación de la planificación del transporte con la planificación urbana, como forma de analizar y gestionar las necesidades de movilización de la población.

Más aún, estos planteamientos han comenzado a generar cambios en los paradigmas urbanísticos que durante mucho tiempo orientaron las políticas urbanas, pues, aunados a objetivos ambientales, se comienza a pensar en que hay que erradicar el

diseño separado en el espacio de los distintos elementos de la urbanización. Diseñar formas urbanas que permitan la coexistencia de las distintas actividades asociadas a la residencia, ocio, trabajo y circulación, lo que permitirá afrontar el nuevo modelo de tejido compacto ecológicamente sostenible. Se propone la creación de un modelo de agrupación urbana compacta que permita aumentar las relaciones sin aumento de las energías contaminantes.

Dentro de esta nueva visión también se comienzan a orientar las estrategias de planificación hacia las necesidades futuras de accesibilidad, estableciendo criterios para la determinación de localizaciones óptimas de ciertos desarrollos, y haciendo énfasis en la evaluación del impacto provocado por los equipamientos de gran tamaño.

### **1.6.2 Principales actividades urbanas y sus características de transporte**

Bajo el concepto de las actividades urbanas como principales motores de la movilidad en las ciudades, y debido a la importancia de la vinculación entre la estructura urbana y el transporte, es preciso analizar cómo se comportan dichas actividades desde el punto de vista de transporte; qué variables las explican con el objeto de predecir su comportamiento, cuál es su patrón temporal, y cuáles son las principales fuentes de información y los mecanismos para su recopilación, que faciliten en forma económica, sencilla y expedita, el análisis de estas variables, y la estimación y proyección del comportamiento de los usos del suelo en materia de transporte.

Como principal productor de viajes, se encuentra la actividad residencial y un conjunto de usos que atraen hacia donde se dirige la mayor parte de los viajes originados en las viviendas. Para cada caso se han incluido las variables explicativas de acuerdo con las condiciones de operación o funcionamiento de las actividades, además de algunas de carácter espacial, por su permanencia temporal y por la facilidad en la obtención de información, aunque pueden estar menos correlacionadas con el número de viajes generados. Otras variables incluidas, más que permitir la construcción de Índices o servir de base para dicho indicador, describen las características de la demanda que estiman y aportan información sobre los patrones de conducta asociados. Así por ejemplo, las condiciones operativas de las actividades educacionales, como horarios, secciones, niveles o actividades extracurriculares, pueden aportar datos sobre el porqué del valor de un índice a determinada hora y su relación con el comportamiento de esta actividad.

Es abundante la literatura sobre modernos y sofisticados instrumentos de levantamiento de información; encuestas origen-destino, métodos de preferencias declaradas, entrevistas en líneas de cordón, etc.; pero también es cierto que los mismos requieren de esfuerzos económicos importantes e inversiones en tiempo que escapan a la capacidad de los entes reguladores y de gestión del transporte, en la mayoría de las ciudades.

Para la actividad asistencial, a través de entrevistas puntuales que conduzcan a un inventario detallado, conjunto con los prestadores de servicios, la consulta a los organismos rectores de la actividad, ya sean municipales o de otra jerarquía, conteos vehiculares para determinar horarios picos, y el estudio del comportamiento de las facilidades de estacionamiento que sirven a estos centros, puede determinarse el número de camas, consultorios y empleos, el área de terreno y construcción y los viajes

producidos y atraídos por la actividad, logrando de esta manera obtener un indicador de generación con base en cualquiera de las variables explicativas.

### **1.6.3 Polos generadores de viajes**

Aún cuando el concepto de Polos Generadores de Viajes es de reciente incorporación como parte de la metodología de análisis de impacto de las actividades urbanas sobre el comportamiento de la red vial, producto de las nuevas visiones que se introducen en las técnicas de planificación, es un elemento que forma parte del esquema clásico de simulación de redes de transporte. Sin embargo, actualmente se le ha dado mayor importancia debido a las características del proceso de urbanización y renovación urbana, donde, dentro del tejido de la ciudad comienzan a aparecer, con mayor regularidad, actividades que modifican sustancialmente el comportamiento del tránsito en su área de influencia, y que requieren de una evaluación puntual, para, por una parte, tomar medidas de gestión de la demanda de transporte, y por otra, imponer controles y/o requerimientos adicionales a los encargados de desarrollarlos. Este concepto es de gran utilidad pues permite focalizar las prioridades de construcción de índices de generación, para aquellos usos del suelo que con mayor frecuencia se constituyen en Polos Generadores de Tránsito.

Diferentes autores aportan rasgos característicos de los Polos Generadores en sus definiciones, se define como polo generador un establecimiento cuyas actividades generan, directa o indirectamente, una demanda de tránsito con características extraordinarias e imprevistas para el uso y ocupación del suelo en el entorno de la carretera. Pueden también ser eventos que demanden un volumen de tránsito temporal y concentrado, reduciendo el nivel de servicio de la vía, otro autor los define como las

construcciones urbanas que atraen gran cantidad de desplazamientos de personas o cargas (escuelas, conjuntos de oficinas, centros comerciales). y la Compañía de Ingeniería de Tránsito -CET- del Brasil los define como establecimientos de gran tamaño, que atraen o producen gran número de viajes, causando efectos negativos en la circulación en su entorno inmediato y, en ciertos casos, perjudicando la accesibilidad de toda una región, o agravando las condiciones de seguridad de vehículos y peatones.

Sintetizando, los Polos Generadores de Viajes son actividades urbanas de grandes dimensiones o intensidades significativas, que generan un volumen de demanda de viajes que modifica las condiciones de operación de la red vial en su área de influencia, causando un fuerte impacto sobre el sistema de transporte, y por tanto, afectando la calidad de vida en el entorno. De esta manera, la localización de un Polo Generador puede provocar la aparición de conflictos en la circulación de vehículos, ya que si no se establecen los ajustes necesarios puede superarse la capacidad vial de la red, deteriorando los niveles de servicio de operación, transformando el medio urbano. Sin embargo, estos establecimientos también representan una oportunidad para el desarrollo y mejoramiento de las condiciones socio-económicas del sector donde se ubican, pues generan empleo, renta, ofrecen servicios a la población y dinamizan su potencial inmobiliario, por lo que se convierten en la posibilidad de obtener beneficios urbanos para la comunidad, a través de las negociaciones entre el sector privado, que está obteniendo incrementos en la renta, y los organismos de gestión local, que pueden solicitar la incorporación de obras y/o programas sin cargos al presupuesto público, o instrumentar mecanismos impositivos que permitan recaudar los recursos necesarios para adelantar mejoras urbanas.

Incorporando este concepto como herramienta fundamental en los estudios de análisis de impacto vial, diversos autores establecen la siguiente clasificación para Polos Generadores de Viajes:

- De acuerdo con el volumen de tránsito para una demanda de 20 años:
  - Tamaño pequeño
  - Gran tamaño
- De acuerdo con la distribución del tránsito generado:
  - A lo largo del día
  - concentrado en horarios determinados
  - concentrado en determinados días
  - concentrado en días y horarios determinados
- De acuerdo con la vocación del tránsito:
  - Urbano
  - Rural o regional
- De acuerdo con la naturaleza del flujo de tránsito de vehículos:
  - De transporte público
  - Particulares individuales
  - De carga
  - Particulares colectivos (flotas)

**Tabla No. 2.** Polos generadores de viajes y sus características

<b>POLOS GENERADORES DE VIAJES Y SUS CARACTERÍSTICAS</b>				
<b>TIPOS DE POLOS GENERADORES</b>	<b>VOCACIÓN</b>	<b>NATURALEZA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO</b>
Centros Comerciales	Urbano	Particular / Carga	Pequeño	A lo largo del día
Hipermercados	Urbano	Particular / Carga	Pequeño	A lo largo del día
Terminales de carga	Regional	Carga	Pequeño	A lo largo del día
Industrias	Regional	Carga	Grande	Horarios determinados
Estadios y gimnasios / Deportes	Regional	Carga	Grande	Horarios determinados
Pabellones ferias / exposiciones	Regional	Particular / Flota	Pequeño	Horarios determinados
Parques de diversiones	Regional / Urbano	Particular / Flota	Peq. / Gra.	Días determinados
Centros Empresariales	Urbano	Particular / Público	Peq. / Gra.	Horarios determinados
Conjuntos comerciales	Urbano	Particular / Público	Peq. / Gra.	A lo largo del día
Conjuntos residenciales	Urbano	Particular / Público	Peq. / Gra.	Horarios determinados
Parques y áreas verdes	Regional	Particular / Público	Pequeño	Días determinados
Hoteles / Moteles	Regional	Particular	Pequeño	A lo largo del día
Restaurantes / Estaciones Servicio	Regional / Urbano	Particular	Pequeño	Días determinados
Hospitales	Urbano	Particular	Pequeño	A lo largo del día
Centros de espectáculos	Urbano	Particular	Pequeño	Horarios y días determinados
Escuelas / Universidades	Regional / Urbano	Particular / Público	Peq. / Gra.	Horarios determinados

*Fuente: Ciolito Porto, Henriqueta, Clara E. Geocze T. Cleanto de Freitas B. " Método de análise de impacto de pólos geradores de tráfico". Actas del XII Congreso Brasileño de Transporte y Tránsito. ANTP, Recife, Brasil, 1999.*

Dadas las características de los Polos Generadores y su influencia sobre el entorno, los entes reguladores deben establecer como requisito indispensable para su implantación, el desarrollo de un estudio de impacto vial, en el que se realice un análisis basado en criterios tanto urbanísticos como de transporte, que permita determinar la viabilidad de su instalación, en la localización propuesta, y con las dimensiones y la intensidad que se pretende. Igualmente, cualquier modificación en un establecimiento ya en operación y que califica como Polo Generador debe ser analizada. A nivel global, sin embargo, es necesario que se cuente con modelos más sofisticados que evalúen la red de transporte en su conjunto. Estos estudios puntuales, utilizando Índices de Generación, requieren que las autoridades encargadas de la gestión de la ciudad, definan ciertos criterios para que el especialista pueda, por una parte, determinar la viabilidad del Polo Generador en relación a su localización e intensidad, y por otra, establecer las medidas de mitigación a los efectos negativos producidos por su instalación.

Dentro de los aspectos que deben incluir estos criterios de transporte y urbanos para enmarcar el estudio del impacto de un Polo Generador, cabe destacar:

- Rangos de tolerancia en relación a las modificaciones en los niveles de servicio de la red vial, y requerimientos mínimos para su satisfacción.
- Contención del impacto para impedir su transferencia a la malla principal de la ciudad.
- Condiciones para el proceso de implantación del Polo Generador y su interconexión con la trama vial. Si este se da por fases, el estudio debe reflejar estos horizontes temporales, para que las medidas de mitigación de impactos negativos sean implementadas en el momento requerido.
- Rangos de tolerancia en las modificaciones temporales de las condiciones del tránsito en la etapa de construcción del Polo Generador, y medidas mitigadoras

necesarias, como señalización, información previa a usuarios, controles y fiscalización.

- Definición de condiciones para determinar alternativas en las propuestas de vías de acceso al Polo Generador.
- Tipos de actividades complementarias que pueden aumentar el impacto del Polo Generador, y sus condiciones y/o restricciones de operación.
- Compatibilidad entre actividades urbanas, desde el punto de vista urbano y ambiental.
- Restricciones en la operación de las actividades, en cuanto a horarios, emisiones, estacionamiento, carga, entre otras.

En cuanto al tipo de medidas de mitigación que estos estudios pueden aportar, en la tabla número 3 aparecen algunas que ilustran la amplia gama de acciones que se requieren para incorporar de forma positiva un Polo de Generación, disminuyendo sus externalidades.

**Tabla No. 3. Medidas mitigadoras del impacto causado por los polos generadores  
sobre la fluidez del tránsito**

<b>TIPO DE MEDIDAS MITIGADORAS DEL IMPACTO CAUSADO POR LOS POLOS GENERADORES SOBRE LA FLUIDEZ DEL TRÁNSITO</b>	
<b>TIPO DE MEDIDA</b>	<b>EJEMPLO</b>
<b>Obras de gran tamaño</b>	Ejecución de alternativas viales, nuevos enlaces, viaductos, ampliaciones, etc.
<b>Obras de tamaño pequeño</b>	Accesos a desnivel, mejoras geométricas, canalización de intersecciones, cambios en accesos a parcelas, construcción de bahías de estacionamiento o espera, reductores de velocidad, etc.
	Modificaciones al mobiliario urbano, relocalización de paradas de transporte público, etc.
	Mejoras en servicios de redes (canalización de drenajes, modificación de iluminación).
<b>Operaciones definitivas</b>	Señalización horizontal, vertical, semaforización, demarcación, etc.
	Modificaciones al sistema de circulación (sentidos, direcciones, giros, etc.).
	Restricciones de estacionamientos.
<b>Operaciones provisionales</b>	Señalización removible (divisoras de tránsito, etc.).
	Bloqueos de acceso.
	Campañas de información sobre alteraciones en las condiciones normales del tránsito.
<b>Operaciones ocasionales</b>	Limitación de horarios (escalonamiento, imposición de horarios, etc.)
	Operativos de fiscalización y control del tránsito.
	Control de horarios de carga y descarga.

Nota: en el cuadro sólo se incluyen algunas medidas que inciden sobre la fluidez del tránsito de la red vial, no así medidas de otra clase que obtienen los impactos que sobre el medio ambiente (ruido, emanaciones, visuales, etc.) producen los Polos Generadores de Viajes.

Fuente: Elaboración Ciolito Porto, Henriqueta, Clara E. Geocze T. Cleanto de Freitas B. " Método de análisis de impacto de pólos geradores de tráfico". Actas del XII Congreso Brasileño de Transporte y Tránsito. ANTP, Recife, Brasil, 1999.

#### **1.6.4 Principales polos generadores de viajes en el Área Metropolitana de Guatemala**

Existe un plan elaborado por la Municipalidad de Guatemala, que lleva consigo el ordenamiento territorial; inmerso en el mismo se encuentra la clasificación del uso de suelo que se pretende realizar sobre alguna área específica. Esto ayudará a poseer una visión del posible crecimiento y las áreas en las que se estaría desarrollando y evolucionando cualquier tipo de uso de suelo, permitiendo así mejorar las políticas relevantes del transporte. De acuerdo con el plan anteriormente mencionado, se ha clasificado las zonas municipales en áreas de zonas generales, donde se especifican las características que posee cada una de ellas y sus regulaciones. Debido al crecimiento de proyectos de desarrollo, se ha observado la tendencia de cada zona y por lo tanto la inclinación hacia algún tipo de suelo de los polos generadores de viajes. Las opciones de ampliar el potencial para urbanizar dentro de la ciudad de Guatemala, es mínimo, presentándose el crecimiento en los municipios aledaños al mismo (Mixco, Villa Nueva, Fraijanes, etc.). Por lo que es aún importante que se involucre la planificación del uso del suelo y al mismo tiempo del transporte en los municipios del área metropolitana de Guatemala. Para que en conjunto se presenten las medidas a implementar e involucrar procedimientos que ayudarán a todas las instituciones en la planificación de la red vial.

En Guatemala, es mucho lo que hay que avanzar en esta dirección, ya que los sistemas de transporte y la urbanización han sido aisladamente planificados, y continúan siéndolo. Sin embargo se ha estado observando un incentivo en el desuso del automóvil y por tanto la congestión, siempre en el marco jurisdiccional de la ciudad de Guatemala, ya que éstas prácticas favorecen la dispersión del espacio, la baja densidad y la separación de actividades, como ideales de calidad urbana, referente al escenario

económico éste cada vez más restringido en su capacidad de generar nuevas infraestructuras y atentando contra los nuevos objetivos medioambientales.

Cada día se hace más evidente en el marco de nuestra realidad, la insuficiencia de la planeación aislada del transporte, cuando los principales problemas dependen de elementos estructurales de la ciudad; por eso es necesario adelantar en la construcción, de criterios, modelos y herramientas, que aunque modestas en cuanto a su alcance, permitan avanzar en la construcción de una plataforma técnica para la toma de decisiones, en la gestión del sistema de transporte vinculada a los usos del suelo.

## **CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA PEQUEÑOS CENTROS COMERCIALES**

### **2.1 Centros comerciales y sus características como polos generadores de viajes**

Los centros comerciales, es una construcción que consta de uno o varios edificios, por lo general de gran tamaño, que albergan locales y oficinas comerciales aglutinados en un espacio determinado para reducir espacio y tener mayor cantidad de clientes potenciales. Desde el punto de vista urbano y económico, los centros comerciales son un equipamiento comercial donde se concentran desde tiendas por departamento y minoristas, hasta cadenas corporativas de distribución, donde el consumidor tiene la posibilidad de establecer comparaciones in situ de la calidad y precios de los productos y servicios; es un territorio especializado, con una alta capacidad en infraestructura comercial, equipamiento auxiliar, sistemas de transporte y recursos tecnológicos de comunicación, muy competitivo para las operaciones de distribución física de productos calificados de gran consumo. Éstas condiciones son las que determinan el alto poder de atracción de los centros para la población, ya que en ellos puede satisfacerse una gran cantidad de necesidades sin pérdida de tiempo y minimizar los desplazamientos, más aún cuando en ellos se localizan centros de servicio no comerciales, en sentido estricto, como oficinas de atención al público de los operadores de sistemas de redes como agua, luz, comunicaciones, etc., instalaciones de atención médica ambulatoria, consultorios, laboratorios, y oficinas de servicios profesionales de diferentes especialidades.

Los centros comerciales, también deben de considerarse no sólo como áreas para el consumo, sino como son centros recreacionales, pues por una parte ofrecen actividades de esparcimiento para todas las edades, y por otra, condiciones de seguridad que otras áreas para el ocio no pueden garantizar. Este poder de concentración y atracción de población consumidora define el carácter de Polo Generador de Viajes de los centros comerciales, pues el número de desplazamientos atraídos por él, es mucho mayor que el de cualquier actividad que se localice en sus adyacencias, y, por lo general producto de la especialización cada vez mayor de los productos de consumo ofertados, la distancia no es una variable que condicione la demanda de viajes hacia estos establecimientos.

La razón por la cual los Centros Comerciales merecen una atención especial, reside en el hecho de que estos representan una gran concentración espacial de establecimientos con características de atracción de viajes. Ésta concentración trae consigo problemas de estacionamiento, insuficiencias en la circulación del tránsito y desequilibrios en el uso del suelo en sus adyacencias. Si se considera además que una de las características más relevantes de los modernos centros comerciales es que se insertan dentro de una malla urbana, y dentro de ella en vías de jerarquía principal, comúnmente comprometidas desde el punto de vista de su nivel de servicio, es evidente que el efecto que pueden generar impacta el desenvolvimiento de otras actividades y condiciona la calidad de vida en su entorno, e incluso, dependiendo de la escala del centro comercial, alterar condiciones de grandes sectores de la ciudad.

Los centros comerciales pueden potencialmente provocar grandes inconvenientes, nadie puede desmerecer la importancia de estas instalaciones para el moderno estilo de vida urbano, e inclusive, las ventajas que ofrece la concentración de actividades y servicios como instrumento para la reducción del número de

desplazamientos y del tiempo destinados a ellos. Por otra parte, estos centros introducen dinamismo en el mercado inmobiliario, reactivan zonas urbanas deprimidas y deterioradas y revitalizan espacios intraurbanos, produciendo nuevos segmentos de ciudad; de esta manera movilizan la economía, generando empleos e intercambio de bienes y servicios. Los centros comerciales se pueden considerar como la actividad urbana de mayor escala que requiere con urgencia, de métodos y procesos técnicos validados, que faciliten la medición, previsión y corrección de sus efectos negativos sobre el entorno urbano y sobre la calidad de vida de sus habitantes. Son una tipología constructiva que necesita del establecimiento de criterios claros de localización, para su control por parte de las autoridades locales.

Existen establecimientos de diferente naturaleza y destinados a distintos tipos de público, por lo que se especifican las actividades que pueden incluirse dentro de la estructura, y en este sentido es importante señalar que en ella pueden aparecer usos que requieran de consideraciones especiales como automercados, cines, gimnasios, consultorios, entre otros, ya que pueden influir en el patrón horario y el volumen de viajes generado por el conjunto.

Dentro de las variables que explican la generación de viajes de un Centro Comercial, las distintas áreas ocupadas son las más utilizadas regularmente, pues son de fácil determinación y poseen la condición de su permanencia en el tiempo. Dentro de estas, el Área Rentable presenta la particularidad de reflejar con mayor exactitud la participación de la actividad comercial, ya que elimina las áreas comunes que pueden tener más que ver con consideraciones de tipo arquitectónico y paisajístico que con los requerimientos necesarios para el funcionamiento de los locales comerciales. Igualmente el uso del área rentable como variable facilita la clasificación de la misma, de acuerdo con los tipos de servicios ofertados.

En el caso del número de empleos, conviene establecer su clasificación por tipo de actividad, sin embargo, esta es de más difícil obtención, debido por una parte, a la incierta estimación que debe realizarse cuando el establecimiento no se encuentra aún en operación, y por tanto no se conoce con certeza las características de los comercios que lo ocuparán, y por otra, a la reticencia de los comerciantes a facilitar datos al respecto y/o a la alta variabilidad de la ocupación en este tipo de actividad. Otra variable que permite caracterizar el comportamiento de los centros comerciales son sus características operativas, información que facilita la corrección de los resultados, ya que estos pueden obtenerse como apoyo al análisis de los mismos, debido a que ofrecen explicaciones sobre el comportamiento descrito.

El patrón de comportamiento temporal de estos establecimientos varía a lo largo del día, la semana, el mes, e incluso el año. En los días laborales la hora pico A.M. se desplaza hacia las 12 de la mañana, debido a la hora de apertura de los locales. Por la tarde, la hora pico es menos concentrada y se materializa también más tarde que el pico del tránsito, pues el acceso a estos centros está condicionado por la congestión que puede presentarse en la red vial. Los fines de semana mantienen un comportamiento de mayor holgura, ya que no existe condicionamiento por los horarios laborales ni escolares. Las variaciones mensuales y anuales están motivadas por factores ajenos al funcionamiento del propio centro comercial, relacionados con variables socio-económicas y culturales.

En referencia a las fuentes de la información necesaria para las estimaciones de generación de viajes, en el caso de los estacionamientos, a través del registro de los tickets, puede obtenerse la distribución de producción y atracción de vehículos particulares, discriminados por hora, y en algunos casos puede identificarse el comercio al que accede dicho viaje. La dependencia de los patrones de generación de los horarios

laborales y su escalonamiento es previsible, ya que al producirse cambios en estos últimos se modifican los volúmenes y las horas pico del Polo Generador. Debe tomarse en cuenta el proceso de disminución de la influencia de la distancia en las decisiones de movilización de los usuarios de los centros comerciales, debido a la especialización de la oferta que cubre sus necesidades de consumo y a la mejora en los sistemas de transporte que hacen más cómodo el desplazamiento de largos recorridos. Durante los fines de semana, la disminución de la congestión, hace aún menor efecto de la distancia en estos propósitos de viaje.

## **2.2 Los centros comerciales en la metodología del Instituto de Ingenieros de Transporte (Institute of Transportation Engineers, ITE).**

Cada uso del suelo en la metodología del Instituto de Ingenieros de Transporte, ITE, presenta un código de tres dígitos para su identificación. Los Centros Comerciales son tratados como una categoría, bajo el código 820, no desagregados según los tipos de actividades que contienen, para los cuales existen códigos particulares para cada uno. Sin embargo, para obtener un mayor provecho de la información recopilada para los casos de estudio adelantados en esta investigación, y los modelos de generación de viajes necesitan ser adecuados a cuatro escenarios distintos: centro comercial con y sin automercado, y dentro y fuera del área urbana. Porque la presencia del automercado y la localización del centro comercial en una malla urbana aumentan significativamente el número de viajes a estos establecimientos, se ha querido también detallar la información disponible en el ITE sobre supermercados (código 850).

La información analizada para centros comerciales proviene de fuentes secundarias, pero es evaluada y validada por el ITE antes de ser ingresada en la base de datos que permite la construcción de los índices de generación de viajes de vehículos. Los índices desarrollados por esta metodología estiman viajes de vehículos, ya que la información que les da origen se deriva de conteos vehiculares de diferente tipo. Para que las mismas puedan calcular los viajes de personas hacia y desde un generador, es necesario desarrollar índices de ocupación vehicular para cada actividad o para la zona en estudio, que no son proporcionados por el ITE.

Para centros comerciales y supermercados se utiliza como variable independiente el tamaño de la edificación, por lo que los viajes vehiculares generados están basados en el área bruta de ventas, ya que es la disponible en el mayor número de estudios. En el caso de pequeños centros, esta área puede ser igual al área bruta de construcción de la edificación.

En relación con el comportamiento en hora pico, la metodología ITE no establece exactamente para cada generador el momento preciso en que esta ocurre. Así, por una parte, se señala que para la vialidad adyacente a un establecimiento comercial del tipo que se analiza (así como para todas las actividades inventariadas), la hora pico durante la mañana puede ocurrir entre las 7 y las 9 A.M. y para la tarde entre las 4 y las 6 P.M. y por otra, para el polo generador, la hora pico no se especifica, por lo que cada estudio que utilice este procedimiento deberá determinarlo.

## 2.3 Cálculo y análisis de resultados de la investigación

Entre los tres centros comerciales que se consideraron para realizar el análisis de los mismos, están el Centro Comercial Mix San Cristóbal, zona 8 de Mixco, el Centro Comercial La Cerca Mariscal, zona 11 de la Ciudad Capital y el Centro Comercial Plaza San Cristóbal, zona 8 de Mixco.

### 2.3.1. Características de Centro Comercial Mix de San Cristóbal

Área total cubierta:  $25,854.83 \text{ m}^2 \approx 278.16 \text{ ft}^2 \times (1,000.00 \text{ ft}^2)$

Área ventas:  $8,344.29 \text{ m}^2 \approx 89.77 \text{ ft}^2 \times (1,000.00 \text{ ft}^2)$

Número de entradas al lugar: 2, uno se encuentra sobre la 5ª avenida y la otra sobre la 6ª avenida.

Número de salidas del lugar: 2, una se encuentra sobre la 6ª avenida y la otra sobre el Boulevard principal de San Cristóbal (3ª calle).

Número de parqueos: 407 espacios.

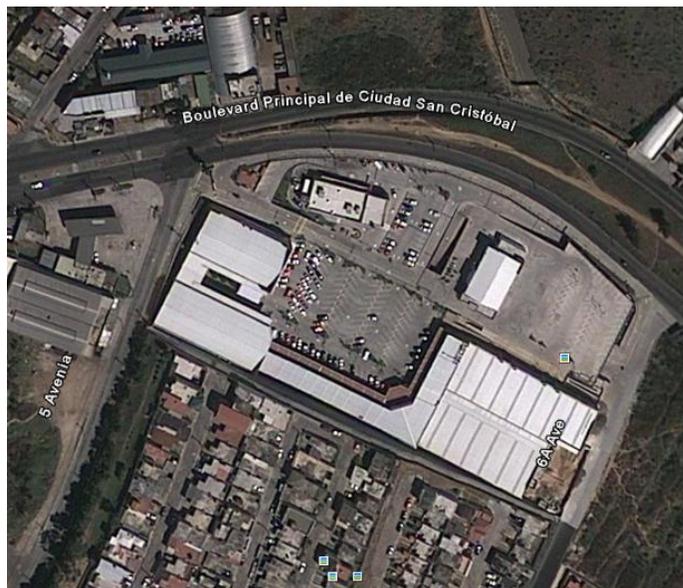
#### **Descripción general:**

Como vías aledañas al centro comercial, se encuentra el Boulevard Principal de San Cristóbal (3ª. calle), la 5ª avenida y la 6ª avenida de la zona 8 de Mixco. Posee el siguiente tipo de comercios: gimnasio, restaurantes (McDonald's, Café Barista, panadería San Martín, entre otros), farmacia, bancos, tienda de conveniencia Paiz, tienda de ropa, etc.

**Figura 1. Centro Comercial Mix, San Cristóbal**



**Figura 2. Vista Aérea Centro Comercial Mix, San Cristóbal**



### 2.3.2. Características de Centro Comercial La Cerca, Mariscal:

Área total cubierta:  $3,688.67 \text{ m}^2 \approx 39.68 \text{ ft}^2 \times (1,000.00 \text{ ft}^2)$

Área ventas:  $1,871.06 \text{ m}^2 \approx 20.13 \text{ ft}^2 \times (1,000.00 \text{ ft}^2)$

Número de entradas al lugar: 1

Número de salidas del lugar: 1

Número de parqueos: 60 espacios

#### Descripción general:

Como vía aledaña al centro comercial, se encuentra únicamente la Diagonal 17 de la Zona 11 de la Ciudad Capital de Guatemala. El tipo de comercios que se encuentra en él son: farmacia, restaurantes (Presto, Go Green, entre otros), tienda de conveniencia La Torre, etc.

**Figura 3. Centro Comercial La Cerca, Mariscal, zona 11**



**Figura 4. Vista Aérea Centro Comercial La Cerca, Mariscal, zona 11**



Ubicación de Centro Comercial La Cerca, zona 11

### 2.3.3. Características de Centro Comercial Plaza de San Cristóbal:

Área total cubierta:  $11,090.82 \text{ m}^2 \approx 119.32 \text{ ft}^2 \times (1,000.00 \text{ ft}^2)$

Área ventas:  $5,647.17 \text{ m}^2 \approx 60.75 \text{ ft}^2 \times (1,000.00 \text{ ft}^2)$

Número de entradas al lugar: posee dos entradas vehiculares sobre el boulevard principal de San Cristóbal (3ª calle).

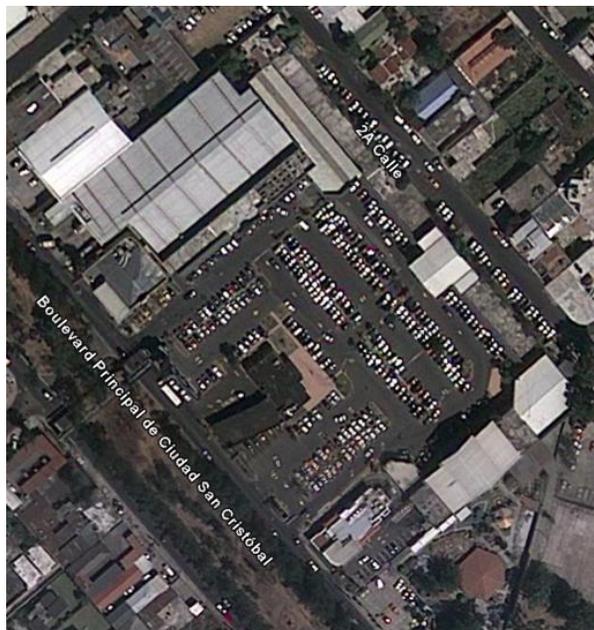
Número de salidas del lugar: tiene tres salidas vehiculares, todas fluyen hacia el boulevard principal de San Cristóbal (3ª calle).

Número de parqueos: 291

#### Descripción general:

Como vías aledañas al centro comercial, se encuentra el Boulevard Principal de San Cristóbal (3ª. calle) y la 2ª calle (aunque sobre esta última no existe mayor injerencia con la salida de vehículos). Entre el tipo de comercios que componen el centro comercial, están: diversos restaurantes (McDonald's, Pollo Campero, Little Ceaser's, etc), Farmacia, Zapatería, Bancos (Banco Industrial y Banco G&T Continental), Claro, Salones de Belleza, Heladerías, Pastelerías, Tienda de Ropa, Tienda de Conveniencia Paiz, etc.

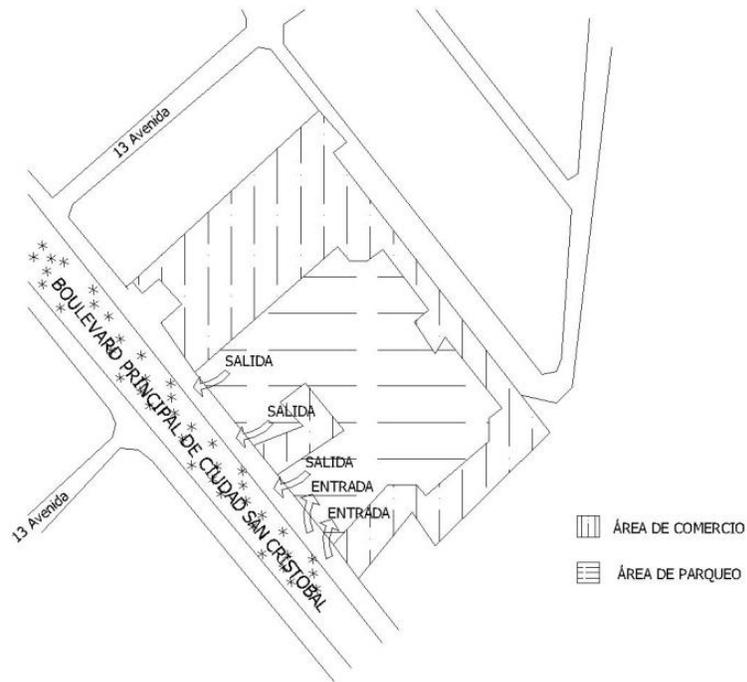
**Figura 5. Vista Aérea Centro Comercial Plaza San Cristóbal**



**Figura 6. Centro Comercial Plaza San Cristóbal**



**CENTRO COMERCIAL PLAZA  
SAN CRISTOBAL Z. 8 MIXCO**



**Tabla No. 4. Viajes vehiculares (ingresos más egresos) en hora de días martes y sábado.**

<b>CENTRO COMERCIAL</b>	<b>MARTES (Día laboral) / Hora Pico</b>	<b>SÁBADO / Hora Pico</b>
<b>PLAZA SAN CRISTOBAL</b>	870	1365
<b>MIX SAN CRISTOBAL</b>	582	673
<b>LA CERCA</b>	303	379

Fuente: elaboración propia.

**Tabla No. 5. Viajes vehiculares (ingresos más egresos) en hora de días martes y sábado.**

<b>CENTRO COMERCIAL</b>	<b>MARTES (Día laboral) / diario</b>	<b>SÁBADO / diario</b>
<b>PLAZA SAN CRISTOBAL</b>	7080	10495
<b>MIX SAN CRISTOBAL</b>	4512	5768
<b>LA CERCA</b>	2039	2345

Fuente: elaboración propia.

**Tabla No. 6. Características de los Centros Comerciales**

<b>CENTRO COMERCIAL</b>	<b>ÁREA CUBIERTA (1,000.00 ft<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA DE VENTAS (1,000.00 ft<sup>2</sup>)</b>
<b>PLAZA SAN CRISTOBAL</b>	119.32	60.75
<b>MIX SAN CRISTOBAL</b>	278.16	89.77
<b>LA CERCA</b>	39.68	20.13

Fuente: elaboración propia.

**Tabla No. 7. Índices de generación hora pico martes**

<b>VARIABLE</b>	<b>MEDIA</b>	<b>D. ESTÁNDAR</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>Área total (1,000.00 ft<sup>2</sup>)</b>	5.672	3.105	2.092	7.635
<b>Área ventas (1,000.00 ft<sup>2</sup>)</b>	11.95	4.75	6.48	15.05

Fuente: elaboración propia.

**Tabla No. 8. Índices de generación hora pico sábado**

<b>VARIABLE</b>	<b>MEDIA</b>	<b>D. ESTÁNDAR</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>Área total (1,000.00 ft<sup>2</sup>)</b>	7.803	4.757	2.419	11.439
<b>Área ventas (1,000.00 ft<sup>2</sup>)</b>	16.26	7.81	7.50	22.47

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los análisis efectuados, considerando en primer lugar una correlación de los valores y utilizando un ajuste lineal comparado con la correlación de valores en un ajuste con logaritmo natural, tanto la segunda como la primera, se aproximan a poseer una relación, proponiendo el modelo de generación que aplique la regresión lineal, considerando como la variable dependiente (y) a los viajes en hora pico, para cada variable independiente (x, tomando al área de total del uso de suelo y su área de venta), se ajustó el siguiente modelo:

$$\ln(Y) = a + b * \ln(x)$$

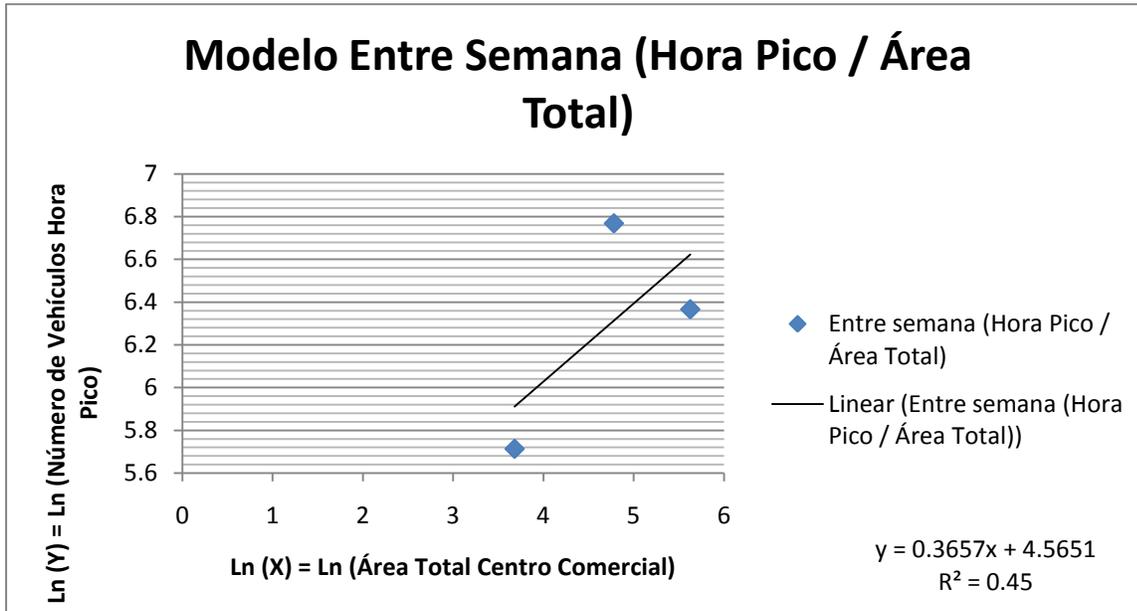
**Tabla No. 9. Modelos de generación para hora pico entre semana**

<b>VARIABLE</b>	<b>MODELO</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Área total (1,000 ft <sup>2</sup> )	$Y = e^{[4.5651 + 0.3657 \ln(X)]}$	0.45
Área ventas (1,000 ft <sup>2</sup> )	$Y = e^{[4.1554 + 0.5499 \ln(X)]}$	0.6417

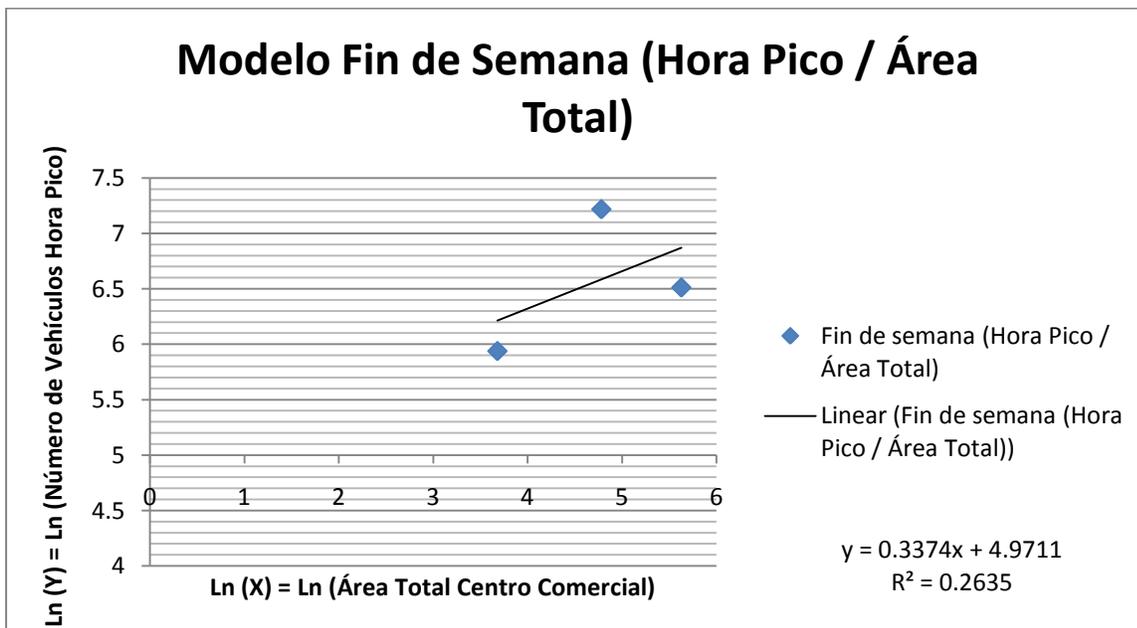
**Tabla No. 10. Modelos de generación para hora pico de sábado**

<b>VARIABLE</b>	<b>MODELO</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Área total (1,000 ft <sup>2</sup> )	$Y = e^{[4.9711 + 0.337 \ln(X)]}$	0.2635
Área ventas (1,000 ft <sup>2</sup> )	$Y = e^{[4.4138 + 0.5537 \ln(X)]}$	0.4476

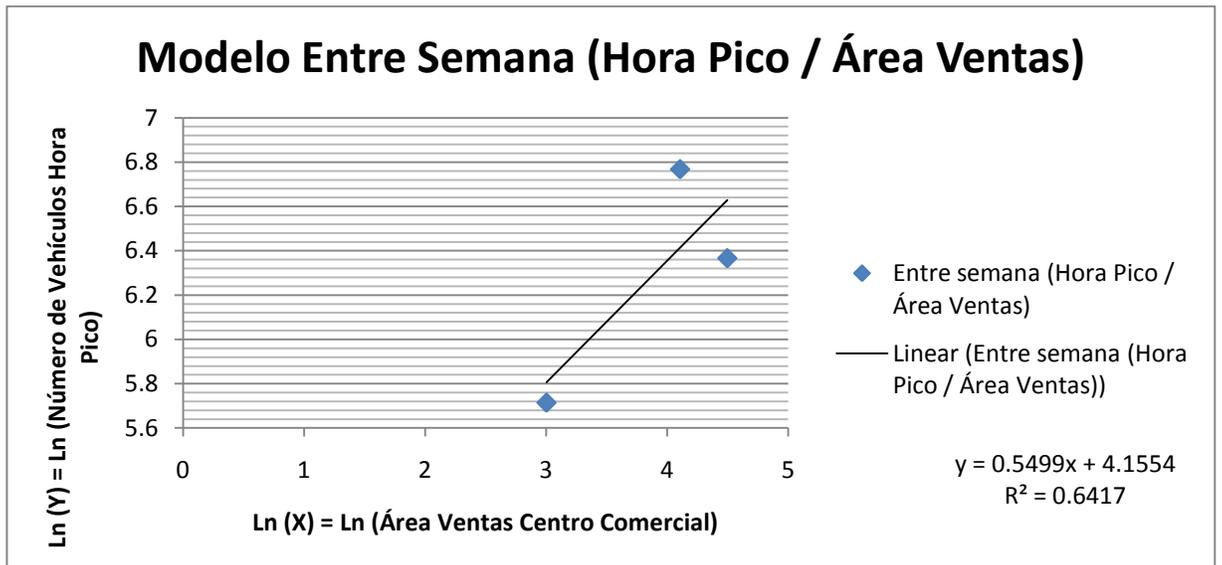
**Gráfica No. 1. Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)**



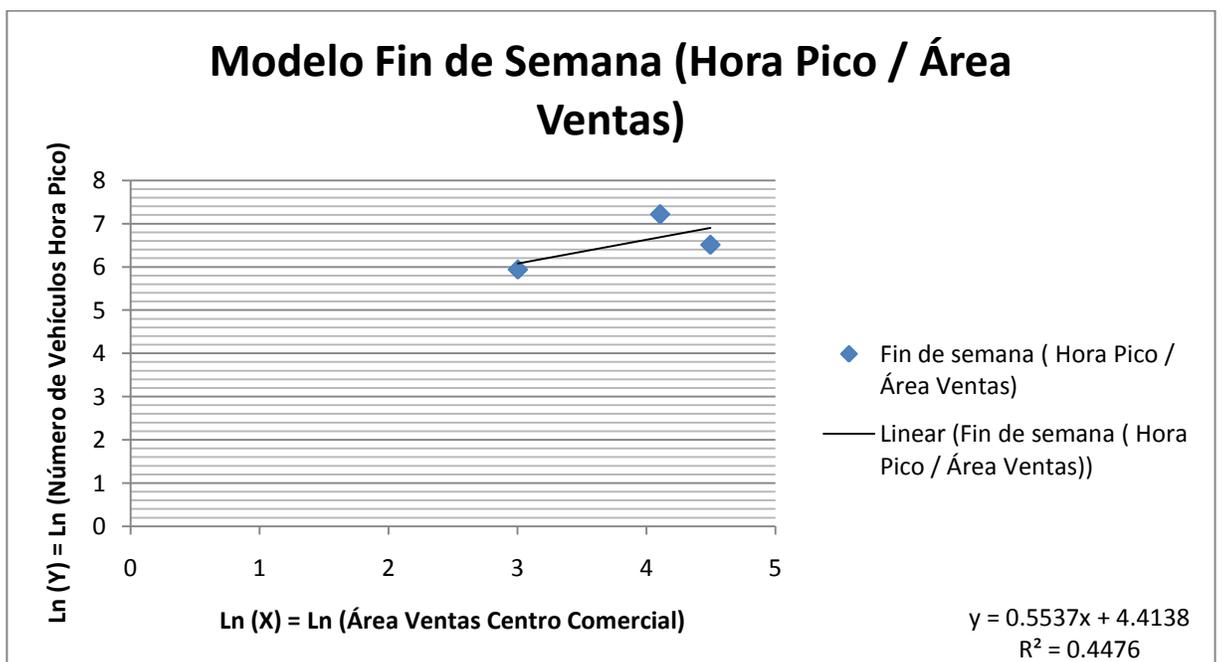
**Gráfica No. 2. Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)**



**Gráfica No. 3. Modelo de generación considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)**



**Gráfica No. 4. Modelo de generación considerando el área de ventas para el día en fin de semana (sábado)**



**Tabla No. 11. Índices de generación diaria martes**

<b>VARIABLE</b>	<b>MEDIA</b>	<b>D. ESTÁNDAR</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
Área total ( 1,000.00 ft <sup>2</sup> )	42.31	22.94	16.22	59.33
Área ventas (1,000.00 ft <sup>2</sup> )	89.36	34.71	50.26	116.53

**Tabla No. 12. Índices de generación diaria sábado**

<b>VARIABLE</b>	<b>MEDIA</b>	<b>D. ESTÁNDAR</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
Área total (1,000.00 ft <sup>2</sup> )	55.93	33.723	20.74	87.96
Área ventas (1,000.00 ft <sup>2</sup> )	117.83	54.26	64.25	172.74

De acuerdo con el análisis efectuado, considerando en primer lugar una correlación de los valores utilizando un ajuste lineal comparado con la correlación de valores en un ajuste con logaritmo natural, se aproximan a poseer una relación la segunda que la primera, proponiendo el modelo de generación empleando regresión lineal, considerando como la variable dependiente (y) a los viajes diarias, para cada variable independiente (x, tomando al área de total del uso de suelo y su área de venta) se ajustó el siguiente modelo:

$$\ln(Y) = a + b * \ln(x)$$

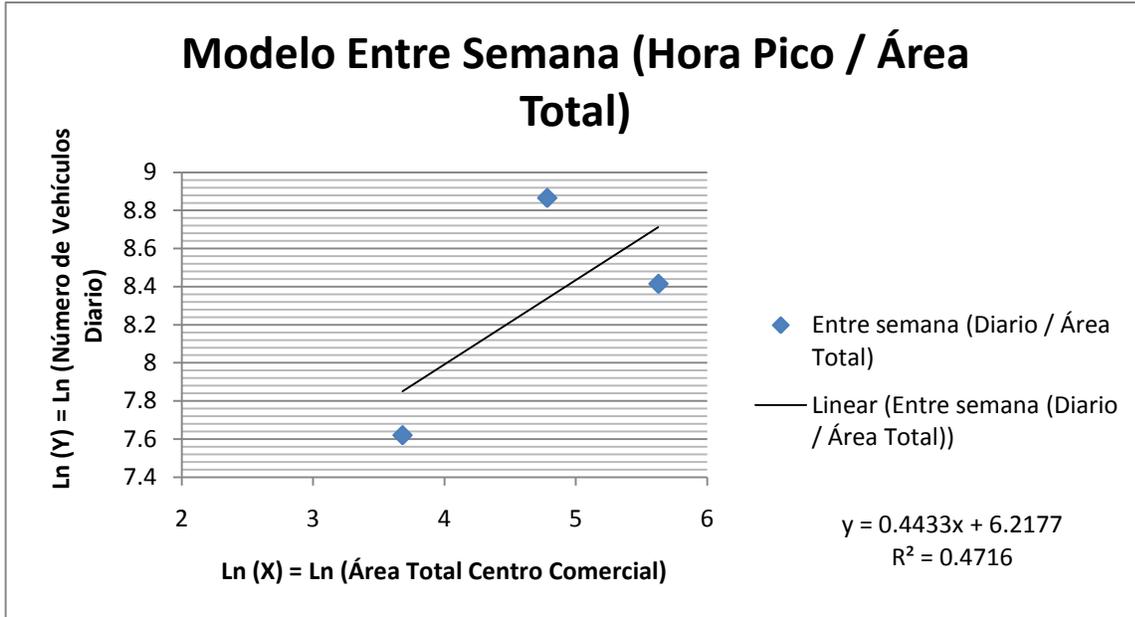
**Tabla No. 13. Modelos de generación diaria entre semana**

<b>VARIABLE</b>	<b>MODELO</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Área total (1,000 ft<sup>2</sup>)</b>	$Y = e^{[6.22 + 0.443 \text{ Ln } (X)]}$	0.472
<b>Área ventas (1,000 ft<sup>2</sup>)</b>	$Y = e^{[5.7407 + 0.662 \text{ Ln } (X)]}$	0.662

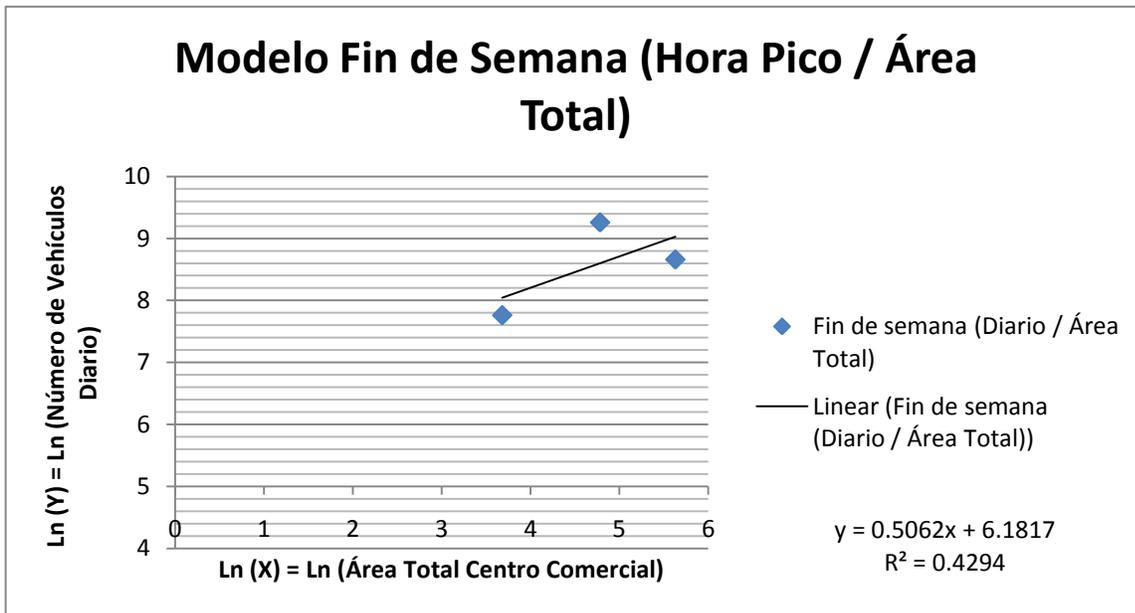
**Tabla No. 14. Modelos de generación diaria de sábado**

<b>VARIABLE</b>	<b>MODELO</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Área total (1,000 ft<sup>2</sup>)</b>	$Y = e^{[6.18 + 0.506 \text{ Ln } (X)]}$	0.429
<b>Área ventas (1,000 ft<sup>2</sup>)</b>	$Y = e^{[5.5921 + 0.767 \text{ Ln } (X)]}$	0.622

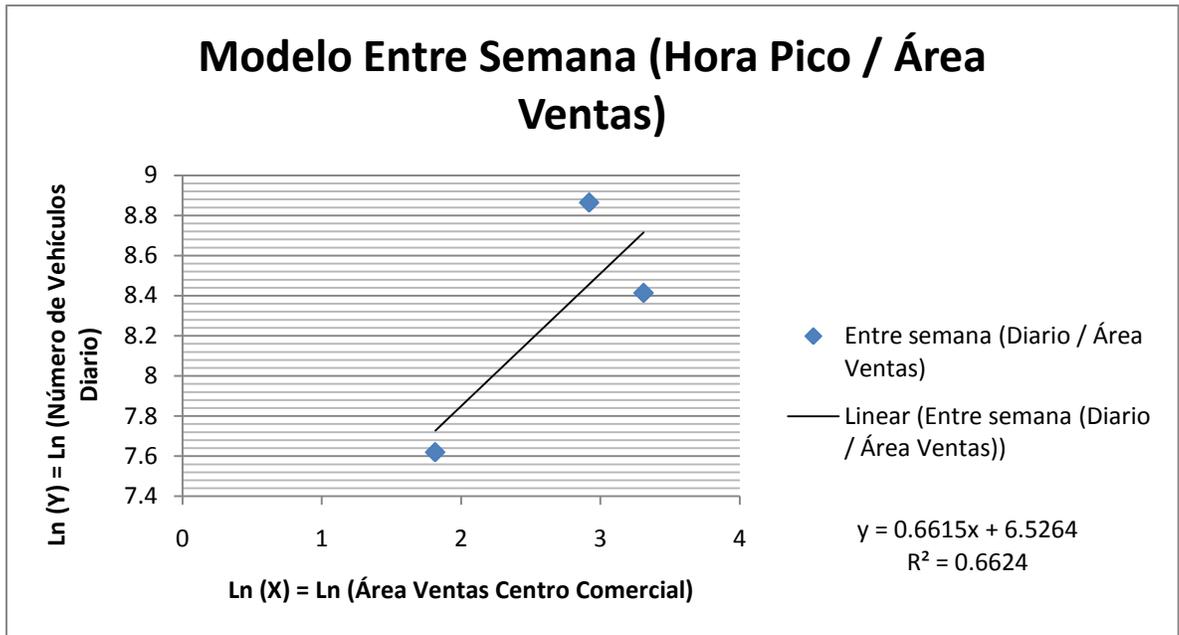
**Gráfica No. 5 Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)**



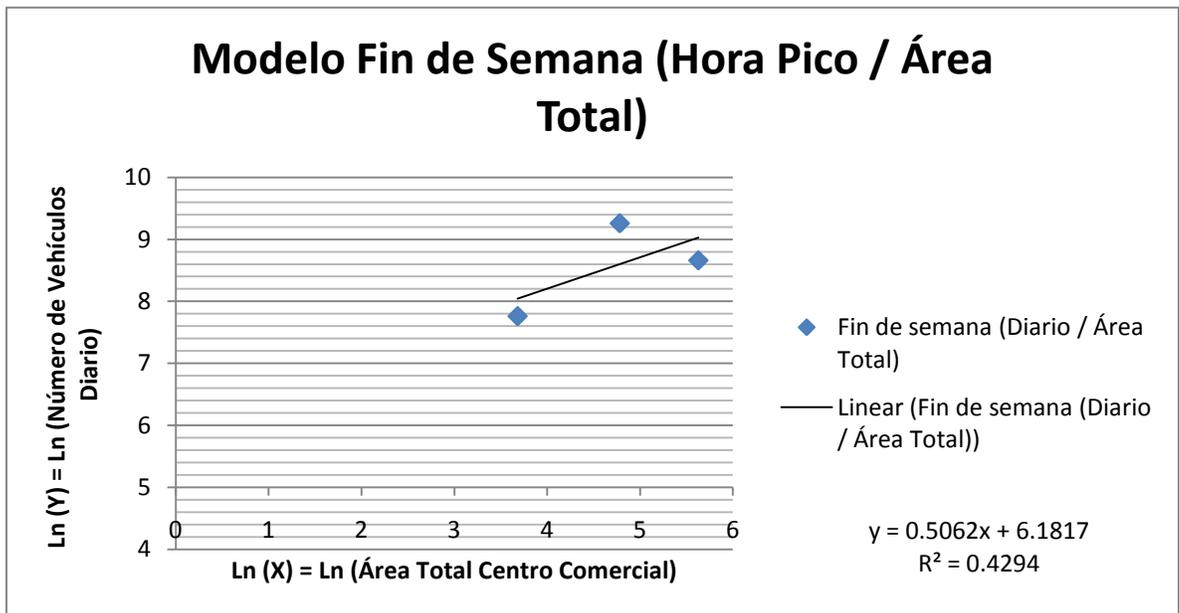
**Gráfica No. 6. Modelo de generación considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)**



**Gráfica No. 7. Modelo de generación considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)**



**Gráfica No. 8. Modelo de generación considerando el área de ventas para el día en fin de semana (sábado)**



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se aclara, primeramente, tal y como lo establece el único reglamento existente en el país: “Reglamento Específico de Evaluaciones de Impacto Vial para el municipio de Guatemala”, referente a los tres escenarios para el cálculo de los niveles de servicio, el escenario 2 que hace alusión dicho documento “niveles de servicio con el proyecto construido”, se hizo uso de la suma de los conteos del escenarios 1 y del análisis de generación, distribución direccional y asignación de viajes del proyecto.

Se enfocó la investigación al objetivo primordial de cualquier Estudio de Impacto Vial, refiriéndose el mismo a los efectos que un desarrollo o proyecto hacen sobre la red vial adyacente o en el área de influencia; por ello es que las características críticas se presentan a la hora pico, esto sucede cuando existe una mayor demanda durante el día. Es aquí donde se considera fundamental el análisis de la hora pico del desarrollo con la del sistema vial, para asegurar que exista un adecuado nivel de servicio, suficiente capacidad para los accesos, carriles de viraje y de almacenamiento. Sin embargo, se presentan diferentes variables independientes que sirven para realizar el cálculo de influencia que diversas peculiaridades de cada uso del suelo posee, ejemplo: área total, área ventas, cajas cobradoras, camas de pacientes, apartamentos; en fin, existe diversidad en estas características que al encontrarse con mayor relación al volumen de vehículos generados es así la exactitud de los resultados obtenidos y así permite plantear mejor el nivel de servicio que las vías adyacentes llegarían a poseer. En este caso se relacionaron con dos variables independientes (área total y área ventas) y como variable dependiente (el volumen de vehículo generado en la hora pico y el volumen de vehículo generado diario), tratando con base en esta investigación, proponer algún tipo de modelo que refleje una mayor relación con el volumen de viajes generados.

Sustentando lo expuesto en el párrafo anterior, se efectuaron los cálculos para la obtención de modelos: se escogió para las variables independientes las dimensiones de pies cuadrados, ya que esto permitirá efectuar una comparación con los modelos trabajados desde varios años por la ITE. Con base en lo anterior y al valor del coeficiente de determinación  $R^2$ , que expresa el porcentaje de variación de la variable dependiente explicado por las independientes, se puede concluir que existe mayor relación entre el área de ventas/hora pico y el volumen de vehículos entre semana, comparada con la relación que posee el área total/hora pico con el volumen de vehículos entre semana, sucediendo lo mismo con los modelos propuestos para el de fin de semana. Situación similar se presentó con el modelo propuesto para el área total/diaria y el área de ventas/diaria, ambas en relación con el volumen de vehículos, tanto en fin de semana como entre semana.

**Tabla No. 15. Modelo de regresión entre semana que mayor relación presenta**

<b>VARIABLE</b>	<b>MODELO</b>	<b><math>R^2</math></b>
Área ventas (1,000 ft <sup>2</sup> )	$Y = e^{[4.1554 + 0.5499 \text{ Ln } (X)]}$	0.6417

**Tabla No. 16. Modelo de regresión en fin de semana que mayor relación presenta**

<b>VARIABLE</b>	<b>MODELO</b>	<b><math>R^2</math></b>
Área ventas (1,000 ft <sup>2</sup> )	$Y = e^{[4.4138 + 0.5537 \text{ Ln } (X)]}$	0.4476

**Tabla No. 17. Índices de generación de viajes que menor desvío presentan**

<b>Descripción</b>	<b>Hora Pico</b>	<b>Diario</b>
<b>Entre semana</b>	5.672 / área total	42.31 / área total
<b>Fin de semana</b>	7.803 / área total	55.93 / área total

De acuerdo con lo anterior, se obtuvo que el modelo con mayor correlación entre las variables independientes y dependientes, fueron los modelos propuestos para áreas de ventas. Sin embargo, es importante mencionar que a mayor cantidad de datos, así es la fidelidad en el resultado para cada uso de suelo.

#### **2.4 Comparación de resultados obtenidos con los índices propuestos por el Instituto de Ingenieros de transporte**

Al momento de llevar a cabo la propuesta para la obtención de los modelos, se buscó la manera que coincidiera con los modelos de regresión propuestos por el Instituto de Ingenieros de Transporte (con sus siglas en inglés ITE), el código municipal de San Diego y otros entes, quienes con base en su experiencia y a la correlación de los resultados de investigaciones obtenidas, han propuesto para este tipo de uso de suelo un modelo de regresión que se basa en logaritmos. Siempre con el objetivo de corroborar el modelo propuesto, se verificaron los coeficientes de determinación  $R^2$ , con un modelo de generación de viajes que aplica regresiones lineales directas y logaritmos; presentando esta última, mayor relación entre las variables, situación por la cual se eligió y se propuso el modelo de generación de viajes con base en los logaritmos.

**Tabla No. 18. Modelos e índice de generación horaria entre semana**

<b>MODELOS E ÍNDICE DE GENERACIÓN HORARIA ENTRE SEMANA, DEL ÁREA TOTAL DEL CENTRO COMERCIAL</b>				
<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>MODELO HORA PICO</b>	<b>MODELO DIARIO</b>	<b>ÍNDICE DIARIA</b>	<b>ÍNDICE HORARIA</b>
<b>Investigación</b>	$Y = e^{[4.5651 + 0.3657 \ln(X)]}$	$Y = e^{[6.22 + 0.4433 \ln(X)]}$	42.31	5.67
<b>ITE 8va edición</b>	$Y = e^{[3.37 + 0.67 \ln(X)]}$	$Y = e^{[5.83 + 0.65 \ln(X)]}$	42.94	3.75
<b>Código Municipal de San Diego (Estado California, EEUU). Mayo 2003.</b>	$Y = e^{[4.2 + 0.60 \ln(X)]}$		49 y 72, dependiendo del tamaño del centro comercial.	4.9 y 7.92 dependiendo del tamaño del centro comercial.

**Fuente: propia. Nota: “Y” está en 1.000 pies cuadrados, “X” representa al número de vehículos.**

A manera de comparación, se realizarán los diferentes cálculos, intentando predecir el volumen de vehículos generados durante la hora pico y diario; tanto por medio de los modelos, como de los índices diarios de un Centro Comercial que tenga 90,000 m<sup>2</sup>:

**Tabla No. 19. Comparación de resultados obtenidos de acuerdo a los diferentes modelos presentados en este estudio**

<b>RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE UN CENTRO COMERCIAL DE 90,000 m<sup>2</sup> = 968,256 ft<sup>2</sup></b>				
<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>MODELO HORA PICO</b>	<b>MODELO DIARIO</b>	<b>ÍNDICE DIARIO</b>	<b>ÍNDICE HORARIO</b>
<b>Investigación</b>	1,187	10,593	40,967	5,490
<b>ITE 8va edición</b>	2,911	29,705	41,577	3,631
<b>Código Municipal de San Diego (Estado California, EEUU). Mayo 2003.</b>	4,127		47,445	4,745

Se desea enfatizar que la diferencia existente de los resultados obtenidos con base en los modelos e índices empleados para el análisis, se debe al índice de ajuste de correlación ( $R^2$ ) y la desviación estándar de cada uno de ellos, ya que en el modelo propuesto para el volumen generado por la hora pico considerando el área total tiene un coeficiente  $R^2$  de 0.45, mientras el modelo la ITE tiene un valor mayor a 0.77. Como se detalló en la parte teórica de este trabajo de investigación, la precisión o exactitud resultante dependerá de contar con la mayor cantidad de datos y reflejará de esa forma una mayor precisión, esto está ligado directamente con el costo necesario para efectuar los levantamientos de información en la mayor cantidad de lugares analizados.

## CONCLUSIONES

1. Es importante utilizar como datos para el análisis de Estudio de Impacto Vial en Guatemala, la información que sea representativa a la región que se analizará, independientemente de si se posee o no dicho dato en Guatemala (documento o estudio previo); ya que en ocasiones, el planificador o evaluador de proyectos de impacto vial en el país, se apoya en datos de otro país, distanciándose así a la fidelidad en los resultados. No existe entidad que realice investigación, análisis y documentos finales relacionados con los índices de generación de viajes dentro del país; hay un vacío de información donde más se precisa contar con la misma, ya que existen demandas en las necesidades de la sociedad las cuales están siendo escasamente atendidas; contrariamente, existen países que llevan varios años en el estudio de esta especialidad. La única entidad que atiende la necesidad de regulación del transporte es la Municipalidad de Guatemala, ya que no existe algún otro ente responsable del desarrollo de sus poblados urbanos y rurales, que actualmente esté efectuando o elaborando planes de desarrollo en beneficio de sus ciudades, desde el punto de vista de infraestructura vial. Entre las causas que merman la capacidad de reacción de los entes responsables para la elaboración de planes de desarrollo en determinada jurisdicción, se encuentran las limitaciones económicas y de infraestructura vial, convirtiéndose estos en un proceso complejo que limita a las mismas.
2. Para demostrar la aplicación de la metodología propuesta y principalmente la determinación de los índices de generación de viajes de Centros Comerciales en

el departamento de Guatemala, se han definido diferentes modelos e índices para la realización de futuras determinaciones en esa rama de uso de suelo.

3. Dos variables independientes (área total y área de ventas del centro comercial) fueron consideradas como magnitudes que poseen una relación con las otras dos variables dependientes (número de vehículos / hora pico y número de vehículos / diario). En base a esa relación se calcularon diferentes modelos e índices establecidos para obtener el volumen de vehículos que se generan de acuerdo con las variables independientes que se mencionan, ambos modelos poseen como similar objetivo: determinar el valor de influencia que deberá considerarse, de acuerdo con las características propias del complejo de desarrollo a construir. Se pueden obtener diferentes datos y ecuaciones, de acuerdo con los requerimientos y necesidades del planificador; esto servirá para el análisis de influencia que el nuevo proyecto hará sobre las vías aledañas o del área que se va a afectar; encontrándose entre estos el índice de promedio de viaje diario, volumen de viaje generado por la mañana y por la tarde, promedio de índice de viaje generado por hora, promedio de viaje de vehículos a la semana, área del uso de suelo (total y ventas), unidades habitacionales en la edificación, camas de pacientes en hospitales y cajas registradoras en un supermercado o hipermercado.
  
4. Como competencia y parte integral de la formulación y ejecución de planes de ordenamiento territorial de desarrollo, La Corporación Municipal de la Ciudad de Guatemala, a través del Reglamento Específico de Evaluaciones de Impacto Vial para el Municipio de Guatemala. Municipalidad de Guatemala, RE-10 y el Reglamento Específico de Entradas, Salidas y Disposiciones de Estacionamientos Privados para el Municipio de Guatemala RE-6. Municipalidad de Guatemala, se busca emitir y ejecutar ordenanzas, siempre de acuerdo con las facultades otorgadas por la ley, en función de un mejoramiento del ambiente y de

la calidad de vida de la población, inherente a ésta, se encuentra la planificación del transporte, el tránsito se agrava día con día, ya que el número de vehículos que circulan en la ciudad y los indicadores de propiedad de vehículo por habitantes se han incrementado significativamente en los últimos años, por lo que es prioridad la integración de estos reglamentos para la mejora de ese tránsito.



## RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia para los entes reguladores, planificadores o desarrolladores, posean información concerniente a los índices de generación de viajes para Guatemala; esa ausencia orienta a la necesidad de que exista una entidad, que realice la investigación, recopilación, análisis y documentación de índices de generación de viajes y modelos que reflejen parámetros de acuerdo con las características de país.
2. Como medida de apoyo a las entidades jurisdiccionales encargadas de desarrollar políticas y proyectos para mitigar el impacto a la infraestructura vial, las Facultades, Escuelas de Ingeniería y/o Colegios Profesionales, deberán divulgar y capacitar a las mismas, con la finalidad de que se aplique y de manera reciproca, colaborar en la construcción de una base de datos y documentos técnicos relacionados con la generación de viajes.
3. Al momento de que los planificadores realicen conteos vehiculares de algún uso de suelo y tener con ello precaución, por la variación en la temporada del año, por ejemplo, lugares turísticos, colegios, universidades, ferias o lugares cercanos a ellos, entre otros, de realizar los mismos en una temporada baja o que no incluya en el comportamiento que suele tener ese uso de suelo, podrá reflejar una discrepancia en la información obtenida a la que realmente debe tener.
4. Cuando los planificadores realicen estimaciones para la obtención de los modelos e índices de generación de viajes, es importante escoger el que mayor correlación o menor desviación posee entre los datos calculados.

5. En este trabajo se propone una metodología que puede ser usada como base para el desarrollo de posteriores investigaciones, de donde se podrán determinar los índices y modelos para el cálculo de volúmenes de generación de viajes para cualquier uso de suelo.
  
6. Un ejemplo de comienzo en la planificación del transporte por la municipalidad de Guatemala fue emitir dos reglamentos, actualmente vigentes, el RE-6 y RE-10, los cuales debieran de ser aplicado al área metropolitana, ya que muchos de los vehículos que ingresan o egresan de la ciudad capital, provienen o se dirigen hacia los municipios aledaños a la misma, siendo importante que en manera conjunta, se tomen decisiones y se proyecten programas en beneficio de una planificación de transporte regional, por lo que es importante que las municipalidades de la metrópoli, tomen como base estos reglamentos y programas de la Municipalidad de Guatemala, que, además de demostrar su eficacia en el ordenamiento, ha permitido regular y sobre todo planificar el uso de suelo y paralelamente el transporte, siempre en beneficio de las vías que los proyectos a ejecutar inciden sobre ellas.

## BIBLIOGRAFÍA

Galarraga Jorge y Herz Marcelo, Índices y Modelos de Generación de Viajes en hipermercados de la Ciudad de Córdoba. Octubre 2006.

Institute of Transportation Engineers. Trip Generation. 7ma. Edición. Washington, DC: ITE, 2003.

NCDOT / Traffic Engineering & Safety System Branch Access Management Group. TRIP GENERATION TRAINING.

RED IBEROAMERICANA DE POLOS GENERADORES DE VIAJES (2010). <http://redpgv.coppe.ufrj.br> accedido julio 2010.

Reglamento Específico de Evaluaciones de Impacto Vial para el Municipio de Guatemala. Municipalidad de Guatemala, RE-10, 2004.

Reglamento Específico de Entradas, Salidas y Disposiciones de Estacionamientos Privados para el Municipio de Guatemala RE-6. Municipalidad de Guatemala, 2004.

San Diego Municipal Code. LAND DEVELOPMENT CODE, TRIP GENERATION MANUAL. May 2003.

Sigurd Grava. URBAN TRANSPORTATION SYSTEMS CHOICES FOR COMMUNITIES. McGraw-Hill. 2004. 805 páginas.

Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000. Washington, DC: TRB, 2000.



## **APÉNDICE A**

Tablas de resumen del conteo efectuado en los centros comerciales en diferentes días: martes (entre semana) y sábado (fin de semana), los mismos fueron realizados por rango de 15 minutos, dividiendo los vehículos de entrada y salida a los mismos.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE POST-GRADO  
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



FORMULARIO DE DATOS DE ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES (PARTE 1)

Nombre Proyecto: CENTRO COMERCIAL PLAZA SAN CRISTOBAL

Día de la Semana: SÁBADO (FIN DE SEMANA)

Vehículos al Inicio del Conte: 289 vehiculos

HRS (A.M.)	Entrada		Salida		Total		TOTAL	HRS ( P.M.)	Entrada		Salida		Total		TOTAL
	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta			Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	
00:00 - 00:15								12:00 - 12:15	135	1	215	3	350	4	354
00:15 - 00:30								12:15 - 12:30	143	13	151	5	294	18	312
00:30 - 00:45								12:30 - 12:45	127	2	198	9	325	11	336
00:45 - 01:00								12:45 - 13:00	124	7	48	3	172	10	182
01:00 - 01:15								13:00 - 13:15	126	4	105	5	231	9	240
01:15 - 01:30								13:15 - 13:30	145	3	122	8	267	11	278
01:30 - 01:45								13:30 - 13:45	128	2	144	3	272	5	277
01:45 - 02:00								13:45 - 14:00	131	2	108	4	239	6	245
02:00 - 02:15								14:00 - 14:15	114	1	107	2	221	3	224
02:15 - 02:30								14:15 - 14:30	133	3	83	4	216	7	223
02:30 - 02:45								14:30 - 14:45	134	4	109	3	243	7	250
02:45 - 03:00								14:45 - 15:00	124	5	102	3	226	8	234
03:00 - 03:15								15:00 - 15:15	130	4	92	0	222	4	226
03:15 - 03:30								15:15 - 15:30	114	2	65	5	179	7	186
03:30 - 03:45								15:30 - 15:45	109	4	74	3	183	7	190
03:45 - 04:00								15:45 - 16:00	100	5	121	1	221	6	227
04:00 - 04:15								16:00 - 16:15	114	6	122	3	236	9	245
04:15 - 04:30								16:15 - 16:30	100	5	94	1	194	6	200
04:30 - 04:45								16:30 - 16:45	91	4	107	1	198	5	203
04:45 - 05:00								16:45 - 17:00	112	5	84	0	196	5	201
05:00 - 05:15								17:00 - 17:15	80	1	88	2	168	3	171
05:15 - 05:30								17:15 - 17:30	89	3	130	2	219	5	224
05:30 - 05:45								17:30 - 17:45	101	5	94	0	195	5	200
05:45 - 06:00								17:45 - 18:00	105	6	183	4	288	10	298
06:00 - 06:15								18:00 - 18:15	90	1	120	0	210	1	211
06:15 - 06:30								18:15 - 18:30	109	1	155	0	264	1	265
06:30 - 06:45								18:30 - 18:45	100	2	104	2	204	4	208
06:45 - 07:00								18:45 - 19:00	140	0	248	2	388	2	390
07:00 - 07:15								19:00 - 19:15	125	5	281	0	406	5	411
07:15 - 07:30								19:15 - 19:30	132	5	162	3	294	8	302
07:30 - 07:45								19:30 - 19:45	110	4	109	4	219	8	227
07:45 - 08:00								19:45 - 20:00	122	2	141	2	263	4	267
08:00 - 08:15								20:00 - 20:15							
08:15 - 08:30								20:15 - 20:30							
08:30 - 08:45								20:30 - 20:45							
08:45 - 09:00								20:45 - 21:00							
09:00 - 09:15								21:00 - 21:15							
09:15 - 09:30								21:15 - 21:30							
09:30 - 09:45								21:30 - 21:45							
09:45 - 10:00								21:45 - 22:00							
10:00 - 10:15	107	3	85	0	192	3	195	22:00 - 22:15							
10:15 - 10:30	125	6	100	5	225	11	236	22:15 - 22:30							
10:30 - 10:45	134	3	122	4	256	7	263	22:30 - 22:45							
10:45 - 11:00	116	3	122	2	238	5	243	22:45 - 23:00							
11:00 - 11:15	133	6	151	5	284	11	295	23:00 - 23:15							
11:15 - 11:30	139	3	142	7	281	10	291	23:15 - 23:30							
11:30 - 11:45	125	4	181	3	306	7	313	23:30 - 23:45							
11:45 - 12:00	218	6	137	2	355	8	363	23:45 - 24:00							

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE POST-GRADO  
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



FORMULARIO DE DATOS DE ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES (PARTE 1)

Nombre Proyecto: CENTRO COMERCIAL LA CERCA ZONA 11

Día de la Semana: SÁBADO (FIN DE SEMANA)

Vehículos al Inicio del Conto: 25 vehículos

HRS (A.M.)	Entrada		Salida		Total		TOTAL	HRS ( P.M.)	Entrada		Salida		Total		TOTAL
	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta			Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	
00:00 - 00:15								12:00 - 12:15	48	2	54	1	102	3	105
00:15 - 00:30								12:15 - 12:30	27	1	40	2	67	3	70
00:30 - 00:45								12:30 - 12:45	45	2	33	1	78	3	81
00:45 - 01:00								12:45 - 13:00	43	1	40	1	83	2	85
01:00 - 01:15								13:00 - 13:15	47	1	33	4	80	5	85
01:15 - 01:30								13:15 - 13:30	36	1	19	0	55	1	56
01:30 - 01:45								13:30 - 13:45	22	2	41	1	63	3	66
01:45 - 02:00								13:45 - 14:00	24	0	31	1	55	1	56
02:00 - 02:15								14:00 - 14:15	25	1	19	1	44	2	46
02:15 - 02:30								14:15 - 14:30	23	2	24	2	47	4	51
02:30 - 02:45								14:30 - 14:45	32	3	23	0	55	3	58
02:45 - 03:00								14:45 - 15:00	18	1	19	3	37	4	41
03:00 - 03:15								15:00 - 15:15	18	1	15	0	33	1	34
03:15 - 03:30								15:15 - 15:30	32	1	26	1	58	2	60
03:30 - 03:45								15:30 - 15:45	24	0	29	0	53	0	53
03:45 - 04:00								15:45 - 16:00	28	0	36	2	64	2	66
04:00 - 04:15								16:00 - 16:15	18	0	19	1	37	1	38
04:15 - 04:30								16:15 - 16:30	26	0	29	1	55	1	56
04:30 - 04:45								16:30 - 16:45	23	0	34	3	57	3	60
04:45 - 05:00								16:45 - 17:00	26	0	30	0	56	0	56
05:00 - 05:15								17:00 - 17:15	24	0	25	2	49	2	51
05:15 - 05:30								17:15 - 17:30	23	1	32	1	55	2	57
05:30 - 05:45								17:30 - 17:45	28	0	27	0	55	0	55
05:45 - 06:00								17:45 - 18:00	23	2	25	1	48	3	51
06:00 - 06:15								18:00 - 18:15	33	0	20	2	53	2	55
06:15 - 06:30								18:15 - 18:30	17	0	19	1	36	1	37
06:30 - 06:45								18:30 - 18:45	26	0	21	0	47	0	47
06:45 - 07:00								18:45 - 19:00	20	0	29	3	49	3	52
07:00 - 07:15								19:00 - 19:15	14	0	28	1	42	1	43
07:15 - 07:30								19:15 - 19:30	19	2	15	2	34	4	38
07:30 - 07:45								19:30 - 19:45	16	1	19	4	35	5	40
07:45 - 08:00								19:45 - 20:00	10	0	7	0	17	0	17
08:00 - 08:15								20:00 - 20:15							
08:15 - 08:30								20:15 - 20:30							
08:30 - 08:45								20:30 - 20:45							
08:45 - 09:00								20:45 - 21:00							
09:00 - 09:15								21:00 - 21:15							
09:15 - 09:30								21:15 - 21:30							
09:30 - 09:45								21:30 - 21:45							
09:45 - 10:00								21:45 - 22:00							
10:00 - 10:15	20	1	13	1	33	2	35	22:00 - 22:15							
10:15 - 10:30	36	1	18	0	54	1	55	22:15 - 22:30							
10:30 - 10:45	28	1	25	1	53	2	55	22:30 - 22:45							
10:45 - 11:00	33	0	21	1	54	1	55	22:45 - 23:00							
11:00 - 11:15	34	3	43	0	77	3	80	23:00 - 23:15							
11:15 - 11:30	42	2	34	4	76	6	82	23:15 - 23:30							
11:30 - 11:45	53	1	52	0	105	1	106	23:30 - 23:45							
11:45 - 12:00	47	0	37	2	84	2	86	23:45 - 24:00							

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE POST-GRADO  
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



FORMULARIO DE DATOS DE ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES (PARTE 1)

Nombre Proyecto: CENTRO COMERCIALA CERCA ZONA 11

Día de la Semana: MARTES (ENTRE SEMANA)

Vehículos al Inicio del Conte: 20 vehículos

HRS (A.M.)	Entrada		Salida		Total		TOTAL	HRS ( P.M.)	Entrada		Salida		Total		TOTAL
	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta			Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	Vehículo Liviano	Motocicleta	
00:00 - 00:15								12:00 - 12:15	38	3	30	3	68	6	74
00:15 - 00:30								12:15 - 12:30	51	2	30	2	81	4	85
00:30 - 00:45								12:30 - 12:45	39	1	31	1	70	2	72
00:45 - 01:00								12:45 - 13:00	29	2	41	0	70	2	72
01:00 - 01:15								13:00 - 13:15	22	0	42	3	64	3	67
01:15 - 01:30								13:15 - 13:30	33	0	19	0	52	0	52
01:30 - 01:45								13:30 - 13:45	21	2	28	0	49	2	51
01:45 - 02:00								13:45 - 14:00	23	0	30	0	53	0	53
02:00 - 02:15								14:00 - 14:15	21	0	21	2	42	2	44
02:15 - 02:30								14:15 - 14:30	19	1	28	1	47	2	49
02:30 - 02:45								14:30 - 14:45	23	0	15	0	38	0	38
02:45 - 03:00								14:45 - 15:00	26	2	24	0	50	2	52
03:00 - 03:15								15:00 - 15:15	20	1	29	2	49	3	52
03:15 - 03:30								15:15 - 15:30	23	0	23	1	46	1	47
03:30 - 03:45								15:30 - 15:45	29	1	23	2	52	3	55
03:45 - 04:00								15:45 - 16:00	23	2	31	0	54	2	56
04:00 - 04:15								16:00 - 16:15	24	2	24	0	48	2	50
04:15 - 04:30								16:15 - 16:30	31	3	29	1	60	4	64
04:30 - 04:45								16:30 - 16:45	30	1	25	3	55	4	59
04:45 - 05:00								16:45 - 17:00	26	2	21	0	47	2	49
05:00 - 05:15								17:00 - 17:15	12	0	38	4	50	4	54
05:15 - 05:30								17:15 - 17:30	19	1	27	0	46	1	47
05:30 - 05:45								17:30 - 17:45	36	3	39	2	75	5	80
05:45 - 06:00								17:45 - 18:00	22	1	35	3	57	4	61
06:00 - 06:15								18:00 - 18:15	29	2	14	2	43	4	47
06:15 - 06:30								18:15 - 18:30	26	1	28	0	54	1	55
06:30 - 06:45								18:30 - 18:45	27	0	31	3	58	3	61
06:45 - 07:00								18:45 - 19:00	21	0	27	0	48	0	48
07:00 - 07:15								19:00 - 19:15	24	2	24	3	48	5	53
07:15 - 07:30								19:15 - 19:30	32	0	41	0	73	0	73
07:30 - 07:45								19:30 - 19:45	20	1	40	1	60	2	62
07:45 - 08:00								19:45 - 20:00	14	2	19	1	33	3	36
08:00 - 08:15								20:00 - 20:15							
08:15 - 08:30								20:15 - 20:30							
08:30 - 08:45								20:30 - 20:45							
08:45 - 09:00								20:45 - 21:00							
09:00 - 09:15								21:00 - 21:15							
09:15 - 09:30								21:15 - 21:30							
09:30 - 09:45								21:30 - 21:45							
09:45 - 10:00								21:45 - 22:00							
10:00 - 10:15	0	0	0	0	0	0	0	22:00 - 22:15							
10:15 - 10:30	0	0	0	0	0	0	0	22:15 - 22:30							
10:30 - 10:45	0	0	0	0	0	0	0	22:30 - 22:45							
10:45 - 11:00	0	0	0	0	0	0	0	22:45 - 23:00							
11:00 - 11:15	16	2	0	0	16	2	18	23:00 - 23:15							
11:15 - 11:30	35	4	10	0	45	4	49	23:15 - 23:30							
11:30 - 11:45	44	9	24	1	68	10	78	23:30 - 23:45							
11:45 - 12:00	22	2	31	1	53	3	56	23:45 - 24:00							



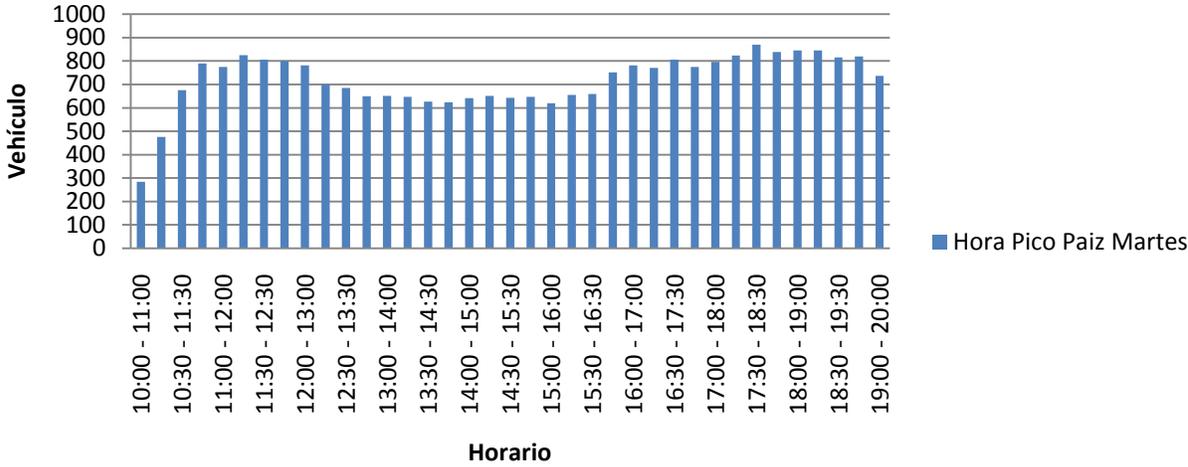




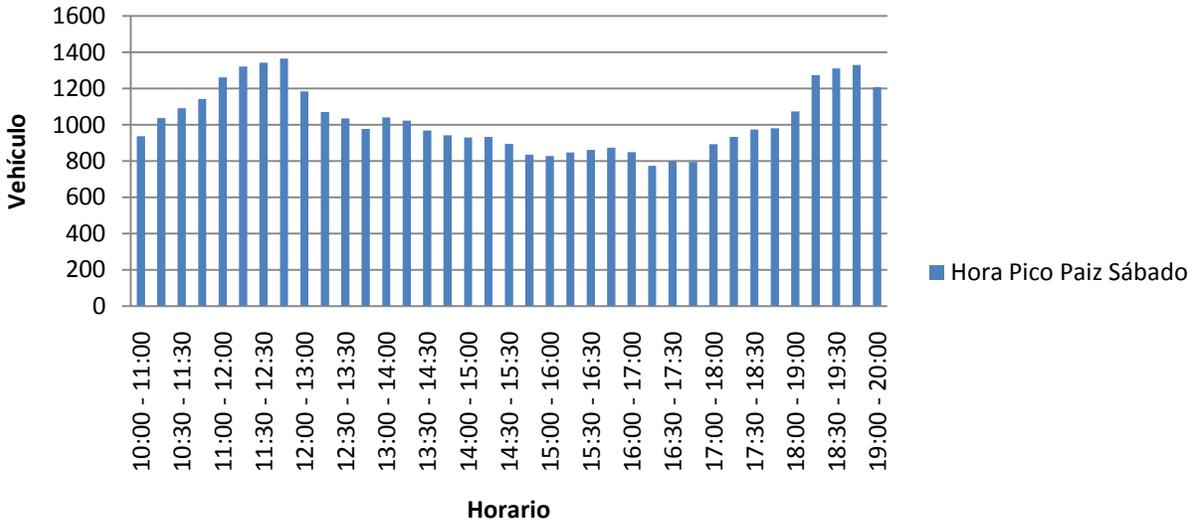
## **APÉNDICE B**

Gráficas que representan el número de vehículos que por hora se generaron en un horario de 10:00 a las 20:00 horas, en el Centro Comercial Paiz San Cristóbal, Zona 8 de Mixco, tanto para día laboral entre semana y fin de semana (Martes y Sábado, respectivamente).

# Centro Comercial Paiz San Cristóbal Hora Pico, Martes



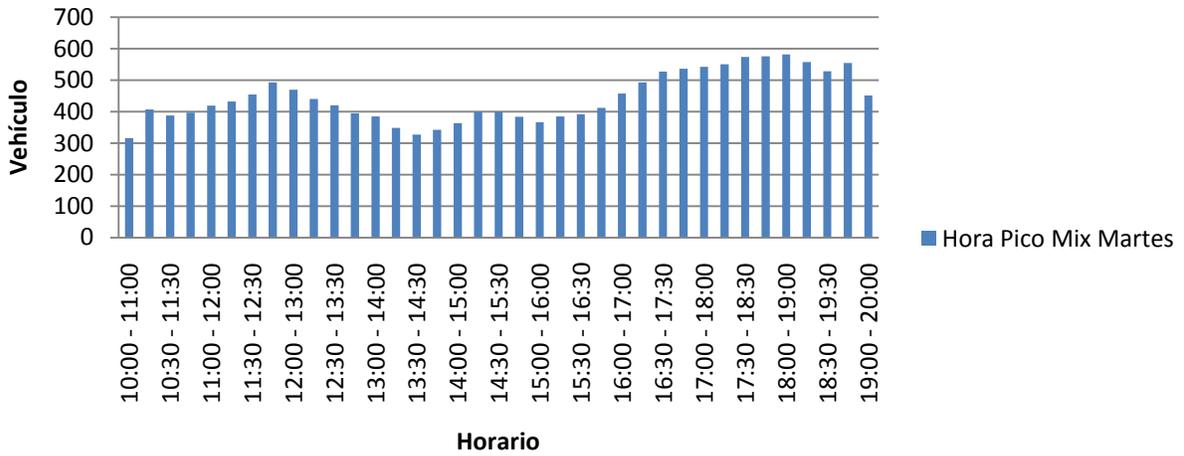
# Centro Comercial Paiz San Cristobal Hora Pico Sábado



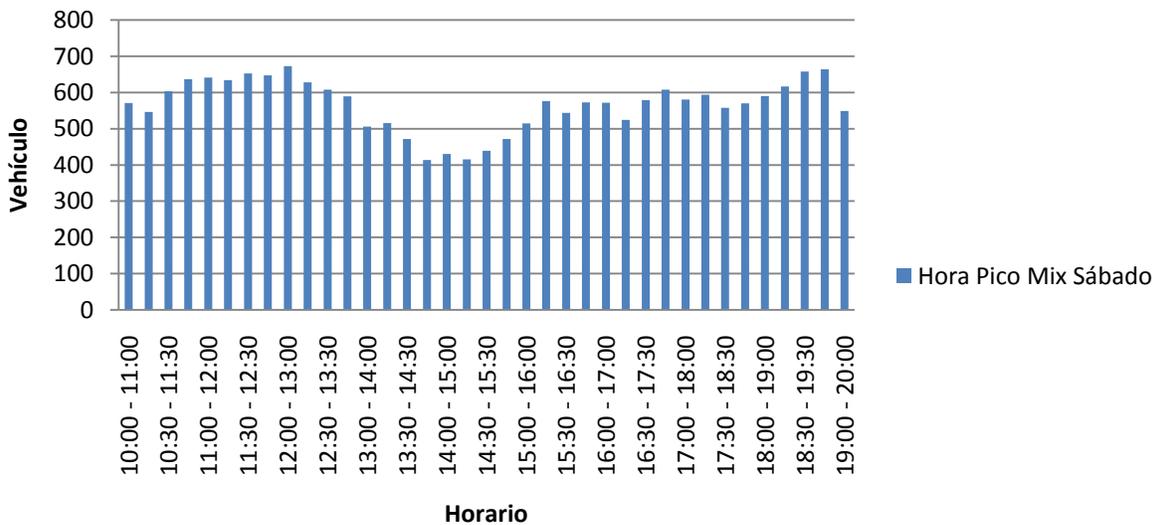
## **APÉNDICE C**

Gráficas que representan el número de vehículos que por hora se generaron en un horario de 10:00 a las 20:00 horas, en el Centro Comercial Mix San Cristóbal, zona 8 de Mixco, tanto para día laboral entre semana y fin de semana (Martes y Sábado, respectivamente).

## Centro Comercial Mix San Cristóbal Hora Pico Martes



## Centro Comercial Mix San Cristóbal Hora Pico Sábado

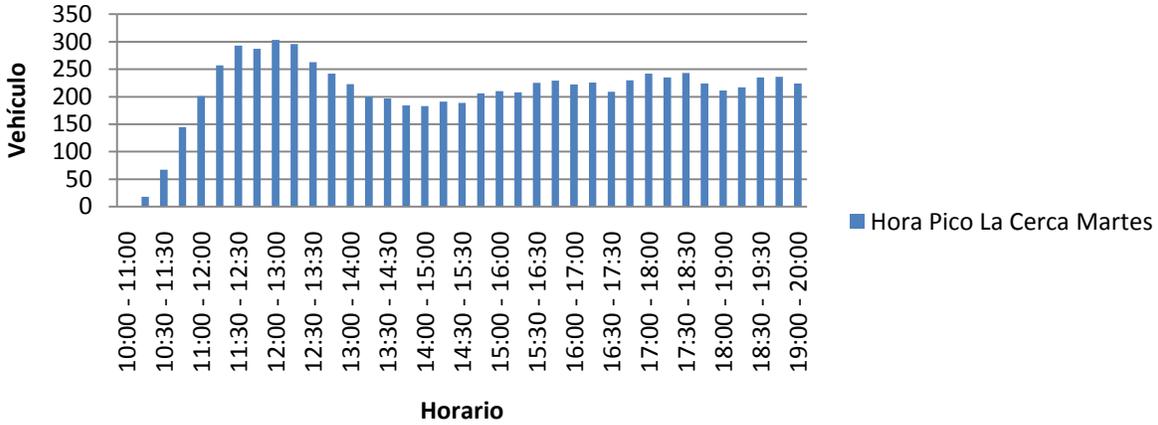


## **APÉNDICE D**

Gráficas que representan el número de vehículos que por hora se generaron en un horario de 10:00 a las 20:00 horas, en el Centro Comercial La Cerca Mariscal, Zona 11 Ciudad de Guatemala, tanto para día laboral entre semana y fin de semana (Martes y Sábado, respectivamente).

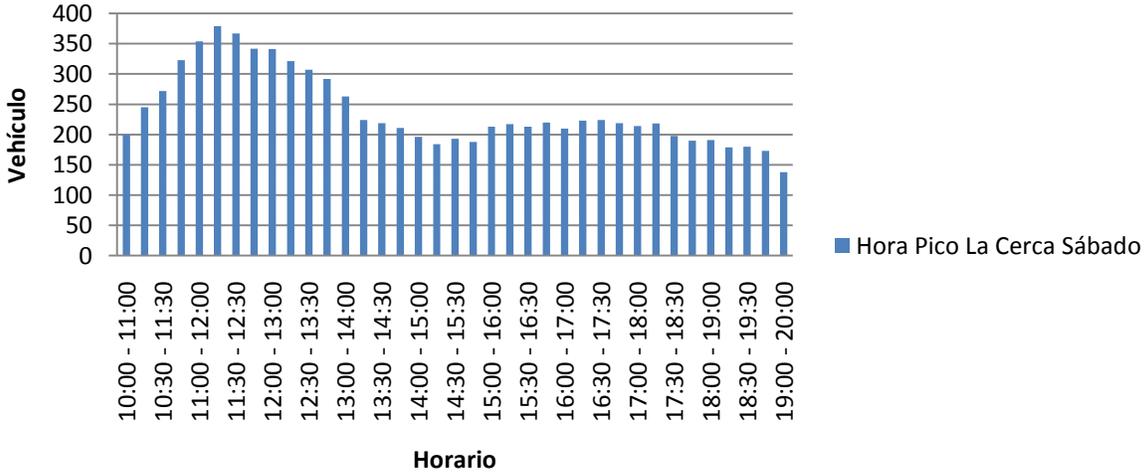
# Centro Comercial La Cerca

## Hora Pico Martes



# Centro Comercial La Cerca

## Hora Pico Sábado



## **ANEXO A**

Tabla que representa los índices y el modelo propuesto por la ITE para Centros Comerciales, el mismo se representa con el código 820. En la gráfica se encuentran reflejados los puntos obtenidos en sus investigaciones, además de contar con las características, en este caso, ésta gráfica representa los datos de entre semana, en un horario entre las 4:00 a las 6:00 p.m.

## Shopping Center (820)

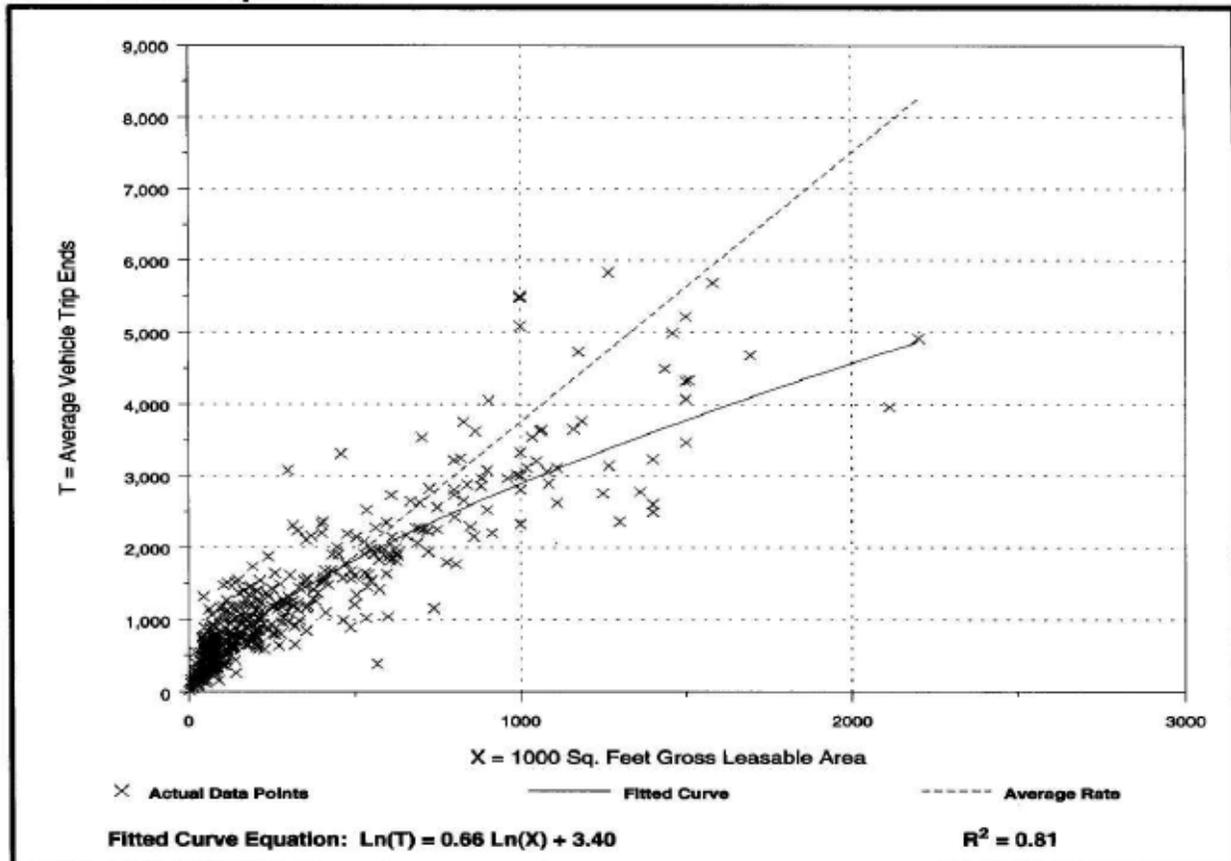
**Average Vehicle Trip Ends vs: 1000 Sq. Feet Gross Leasable Area**  
**On a: Weekday,**  
**Peak Hour of Adjacent Street Traffic,**  
**One Hour Between 4 and 6 p.m.**

Number of Studies: 407  
 Average 1000 Sq. Feet GLA: 379  
 Directional Distribution: 48% entering, 52% exiting

### Trip Generation per 1000 Sq. Feet Gross Leasable Area

Average Rate	Range of Rates	Standard Deviation
3.75	0.68 - 29.27	2.75

### Data Plot and Equation



## **ANEXO B**

Tabla que representa los índices y el modelo propuesto por Vermont Agency of Transportation para Centros Comerciales, el mismo se representa con el código 820. En la gráfica se encuentran reflejados los puntos obtenidos en sus investigaciones, además de contar con las características, en este caso, ésta gráfica representa los datos de entre semana, en un horario entre las 4:00 a las 6:00 p.m.

## Shopping Center - Statewide (820)

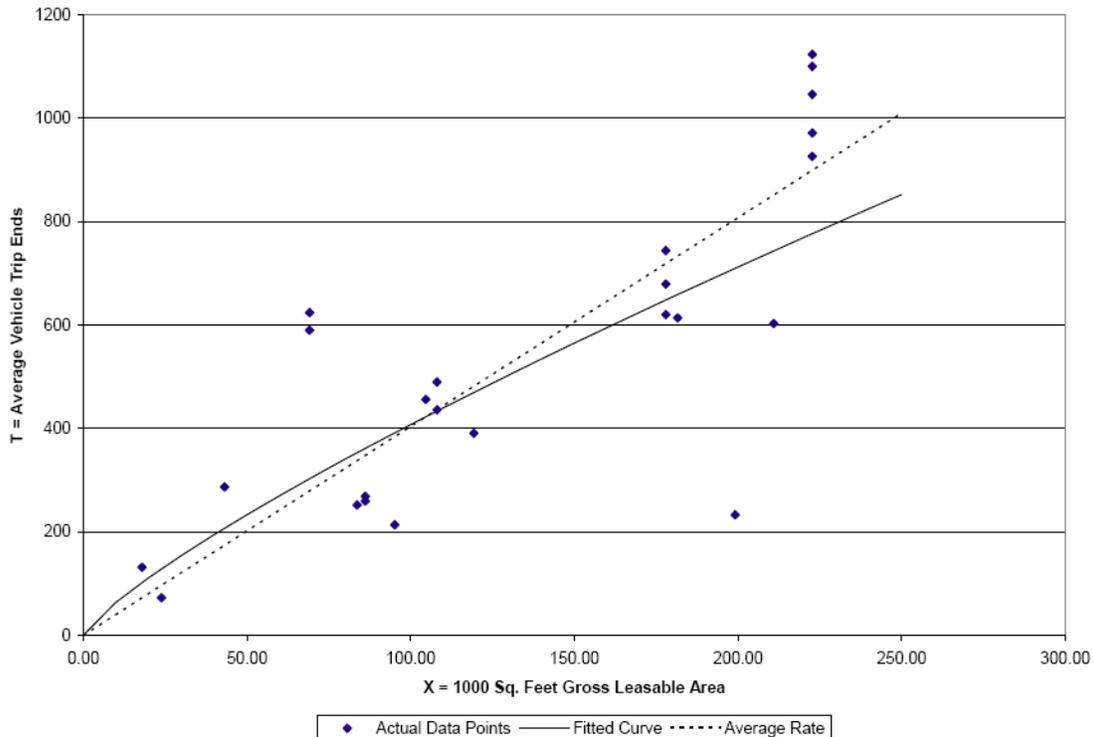
Average Vehicle Trip Ends vs: 1000 Sq. Feet of Gross Leasable Area  
**On a: Weekday**  
**Peak Hour of Adjacent Street Traffic**  
**One Hour Between 4 and 6 p.m.**

Number of Studies 24  
 Average 1000 Sq. Feet of GLA 135.59  
 Directional Distribution 50% entering; 50% exiting

### Trip Generation per 1000 Sq. Feet of Gross Leasable Area

Average Rate	Range of Rates	Standard Deviation
4.04	1.17 – 9.03	1.50

### Data Plot and Equation



**Fitted Curve Equation:  $\ln(T) = 0.81 \ln(X) + 2.30$**

**$R^2 = 0.65$**

## **ANEXO C**

Tabla obtenida del Manual de Generación de Viajes, Octava Edición de la ITE, índices de Generación de Viajes en el horario pico de la tarde.

**INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS  
TRIP GENERATION RATE (PM Peak Hour)**

(Trip Generation Manual, 8th Edition)

Code	Description	Unit of Measure	Trips Per Unit	Code	Description	Unit of Measure	Trips Per Unit
<b>PORT AND TERMINAL</b>				432	Golf Driving Range	Tees / Driving Positions	1.25
30	Truck Terminal	Acres	6.55	433	Batting Cages	Cages	2.22
90	Park and Ride Lot with Bus Service	Parking Spaces	0.62	435	Multi-Purpose Recreational Facility	Acres	5.77
<b>INDUSTRIAL</b>				437	Bowling Alley	1,000 SF	3.54
110	General Light Industrial	1,000 SF	0.97	441	Live Theater	Seats	0.02
120	General Heavy Industrial	Acres	2.16	443	Movie Theater without Matinee	1,000 SF	6.16
130	Industrial Park	1,000 SF	0.86	444	Movie Theater with Matinee	1,000 SF	3.80
140	Manufacturing	1,000 SF	0.73	445	Multiplex Movie Theater	1,000 SF	4.91
150	Warehousing	1,000 SF	0.32	452	Horse Race Track	Acres	4.30
151	Mini-Warehouse	1,000 SF	0.26	454	Dog Race Track	Attendance Capacity	0.15
152	High-Cube Warehouse	1,000 SF	0.10	460	Arena	Acres	3.33
170	Utilities	1,000 SF	0.76	473	Casino / Video Lottery Establishment	1,000 SF	13.43
<b>RESIDENTIAL</b>				480	Amusement Park	Acres	3.95
210	Single-Family Detached Housing	Dwelling Units	1.01	488	Soccer Complex	Fields	20.67
220	Apartment	Dwelling Units	0.62	490	Tennis Courts	Courts	3.88
230	Residential Condominium / Townhouse	Dwelling Units	0.52	491	Racquet / Tennis Club	Courts	3.35
240	Mobile Home Park	Dwelling Units	0.59	492	Health / Fitness Club	1,000 SF	3.53
251	Senior Adult Housing - Detached	Dwelling Units	0.27	493	Athletic Club	1,000 SF	5.96
252	Senior Adult Housing - Attached	Dwelling Units	0.16	495	Recreational Community Center	1,000 SF	1.45
253	Congregate Care Facility	Dwelling Units	0.17	<b>INSTITUTIONAL</b>			
254	Assisted Living	Beds	0.22	520	Elementary School	1,000 SF	1.21
255	Continuing Care Retirement Community	Dwelling Units	0.29	522	Middle School / Junior High School	1,000 SF	1.19
<b>LODGING</b>				530	High School	1,000 SF	0.97
310	Hotel	Rooms	0.59	536	Private School (K-12)	Students	0.17
320	Motel	Rooms	0.47	540	Junior / Community College	1,000 SF	2.54
330	Resort Hotel	Rooms	0.42	560	Church	1,000 SF	0.55
<b>RECREATIONAL</b>				565	Daycare Center	1,000 SF	12.46
411	City Park	Acres	0.16	566	Cemetery	Acres	0.84
412	County Park	Acres	0.06	571	Prison	1,000 SF	2.91
413	State Park	Acres	0.07	590	Library	1,000 SF	7.30
416	Beach Park	Acres	1.30	591	Lodge / Fraternal Organization	Members	0.03
416	Campground / Recreation Vehicle Park	Camp Sites	0.37	<b>MEDICAL</b>			
417	Regional Park	Acres	0.20	610	Hospital	1,000 SF	1.14
420	Marina	Berths	0.19	620	Nursing Home	1,000 SF	0.74
430	Golf Course	Acres	0.30	630	Clinic	1,000 SF	5.18
431	Miniature Golf Course	Holes	0.33	640	Animal Hospital / Veterinary Clinic	1,000 SF	4.72
<b>OFFICE</b>				876	Apparel Store	1,000 SF	3.83
710	General Office Building	1,000 SF	1.49	879	Arts and Craft Store	1,000 SF	6.21
714	Corporate Headquarters Building	1,000 SF	1.40	880	Pharmacy / Drugstore without Drive-Through Window	1,000 SF	8.42
715	Single Tenant Office Building	1,000 SF	1.73	881	Pharmacy / Drugstore with Drive-Through Window	1,000 SF	10.35
720	Medical-Dental Office Building	1,000 SF	3.46	890	Furniture Store	1,000 SF	0.45
730	Government Office Building	1,000 SF	1.21	896	Video Rental Store	1,000 SF	13.60
732	United States Post Office	1,000 SF	11.12	<b>SERVICES</b>			
733	Government Office Complex	1,000 SF	2.85	911	Walk-In Bank	1,000 SF	12.13
750	Office Park	1,000 SF	1.48	912	Drive-In Bank	1,000 SF	25.82
760	Research and Development Center	1,000 SF	1.07	925	Drinking Place	1,000 SF	11.34
770	Business Park	1,000 SF	1.29	931	Quality Restaurant	1,000 SF	7.49
<b>RETAIL</b>				932	High-Turnover (Sit-Down) Restaurant	1,000 SF	11.15
812	Building Materials and Lumber Store	1,000 SF	4.49	933	Fast Food Restaurant without Drive-Through Window	1,000 SF	26.15
813	Free-Standing Discount Superstore	1,000 SF	4.61	934	Fast Food Restaurant with Drive-Through Window	1,000 SF	33.84
814	Specialty Retail Center	1,000 SF	2.71	935	Fast Food Restaurant with Drive-Through Window and No Indoor Seating	1,000 SF	153.85
815	Free Standing Discount Store	1,000 SF	5.00	936	Coffee / Donut Shop without Drive-Through Window	1,000 SF	40.75
816	Hardware / Paint Store	1,000 SF	4.84	937	Coffee / Donut Shop with Drive-Through Window	1,000 SF	42.93
817	Nursery (Garden Center)	1,000 SF	3.80	938	Coffee / Donut Shop with Drive-Through Window and No Indoor Seating	1,000 SF	75
818	Nursery (Wholesale)	1,000 SF	5.17	940	Bread / Donut / Bagel Shop with Drive-Through Window	1,000 SF	19.56
820	Shopping Center	1,000 SF	3.73	941	Quick Lubrication Vehicle Shop	Service Bays	5.19
823	Factory Outlet Center	1,000 SF	2.29	942	Automobile Care Center	1,000 SF	3.38
841	New Car Sales	1,000 SF	2.59	943	Automobile Parts and Service Center	1,000 SF	4.46
843	Automobile Parts Sales	1,000 SF	5.98	944	Gasoline / Service Station	Fueling Positions	13.87
848	Tire Store	1,000 SF	4.15	945	Gasoline / Service Station with Convenience Market	Fueling Positions	13.38
850	Supermarket	1,000 SF	10.50	946	Gasoline / Service Station with Convenience Market and Car Wash	Fueling Positions	13.94
851	Convenience Market (Open 24 Hours)	1,000 SF	52.41	947	Self Service Car Wash	Stalls	5.54
852	Convenience Market (Open 15-16 Hours)	1,000 SF	34.57	948	Automated Car Wash	1,000 SF	14.12
853	Convenience Market with Gasoline Pumps	1,000 SF	59.69				
854	Discount Supermarket	1,000 SF	8.90				
857	Discount Club	1,000 SF	4.24				
860	Wholesale Market	1,000 SF	0.88				
861	Sporting Goods Superstore	1,000 SF	3.10				
862	Home Improvement Superstore	1,000 SF	2.37				
863	Electronics Superstore	1,000 SF	4.50				
864	Toy / Children's Superstore	1,000 SF	4.99				
866	Pet Supply Superstore	1,000 SF	3.38				
867	Office Supply Superstore	1,000 SF	3.40				
875	Department Store	1,000 SF	1.78				

Note: All land uses in the 800 and 900 series are entitled to a "passby" trip reduction of 60% if less than 50,000 ft<sup>2</sup> or a reduction of 40% if equal to or greater than 50,000 ft<sup>2</sup>.

\* Approximated by 10% of Weekday average rate.

## **ANEXO D**

Tablas correspondientes al Manual de Generación de Viajes del Código Municipal de San Diego “San Diego Municipal Code Land Development Code”, Mayo 2003.

**TRIP GENERATION RATE SUMMARY  
(WEEKDAY)**

LAND USE	DRIVEWAY <sup>(1) (2)</sup> VEHICLE TRIP RATE	CUMULATIVE <sup>(8)</sup> VEHICLE TRIP RATE	PEAK HOUR AND IN/OUT RATIO	
			AM (IN:OUT)	PM (IN:OUT)
AGRICULTURE (OPEN SPACE) <sup>(3)</sup>	2 trips/acre	2 trips/acre	--	--
<b>AIRPORT <sup>(3)</sup></b>				
Commercial	100 trips/flight; 60 trips/acre	100 trips/flight; 60 trips/acre	6% (6:4)	7% (5:5)
General Aviation	2 trips/flight; 6 trips/acre	2 trips/flight; 6 trips/acre	--	--
<b>CEMETERY</b>	5 trips/acre	5 trips/acre	--	--
<b>COMMERCIAL-RETAIL <sup>(4) (5)</sup></b>				
Automobile Services:				
Car Dealer	50 trips/1,000 sq. ft.; 300 trips/acre	45 trips/1,000 sq. ft.; 297 trips/acre	5% (7:3)	8% (4:6)
Carwash:				
Full service	900 trips/site; 600 trips/acre	450 trips/site; 300 trips/acre	4% (5:5)	9% (5:5)
Self service	100 trips/wash stall	50 trips/wash stall	4% (5:5)	8% (5:5)
Gasoline Stations:	130 trips/vehicle fueling space; 750 trips/station	26 trips/vehicle fueling space; 150 trips/station	7% (5:5)	11% (5:5)
With food mart	150 trips/vehicle fueling space	30 trips/vehicle fueling space	8% (5:5)	8% (5:5)
With fully automated carwash	135 trips/vehicle fueling space	27 trips/vehicle fueling space	--	--
With food mart & fully automated carwash	155 trips/vehicle fueling space	31 trips/vehicle fueling space	8% (5:5)	9% (5:5)
Parts Sale	62 trips/1,000 sq. ft.	56 trips/1,000 sq. ft.	4% (5:5)	10% (5:5)
Repair Shop	20 trips/1,000 sq. ft.; 20 trips/service stall; 400 trips/acre	18 trips/1,000 sq. ft.; 19 trips/service stall	8% (7:3)	11% (4:6)
Tire Store	25 trips/1,000 sq. ft.; 30 trips/service stall	23 trips/1,000 sq. ft.; 27 trips/service stall	7% (6:4)	11% (5:5)
Convenience Market Chain:				
Open Up to 16 Hours Per Day	500 trips/1,000 sq. ft.	250 trips/1,000 sq. ft.	8% (5:5)	8% (5:5)
Open 24 Hours	700 trips/1,000 sq. ft.	350 trips/1,000 sq. ft.	9% (5:5)	7% (5:5)
Discount Store/Discount Club	70 trips/1,000 sq. ft.	49 trips/1,000 sq. ft.	2% (6:4)	10% (5:5)
Drugstore	90 trips/1,000 sq. ft.	40 trips/1,000 sq. ft.	4% (6:4)	10% (5:5)
Furniture Store	6 trips/1,000 sq. ft.; 100 trips/acre	5.4 trips/1,000 sq. ft.	4% (7:3)	9% (5:5)
Lumber/Home Improvement Store	30 trips/1,000 sq. ft.; 150 trips/acre	27 trips/1,000 sq. ft.; 135 trips/acre	7% (6:4)	9% (5:5)
Nursery	40 trips/1,000 sq. ft.; 90 trips/acre	36 trips/1,000 sq. ft.; 81 trips/acre	3% (6:4)	10% (5:5)
Restaurant:				
Quality	100 trips/1,000 sq. ft.; 3 trips/seat; 500 trips/acre	90 trips/1,000 sq. ft.; 2.7 trips/seat; 450 trips/acre	1% (6:4)	8% (7:3)
High Turnover (sit-down)	130 trips/1,000 sq. ft.; 7 trips/seat; 1,200 trips/acre	104 trips/1,000 sq. ft.; 5.6 trips/seat; 460 trips/acre	8% (5:5)	8% (6:4)
Fast Food (with or without drive-through)	700 trips/1,000 sq. ft.; 22 trips/seat; 3,000 trips/acre	420 trips/1,000 sq. ft.; 13.2 trips/seat; 1,800 trips/acre	4% (6:4)	8% (5:5)
Shopping Center:				
Neighborhood (30,000 sq. ft. or more GLA on 4 or more acres)	120 trips/1,000 sq. ft. GLA; 1,200 trips/acre	72 trips/1,000 sq. ft.; 720 trips/acre	4% (6:4)	11% (5:5)
Community (100,000 sq. ft. or more GLA on 10 or more acres)	70 trips/1,000 sq. ft. GLA; 700 trips/acre	49 trips/1,000 sq. ft.; 490 trips/acre	3% (6:4)	10% (5:5)
Regional (300,000 sq. ft. or more GLA) <sup>(6)</sup>	$\text{Ln}(T) = 0.756 \text{Ln}(x) + 5.25$ *	$0.8 [\text{Ln}(T) = 0.756 \text{Ln}(x) + 5.25]$ *	2% (7:3)	9% (5:5)
Specialty Retail Center/Strip Commercial	40 trips/1,000 sq. ft.; 400 trips/acre	36 trips/1,000 sq. ft.; 360 trips/acre	3% (6:4)	9% (5:5)
Supermarket	150 trips/1,000 sq. ft.; 2,000 trips/acre	90 trips/1,000 sq. ft.; 2,000 trips/acre	4% (7:3)	10% (5:5)

Tabla continúa...

.... tabla viene

### TRIP GENERATION RATE SUMMARY (WEEKDAY)

LAND USE	DRIVEWAY <sup>(1) (2)</sup>	CUMULATIVE <sup>(8)</sup>	PEAK HOUR AND IN/OUT RATIO	
	VEHICLE TRIP RATE	VEHICLE TRIP RATE	AM (IN:OUT)	PM (IN:OUT)
<b>EDUCATION <sup>(3)</sup></b>				
University (4 years or higher)	2.5 trips/student; 100 trips/acre	2.5 trips/student; 100 trips/acre	10% (9:1)	9% (3:7)
Community College (2 years)	1.6 trips/student; 18 trips/1,000 sq. ft.; 80 trips/acre	1.6 trips/student; 18 trips/1,000 sq. ft.; 80 trips/acre	12% (9:1)	8% (3:7)
High School	1.8 trips/student; 50 trips/acre; 11 trips/1,000 sq. ft.	1.8 trips/student; 50 trips/acre; 11 trips/1,000 sq. ft.	20% (8:2)	14% (3:7)
Junior High/Middle School	1.4 trip/student; 12 trips/1,000 sq. ft.; 40 trips/acre	1.4 trips/student; 12 trips/1,000 sq. ft.; 40 trips/acre	24% (7:3)	7% (3:7)
Elementary School	2.9 trips/student; 39 trips/1,000 sq. ft.; 136 trips/acre	2.9 trips/student; 39 trips/1,000 sq. ft.; 136 trips/acre	31% (6:4)	19% (4:6)
Day Care Center	5 trips/child; 80 trips/1,000 sq. ft.	5 trips/child; 80 trips/1,000 sq. ft.	19% (5:5)	18% (5:5)
<b>FINANCIAL INSTITUTION (Bank or Credit Union) <sup>(5)</sup></b>				
Excluding drive-through	150 trips/1,000 sq. ft.; 1,000 trips/acre	112.5 trips/1,000 sq. ft.; 750 trips/acre	4% (7:3)	8% (4:6)
With drive-through	200 trips/1,000 sq. ft.; 1,500 trips/acre	150 trips/1,000 sq. ft.; 1,125 trips/acre	5% (6:4)	10% (5:5)
Drive-through only	250 trips/lane	187.5 trips/lane	3% (5:5)	13% (5:5)
<b>HOSPITAL <sup>(3)</sup></b>				
Convalescent/Nursing	3 trips/bed	3 trips/bed	7% (6:4)	7% (4:6)
General	20 trips/bed; 20 trips/1,000 sq. ft.; 300 trips/acre	20 trips/bed; 20 trips/1,000 sq. ft.; 300 trips/acre	9% (7:3)	10% (3:7)
<b>HOUSE OF WORSHIP <sup>(4)</sup></b>				
General	15 trips/1,000 sq. ft.; quadruple rates for days of	9 trips/1,000 sq. ft.; quadruple rate for days of	4% (8:2)	8% (5:5)
Without School or Day Care	5 trips/1,000 sq. ft.; quadruple rates for days of assembly	5 trips/1,000 sq. ft.; quadruple rate for days of	4% (8:2)	8% (5:5)
<b>INDUSTRIAL</b>				
Industrial/Business Park (some commercial included) <sup>(3)</sup>	16 trips/1,000 sq. ft.; 200 trips/acre	16 trips/1,000 sq. ft.; 200 trips/acre	12% (8:2)	12% (2:8)
Small Industrial Park <sup>(1) *</sup>	15 trips/1,000 sq. ft.; 120 trips/acre	15 trips/1,000 sq. ft.; 120 trips/acre	11% (9:1)	12% (2:8)
Large Industrial Park *	8 trips/1,000 sq. ft.; 100 trips/acre	8 trips/1,000 sq. ft.; 100 trips/acre	11% (9:1)	12% (2:8)
Manufacturing/Assembly	4 trips/1,000 sq. ft.; 50 trips/acre	4 trips/1,000 sq. ft.; 50 trips/acre	20% (9:1)	20% (2:8)
Rental Storage	2 trips/1,000 sq. ft.; 30 trips/acre	2 trips/1,000 sq. ft.; 30 trips/acre	6% (5:5)	9% (5:5)
Scientific Research and Development	8 trips/1,000 sq. ft.; 80 trips/acre	8 trips/1,000 sq. ft.; 80 trips/acre	16% (9:1)	14% (1:9)
Truck Terminal	10 trips/1,000 sq. ft.; 7 trips/bay; 80 trips/acre	10 trips/1,000 sq. ft.; 7 trips/bay; 80 trips/acre	9% (4:6)	8% (5:5)
Warehousing	5 trips/1,000 sq. ft.; 60 trips/acre	5 trips/1,000 sq. ft.; 60 trips/acre	15% (7:3)	16% (4:6)
<b>LIBRARY <sup>(3)</sup></b>				
Less than 100,000 sq. ft.	50 trips/1,000 sq. ft.; 400 trips/acre	20 trips/1,000 sq. ft.	2% (7:3)	10% (5:5)
100,000 sq. ft. or more		16 trips/1,000 sq. ft.	2% (7:3)	10% (5:5)

Tabla continúa...

.... tabla viene

### TRIP GENERATION RATE SUMMARY (WEEKDAY)

LAND USE	DRIVEWAY <sup>(1) (2)</sup> VEHICLE TRIP RATE	CUMULATIVE <sup>(8)</sup> VEHICLE TRIP RATE	PEAK HOUR AND IN/OUT RATIO	
			AM (IN:OUT)	PM (IN:OUT)
<b>LODGING <sup>(3)</sup></b>				
Hotel (w/convention facilities/restaurant)	10 trips/room; 300 trips/acre	10 trips/room; 300 trips/acre	6% (6:4)	8% (6:4)
Motel	9 trips/room; 200 trips/acre	9 trips/room; 200 trips/acre	8% (4:6)	9% (4:6)
Resort Hotel	8 trips/room; 100 trips/acre	8 trips/room; 100 trips/acre	5% (6:4)	7% (6:4)
<b>MILITARY BASE <sup>(3)</sup></b>				
	2.5 trips/employee (military or civilian)	2.5 trips/employee (military or civilian)	9% (9:1)	10% (6:4)
<b>OFFICE</b>				
Commercial Office <sup>(6)</sup>	$Ln(T) = 0.756 Ln(x) + 3.95$ ; 450 trips/acre	$Ln(T) = 0.756 Ln(x) + 3.95$ ; 450 trips/acre	13% (9:1)	14% (2:8)
Corporate Headquarters/Single Tenant Office	10 trips/1,000 sq. ft.	10 trips/1,000 sq. ft.	15% (9:1)	15% (1:9)
Department of Motor Vehicles	180 trips/1,000 sq. ft.; 900 trips/acre	18 trips/1,000 sq. ft.	6% (6:4)	11% (4:6)
Government Office (Civic Center):	30 trips/1,000 sq. ft.		9% (9:1)	12% (3:7)
Less than 100,000 sq. ft.		20 trips/1,000 sq. ft.	9% (9:1)	12% (3:7)
100,000 sq. ft. or more		16 trips/1,000 sq. ft.	9% (9:1)	12% (3:7)
Medical Office:	50 trips/1,000 sq. ft.; 500 trips/acre		6% (8:2)	10% (3:7)
Less than 100,000 sq. ft.		20 trips/1,000 sq. ft.	6% (8:2)	10% (3:7)
100,000 sq. ft. or more		16 trips/1,000 sq. ft.	6% (8:2)	10% (3:7)
Post Office:				
Distribution (central/walk-in only)	90 trips/1,000 sq. ft.	76 trips/1,000 sq. ft.	5%	7%
Community (without mail drop lane)	200 trips/1,000 sq. ft.; 1,300 trips/acre	168 trips/1,000 sq. ft.; 1,092 trips/acre	6% (6:4)	9% (5:5)
Community (with mail drop lane)	300 trips/1,000 sq. ft.; 2,000 trips/acre		7% (5:5)	9% (3:7)
Less than 100,000 sq. ft.		168 trips/1,000 sq. ft.; 1,092 trips/acre	7% (5:5)	7% (6:4)
100,000 sq. ft. or more		252 trips/1,000 sq. ft.; 1,680 trips/acre	7% (5:5)	8% (7:3)
<b>RECREATION</b>				
Bowling Center	30 trips/lane; 300 trips/acre	30 trips/lane; 300 trips/acre	7% (7:3)	10% (4:6)
Golf Course	600 trips/course; 40 trips/hole; 8 trips/acre	600 trips/course; 40 trips/hole; 8 trips/acre	6% (8:2)	9% (3:7)
Marina	4 trips/berth; 20 trips/acre	4 trips/berth; 20 trips/acre	3% (3:7)	7% (6:4)
Movie Theater	80 trips/1,000 sq. ft.; 1.8 trips/seat	80 trips/1,000 sq. ft.; 1.8 trips/seat	0.3%	8% (7:3)
Park:				
Beach, Ocean or Bay	600 trips/1,000 ft. shoreline; 60 trips/acre	600 trips/1,000 ft. shoreline; 60 trips/acre	--	11% (4:6)
Developed	50 trips/acre	50 trips/acre	4%	8%
Undeveloped	5 trips/acre	5 trips/acre	4%	8%
Racquetball/Tennis/Health Club	40 trips/1,000 sq. ft.; 40 trips/court; 300 trips/acre	40 trips/1,000 sq. ft.; 40 trips/court; 300 trips/acre	4% (6:4)	9% (6:4)
San Diego Zoo	115 trips/acre	115 trips/acre	--	--
Sea World	80 trips/acre	80 trips/acre	--	--
Sport Facility:				
Indoor	30 trips/acre	30 trips/acre	--	--
Outdoor	50 trips/acre	50 trips/acre	--	--

Tabla continúa...

LAND USE	DRIVEWAY <sup>(1) (2)</sup>	CUMULATIVE <sup>(8)</sup>	PEAK HOUR AND IN/OUT RATIO	
	VEHICLE TRIP RATE	VEHICLE TRIP RATE	AM (IN:OUT)	PM (IN:OUT)
<b>RESIDENTIAL <sup>(3)</sup></b>				
Congregate Care Facility	2 trips/dwelling unit	2 trips/dwelling unit	3% (6:4)	8% (5:5)
Estate Housing	12 trips/dwelling unit	12 trips/dwelling unit	--	--
Mobile Home	5 trips/dwelling unit; 40 trips/acre	5 trips/dwelling unit; 40 trips/acre	9% (3:7)	12% (6:4)
Multiple Dwelling Unit:				
Under 20 dwelling units/acre	8 trips/dwelling unit	8 trips/dwelling unit	8% (2:8)	10% (7:3)
Over 20 dwelling units/acre	6 trips/dwelling unit	6 trips/dwelling unit	8% (2:8)	9% (7:3)
Retirement/Senior Citizen Housing	4 trips/dwelling unit	4 trips/dwelling unit	--	--
Single Family Detached:				
Urbanized Area <sup>(1)</sup>	9 trips/dwelling unit	9 trips/dwelling unit	8% (2:8)	10% (7:3)
Urbanizing Area <sup>(1)</sup>	10 trips/dwelling unit	10 trips/dwelling unit	8% (2:8)	10% (7:3)
<b>TRANSPORTATION FACILITIES <sup>(3)</sup></b>				
Bus Depot	25 trips/1,000 sq. ft.	25 trips/1,000 sq. ft.		
Park & Ride Lots	400 trips/acre; 600 trips/paved acre	400 trips/acre; 600 trips/paved acre	14% (7:3)	15% (3:7)
Transit Station (rail)	300 trips/acre	300 trips/acre	14% (7:3)	15% (3:7)

**Notes:**

- (1) From the 1990 Trip Generation Manual. Driveway rates reflect trips that are generated by a site. These rates are used to calculate the total number of trips that impact the project and its immediate vicinity.
- (2) Does not include trip rates for Centre City area. See Table 5.
- (3) San Diego Association of Governments (SANDAG), "Traffic Generators," San Diego, California, December 1996, and July 1998.
- (4) City of San Diego memo, "Trip Generation Rate for Churches," December 9, 1992.
- (5) Refer to Cumulative Vehicle Trip Rate column for reduced trip rates.
- (6) Ln = Natural logarithm; fitted curve logarithmic equation is used for Commercial Office and Regional Shopping Center. For example, the trip generation of an Office Building with 100,000 sq. ft. of GLA is:  $\text{Ln}(T) = 0.756 \text{Ln}(100) + 3.95$ , or  $\text{Ln}(T) = 0.756 (4.60517) + 3.95$ , or  $\text{Ln}(T) = 3.481509 + 3.95$ , or  $\text{Ln}(T) = 7.431509$ , which is 1,688 trips. The trip generation of a Regional Shopping Center with 1,000,000 sq. ft. of GLA is:  $\text{Ln}(T) = 0.756 \text{Ln}(1,000) + 5.25$ , or  $\text{Ln}(T) = 0.756 (6.907755) + 5.25$ , or  $\text{Ln}(T) = 5.222263 + 5.25$ , or  $\text{Ln}(T) = 10.47226$ , which is 35,322 trips. See Table 2 for calculated trip generation for selected sizes of Regional Shopping Centers, and Table 3 for calculated trip generation for selected sizes of Commercial Offices. GLA = Gross Leasable Area; T = trips; x = GLA in 1,000 square feet.
- (7) Institute of Transportation Engineers, "Trip Generation," 5th and 6th Editions, Washington, District of Columbia, 1991 and 1998.
- (8) Trips made to a site are Pass-By and Cumulative trips. See Appendix A for definitions of these trips. Cumulative rates are used to determine the community-wide impact of a new project.