



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 SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE
GUATEMALA, REPÚBLICA DE GUATEMALA”**

INGENIERO CIVIL DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

ASESORADO POR ING. MSC. JOSÉ SANTOS MONZÓN GÁMEZ

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACTULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES DE
SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA,
REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TESIS

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

POR

INGENIERO CIVIL DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

ASESORADO POR ING. MSC. JOSÉ SANTOS MONZÓN GÁMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, OCTUBRE 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 que establece 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
SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA,
REPÚBLICA DE GUATEMALA”**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería con fecha 13 de julio de 2010.



ING. DENNIS SALVADOR 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 DE SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **Dennis Salvador Argueta Mayorga**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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



Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

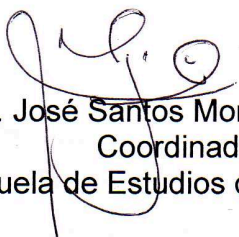
**Universidad de San Carlos
de Guatemala**



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 DE SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **Dennis Salvador 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**

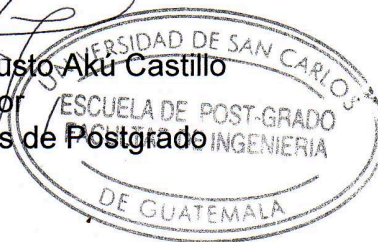


Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

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 DE SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, REPÚBLICA DE GUATEMALA** presentado por el Ingeniero Civil **Dennis Salvador Argueta Mayorga**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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



Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

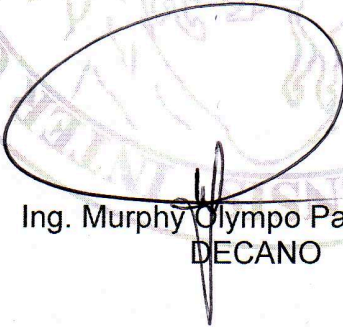


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 009.2010

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 DE SUPERMERCADOS EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **Dennis Salvador Argueta Mayorga** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2010



/la

AGRADECIMIENTOS A

- Dios** Por ser mi guía, mi padre, mi amigo, mi todo. Infinitas gracias por las bendiciones que me ha dado.
- Mis padres** Ing. Oscar Argueta Hernández, por ser un ejemplo de lucha y sacrificio; una amalgama entre capacidad y experiencia. Por inculcar en mí, los principios que me han ayudado a alcanzar el éxito en mi vida.
- Licda. Aura Mayorga Salguero de Argueta, quien edificó en mí los cimientos fuertes e irrompibles, que me han ayudado a alcanzar las metas que hoy en día me enorgullecen. Gracias Mamá.
- Mis hermanos** Oscar Fernando y José Luis Argueta Mayorga, por ser una fuente de fortaleza para mí, y por el cariño y amor que nos une.
- Ing. José Monzón** Gracias a sus consejos y ayuda, he podido lograr este trabajo de graduación.
- Ing. Edgar de León** Por su colaboración en el asesoramiento de la tesis y por brindar su tiempo y experiencias para que este trabajo sea de alta calidad.
- Autoridades administrativas de “Vía Majadas”** Por la ayuda proporcionada para la obtención de los datos que sirvieron para el análisis de esta investigación.

La Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser el alma máter que me ha provisto de vastos conocimientos en tópicos ingenieriles, y ayudado a cumplir uno más de mis sueños.

ACTO QUE DEDICO A:

mis padres

Oscar Argueta Hernández
Aura Mayorga Salguero de Argueta

mis hermanos

Oscar Fernando Argueta Mayorga
José Luis Argueta Mayorga

mis abuelitos:

Herminia Hernández de Argueta
José Raúl Mayorga y
Rosaura Salguero de Mayorga

**mis tíos y primos
en general**

**mis amigos y
compañeros en
general**

ÍNDICE GENERAL

	página
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
ANTECEDENTES	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. LOS MODELOS EN LA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO	1
1.1. Modelación	5
1.2. Modelo secuencial de cuatro etapas	9
1.2.1. Generalidades	9
1.2.2. Modelo secuencial	11
2. LOS MODELOS DE GENERACIÓN DE VIAJES	19
2.1. La generación de viajes y el propósito de viajes	19
2.2. Variables que explican la generación de viajes	22
2.3. Proceso para la obtención del modelo de generación de viajes	25
2.4. Modelos de generación de viajes	28
2.4.1. Modelo de tasa de generación	28
2.4.2. Modelo del factor de crecimiento	29
2.4.3. Método de regresión lineal múltiple	30

2.4.4. Método de clasificación cruzada o análisis de categorías	31
2.4.5. Método de tasas de generación de viajes del ITE	35
3. LAS ACTIVIDADES URBANAS COMO GENERADORAS DE VIAJES	37
3.1. La movilidad y la estructura urbana	37
3.2. Las actividades urbanas	40
3.3. Polos generadores de viajes	43
3.3.1. Clasificación de los polos generadores de viajes	45
3.3.2. Metodologías de análisis de los PGM's	48
4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA SUPERMERCADOS	57
4.1. Supermercados en la metodología del Instituto de Ingenieros de Transporte	57
4.2. Cálculo y análisis de resultados de la investigación	58
4.3. Comparación de resultados obtenidos con los índices propuestos por el ITE	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	83
APÉNDICE	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

	página
1. Formulación de un modelo	8
2. Proceso general de predicción	10
3. Cuatro pasos del proceso del UTMS	13
4. Modelo secuencial	18
5. Esquema de viajes según motivo	21
6. Tasas de generación para viviendas de una sola familia – ITE	36
7. Desde el tránsito a la movilidad	39
8. Interacción entre oferta y demanda	41
9. Escala de análisis de las actividades urbanas	42
10. Metodología del U.S. Department Transportation	53
11. Metodología española	55
12. Ubicación del Supermercado Híper Paiz “Santa Clara”	59
13. Fotografía aérea de Híper Paiz “Santa Clara”	60
14. Ubicación del Supermercado Híper Paiz Roosevelt	61
15. Fotografía aérea de Híper Paiz Roosevelt	61
16. Ubicación del supermercado Paiz San Cristóbal	62
17. Fotografía aérea de Paiz San Cristóbal	63
18. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)	66
19. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)	66
20. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)	67

21. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para el día en fin de semana (sábado)	67
22. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para el día entre semana (martes)	68
23. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para el día en fin de semana (sábado)	68
24. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)	70
25. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)	71
26. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)	71
27. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para un día del fin de semana (sábado)	72
28. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para el día entre semana (martes)	72
29. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para un día del fin de semana (sábado)	73

TABLAS

I.	Motivos de viajes basados en el hogar y simbología	20
II.	Variables explicativas por uso de suelo	23
III.	Modelos de tasa de generación	28
IV.	Matriz de estratificación socioeconómica y tamaño familiar	32
V.	Matriz de estratificación socioeconómica y propósito de viaje	32
VI.	Matriz final de tasa de generación de viajes y estratificación socioeconómica	33
VII.	Características de transporte de los principales polos urbanos	44
VIII.	Polos generadores de viajes y sus características	47
IX.	Viajes vehiculares (ingresos más egresos) en hora de días martes y sábado	63
X.	Características de los supermercados	64
XI.	Índices de generación de viajes hora pico (martes)	64
XII.	Índices de generación de viajes hora pico (sábado)	64
XIII.	Modelos de generación para hora pico entre semana	65
XIV.	Modelos de generación para hora pico día sábado	65
XV.	Índices de generación diaria, día martes	69
XVI.	Índices de generación diaria, día sábado	69
XVII.	Modelos de generación diaria (entre semana)	69
XVIII.	Modelos de generación diaria (sábado)	70
XIX.	Tabla resumen de índices de generación de viajes	75
XX.	Índices de generación de viajes cada 1000 pies cuadrados del área total construida	76
XXI.	Comparación de modelos de generación de viajes	77
XXII.	Comparación de modelos de generación de viajes utilizando un valor de prueba de 500,000 pies cuadrados	77

LISTA DE ABREVIATURAS

UTM	Universidad Tecnológica Metropolitana
FHWA	Federal Highway Administration
PIT	Plan Intermodal de Transporte
USA, EUA	United States of America, Estados Unidos Americanos
BRT	Bus Rapid Transit (bus de tránsito rápido)
TDM	Travel Demand Management
TAZ	Transport Analysis Zone
HB	Home Based, Viajes basados en el hogar
NHB	Viajes no basados en el hogar
Ha.	Hectárea
m²	Metro cuadrado
pie², ft²	Pie cuadrado
O-D	Origen – Destino
NSE	Nivel Socioeconómico
ITE	Institute of Transportation Engineers
PGV	Polo Generador de Viaje

GLOSARIO

**Congestión ó
congestionamiento
vehicular**

Es la situación que se crea cuando el volumen de tránsito en uno o más puntos de una vía, excede el volumen máximo que puede pasar por ellos.

**Coeficiente de
correlación (R)**

Medida del grado de asociación lineal entre dos variables. Sus magnitudes numéricas varían desde -1 a +1, con los valores absolutos más altos, representando los mayores grados de asociación lineal.

**Coeficiente de
determinación (R^2)**

Fracción decimal de la variable dependiente que es explicada por los cambios en las variables independientes del modelo. 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.

Estocástico

Se denomina así a aquel sistema que funciona, sobre todo, por el azar.

Hipermercado	Gran superficie comercial dotada de aparcamiento, con variedad de artículos en régimen de autoservicio y localizada generalmente en la periferia de las grandes ciudades.
Hora valle	Antónimo de hora punta, se refiere a las horas en las que regularmente se produce un menor consumo o uso de una vía.
Hora pico u hora punta	Se refiere a las distintas horas en las que regularmente se producen congestiones.
Impacto Vial	Es el impacto de tránsito que genera algún proyecto de desarrollo comercial, industrial, residencial y cualquier otro proyecto de ingeniería que genere viajes.
Índice	Número con que se representa convencionalmente el grado o intensidad de una determinada cualidad o fenómeno.
ITE	Institute of Transportation Engineers (Instituto de Ingenieros de Transporte); es una asociación internacional educacional y científica de profesionales del área de tránsito, responsable de la movilidad y seguridad en el transporte de bienes.

Meso	Elemento prefijal que entra en la formación de palabras con el significado de 'en medio', 'intermedio'.
Modelo	Es una técnica basada en el cálculo numérico, utilizada desde los años 60, en una amplia gama de campos de estudio, como diversos tipos de ingeniería, para validar modelos conceptuales de procesos u objetos observados.
Nivel de servicio	Generalmente determina el nivel de capacidad que posee una vía, una calle o un estacionamiento. Principalmente se rige por la velocidad y tiempo de viaje, seguridad y comodidad, entre otras.
Per se	De por sí, por sí mismo.
Políticas Públicas	Disciplina que se refiere al estudio de la acción de las autoridades públicas, aunque en su diseño e implementación técnica confluye la ingeniería (en el caso de vías terrestres).
Regresión	Es la tendencia de una medición extrema más cercana a la media en una segunda medición.
Supermercado	Llamado a veces de modo coloquial “súper”, es un establecimiento comercial urbano que vende bienes de consumo en sistema de autoservicio, entre los que se encuentran alimentos, ropa, artículos de higiene, perfumería, limpieza y otros.

Tasa

Medida, relación entre dos magnitudes.

Tránsito vehicular

Es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, contiene en forma detallada, las actividades requeridas para poder estimar el índice de generación de viajes para Supermercados en un área urbana.

El mismo contiene la descripción de aplicabilidad de los índices de generación de viajes, tomando como referencia los supermercados Híper Paiz Villa Nueva, el Híper Paiz Roosevelt y Paiz San Cristóbal; ya que para la realización de un Estudio de Impacto Vial se requiere conocer índices de generación de viajes de acuerdo con el tipo de suelo que se esté analizando.

Los supermercados mencionados en el párrafo anterior, se caracterizan por ser potenciales generadores de impactos en el sistema de transportes, ocasionando congestionamientos. Dentro de esa problemática, el proyecto tiene como objetivo encontrar el índice y parámetro de generación de viajes, utilizando la técnica de tasas.

Se presenta también, una breve explicación sobre los polos generadores de viajes y la forma en la que se elaboran los modelos de generación de viajes. En el caso de este estudio se tomó en cuenta la modelación secuencial de las 4 etapas y para obtener el Índice de Generación de Viajes, se utilizó el método propuesto por el ITE.

Es importante hacer hincapié en que uno de los 3 supermercados analizados (Paiz San Cristóbal), se encuentra dentro de un centro comercial. Tomando en cuenta que los otros 2 supermercados analizados también cuentan

con área comercial dentro de las instalaciones se asume que no hay gran diferencia entre las características para los 3 supermercados analizados.

Los resultados obtenidos se analizaron de acuerdo con la situación socio-económica y cultural de la zona de ubicación y luego se comparan con los índices establecidos por el ITE (Instituto de Ingenieros de Transporte).

A partir de los análisis efectuados, se concluye que existe una variación de aproximadamente 2.5 veces entre el índice utilizado por el ITE y el calculado en la presente tesis, pues los aspectos culturales, económicos y sociales en nuestro país, son diferentes a los de países como Estados Unidos, que se han tomado como modelo.

Es imperante la necesidad que se realicen más investigaciones en el área de transporte, ya que de esa forma se estaría obteniendo más información coherente con las características del país y así evitar usar índices o aplicar factores de índices generados en otro país diferente a Guatemala.

OBJETIVOS

General

Determinar el Índice de Generación (producción y atracción) de Viajes para supermercados en el departamento de Guatemala, República de Guatemala, describiendo el procedimiento que se utilizará para la cuantificación de dicho índice.

Específicos

1. Definir la metodología para la estimación de índices de generación de viajes para cualquier actividad urbana o uso de suelo.
2. Establecer la ecuación de modelo de generación de acuerdo con la ubicación, tamaño y estrato socioeconómico al que se orienta el servicio (Supermercado), que se desarrollará dentro del perímetro del Departamento de Guatemala.
3. Realizar una comparación entre los resultados obtenidos para los modelos locales de generación de viajes y los desarrollados por el ITE.
4. Lograr un acuerdo entre la iniciativa privada y las instituciones públicas guatemaltecas, con el fin de planificar el desarrollo de proyectos inmobiliarios de acuerdo con la generación de viajes que estos pueda presentar.

ANTECEDENTES

Cada vez, es más frecuente que los usos del suelo vayan cambiando de acuerdo con situaciones económicas, culturales, o de cualquier otra índole; lo que genera en algunos puntos congestión vehicular, causando un gran impacto en la zona aledaña. Estos cambios deben de ser estudiados, y a la vez, si se puede, cuantificados; para que de esa forma sea menor el impacto vial generado, garantizando así un nivel de servicio adecuado para todos los vehículos que transiten en el lugar de estudio.

Un problema muy importante en la Ingeniería de Tránsito en Guatemala, es la estimación de las tasas de atracción y generación de viajes debido a la implantación de un nuevo centro comercial, supermercado, zonas residenciales, universidades, etcétera. Esto se da, tanto a nivel operacional como de planificación y diseño.

Los índices de atracción y generación de viajes, difieren de un lugar a otro, dependiendo de diversos factores tales como: situación socioeconómica y cultural, y el uso del suelo.

En Guatemala, específicamente en la ciudad capital, las autoridades de la municipalidad han mostrado gran preocupación debido a la promoción de nuevos desarrollos urbanísticos y comerciales, y han dispuesto de normativas para realizar la difícil tarea de pronosticar el comportamiento del parque vehicular (privado y público), luego de la construcción del establecimiento, zona residencial o comercial planteada. La falta de instrumentos reguladores para evitar los problemas anteriormente mencionados conlleva al caos urbano que poco a poco disminuye las expectativas de vida de los habitantes de la ciudad.

En cualquier país, 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 Guatemala no tiene una base de datos con los índices de generación para diversos usos del suelo, lo que conlleva a utilizar factores de corrección de otros índices determinados en Estados Unidos, donde la situación económica, social y cultural (entre otras) es diferente, por lo que seguramente los índices son diferentes a la realidad.

INTRODUCCIÓN

Conforme el avance de la humanidad y por lo tanto del crecimiento poblacional, la evolución de las aglomeraciones vehiculares urbanas ha estado caracterizada por un continuo proceso de expansión en algún territorio determinado. Hay quienes aseguran que esto es consecuencia del crecimiento demográfico característico e irreversible de cualquier ciudad; para otros, esta evolución de la ciudad ha sido consecuencia lógica de la invención progresiva de nuevas tecnologías y que más personas pueden acceder a los servicios y equipos tales como autobuses o automóviles, lo que hace un congestionamiento vial, debido a que las calles y estacionamientos de establecimientos, no fueron diseñados para movilizar una cantidad de vehículos mayor a lo esperado en el proyecto original.

Actualmente, cuando se realiza un Estudio de Impacto Vial en Guatemala, se aplica la metodología establecida por el Instituto de Ingenieros de Transporte de los Estados Unidos (ITE); esto implica que hay que aplicar factores a los índices de generación de viajes estadounidenses para poderlos aplicar en Guatemala (situación que actualmente sólo por experiencia se puede determinar). Debido a esta situación, es necesario establecer cuántos viajes se generarán o atraerán en un día típico y según las horas del mismo, cuando un establecimiento (Supermercado, Centro Comercial, Colonias, Escuelas, Universidades, etcétera) esté en servicio; para ello se debe recopilar las tasas o índices de generación de viajes reales de Guatemala, ya que se puede determinar la influencia que tiene este establecimiento sobre el tránsito de la zona analizada.

Es de suma importancia que cuando se solicite un Estudio de Impacto Vial, las tasas de generación de viajes estén acordes al tipo de proyecto a analizar; además de contemplar situaciones culturales, sociales, económicas y religiosas de la región y/o país, para que de esa forma esté más próximo a la realidad, el análisis vial a realizar.

El trabajo de investigación planteado ayudará a exponer de una forma adecuada todos los elementos que intervienen en un modelo de Generación de Viajes para actividades urbanas; de esta manera, se creará una especie de herramienta de análisis de impacto vial, cuando se requiera estudiar un Supermercado en Guatemala.

1. LOS MODELOS EN LA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO

Han pasado 55 años desde los primeros estudios de modelación en transporte urbano, los cuales tuvieron lugar en los Estados Unidos (Detroit [1953] y en Chicago [1956]). Durante ese tiempo cambiaron los procesos utilizados y se volvieron cada vez más complejos y sofisticados. A ello se le debe adicionar la implementación de programas de cómputo cada vez más especializados. Por ejemplo, en Perú uno de los primeros modelos se desarrolló en el año 1972 con el Estudio de factibilidad técnico-económica y el Anteproyecto del sistema de transporte rápido masivo de pasajeros en el área de Lima-Callao. En esa época la población de Lima era de 3,3 millones de habitantes, según la encuesta domiciliaria origen- destino del 1.85%, es decir, 9,000 hogares; viajes diarios motorizados en transporte público 72% y Privados 28%.

En 1988, se efectuó el Estudio complementario del plan de desarrollo urbano de Lima Metropolitana y del Callao, la población fue de 6,0 millones de habitantes en la zona de estudio, según la encuesta domiciliaria de origen-destino del 2,3% de hogares, es decir, 20,000 encuestas de hogares (Castro, 2005). Dichos estudios de modelación de transporte urbano siguieron realizándose para diversos proyectos; así se tiene: los corredores segregados de alta capacidad COSAC, el Plan Intermodal de Transporte (PIT – Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y El Proyecto Especial Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao-Tren Urbano AATE.

A nivel internacional es posible identificar cuatro períodos:

1950-1960: se evidencian progresos en respuesta a la construcción acelerada de las carreteras (USA) y adelantos en computación.

1970-1980: los desarrollos en respuesta a las críticas de los métodos agregados.

1980-1990: desarrollo de modelos dinámicos.

1990: los desarrollos en respuesta a la contaminación medioambiental, y políticas de manejo de la demanda de viajes TDM (*Travel Demand Management*)

Antes de los años 50, los análisis de viaje usados eran los datos de los conteos de tráfico los cuales servían para evaluar los sistemas de transporte. Aunque los acercamientos logrados eran adecuados para los problemas analizados, cualquier predicción era muy imprecisa y se basaba en una consideración de tendencias históricas. Durante los subsiguientes años, la construcción de carreteras, sobre todo en los Estados Unidos, se aceleró rápidamente, y con el crecimiento vial se implementó una predicción más sofisticada y elaborada, de tal forma que se pudo diseñar adecuadamente los pavimentos, y el análisis de los impactos económicos. Esto permitió formar planes para la evaluación y priorización de los proyectos con más precisión.

El desarrollo de computadoras durante este período proporcionó las herramientas necesarias para procesar las grandes cantidades de datos exigidos en la modelación de los sistemas urbanos complejos. Los pioneros de estos primeros modelos eran principalmente ingenieros con un positivismo en su perspectiva, como la creencia de que las relaciones encontradas en las ciencias naturales podrían extenderse a los sistemas urbanos. Por ejemplo el

de atracción gravitatoria que influyó en el desarrollo de distribución de viajes. El modelo de atracción gravitatoria se basa en la fórmula desarrollada por Fratar, en donde el flujo entre dos zonas es proporcional a la generación de la zona origen y a la atracción de la zona, y decrece con la distancia que les separa.

Ellos asumieron que sería posible prever el comportamiento humano con algún grado de exactitud. El método importante que surgió durante este período de desarrollo rápido fue el modelo agregado de las cuatro fases.

Las asunciones de los diseñadores del modelo agregado de las cuatro fases son:

- Los futuros patrones de uso de suelo independientemente de los cambios en el sistema de transporte son potencialmente predecibles.
- El comportamiento de viajes basado en datos familiares y de hogares promedio en una zona es potencialmente predecible.
- Las relaciones entre las características de la casa y el comportamiento de los viajes permanecerán firmes encima del tiempo (los períodos largos).
- Las decisiones de viajes se realizan principalmente teniendo en cuenta la minimización del tiempo de viaje y el costo que esta acarrea.
- La interzonalidad, el promedio de día favorable y la hora máxima de viajes vehiculares mantuvieron un cuadro adecuado de los propósitos de mejoras de los sistemas de transporte (Kane L. y Behrens R., 2002).

Las críticas de la planificación basada en modelos

A mediados de los años 60, la oposición a los desarrollos de transporte de la década anterior había empezado a surgir. Esta preocupación se elevó a

principios de los años 70 en medio de una serie de crisis políticas en el desarrollo mundial (donde se incluye un rango más amplio de criterios de evaluación, como medioambiental y problemas de equidad).

El enfoque anterior había estado grandemente desarrollado en términos sólo económicos. Sin embargo, aunque el proceso de planear se enmendó ligeramente durante este tiempo, los modelos de la computadora usados, estaban fundamentalmente igual que los modelos del cuatro-fase agregados que se desarrollaron en las décadas anteriores. En 1973 se produjo una crítica que condenaba a los modelos urbanos de gran escala y se resaltaron **siete fallas fundamentales** (Benenson I., 2005):

1. Hipercomprimibilidad (intentar explicar demasiado con muchas restricciones y relaciones)
2. Burdelesco (el agregado era demasiado para ser significativo o útil; confianza en entrada agregada)
3. Hambriento (requiriendo de inmensas cantidades de datos)
4. Ostentabilidad (con una relación pobre entre teoría usada en los modelos y los comportamientos humanos reales);
5. Complicabilidad (los rendimientos eran difíciles de interpretar, y exigió ajustes para conseguir los resultados realistas/ difícil de entender en su totalidad)
6. Mecanicista (las computadoras introdujeron los errores debido al redondeo)
7. Costabilidad (altos costos para las estimaciones)

La formulación de cualquier modelo requiere la definición de un fenómeno (una variable o un conjunto de variables) que necesita ser explicado y por otra parte, la definición de un conjunto de variables explicativas que se supone determina las características del fenómeno que interesa analizar.

1.1. Modelación

La formulación de cualquier modelo requiere la definición de un fenómeno (una variable o un conjunto de variables) que necesita ser explicado y por otra parte, la definición de un conjunto de variables explicativas que se supone determina las características del fenómeno que interesa analizar.

En transporte urbano, fenómenos típicos que interesa estudiar, son por ejemplo, el número de viajes producidos y atraídos por zona, por propósito y categoría, la probabilidad de utilizar un cierto modo de transporte, los flujos en los arcos de una determinada red, etc. Para explicar estos fenómenos se recurre a variables tales como las características socioeconómicas de los individuos, niveles de servicio de los modos de transporte y otras.

Sin embargo, los modelos de transporte son utilizados no sólo para explicar los fenómenos mencionados, sino también para predecir sus comportamientos futuros. Por ello, es pertinente mencionar un problema habitual de cualquier modelo que va a ser utilizado, para determinar el valor futuro de una cierta variable y que establece relación con la factibilidad de predecir los valores de las variables explicativas correspondientes. La calibración de estos modelos normalmente enfrenta una disyuntiva entre los requerimientos de explicación y predicción.

Clasificación de los modelos:

(a) Para qué está hecho el modelo.

- Descriptivo: explica la realidad
- Predictivo: provee una imagen futura del sistema

- Explorativo: descubre por especulación otras realidades que son lógicamente posibles.
- De planeamiento: introduce una medida de optimización partiendo de los criterios elegidos, para determinar los medios que permitan alcanzar las metas fijadas.

(b) De qué está hecho el modelo

- Físico o real
- Icónico, con solo un cambio de escala
- Analógico, con propiedades diferentes pero con similar comportamiento
- Abstractos (conceptuales)
- Verbales: describen la realidad en términos lógicos utilizando la palabra oral o escrita
- Matemáticos: describen la realidad partiendo de símbolos y relaciones formales (determinísticos-estocásticos)

(c) Cómo está tratado el factor tiempo

- Estáticos: representan un determinado estado del sistema en el tiempo.
- Dinámicos: describen el desarrollo o evolución del sistema en el tiempo.

Los modelos físicos son utilizados para conocer el comportamiento de ciertas estructuras bajo determinadas condiciones; ejemplo de ello se tiene en las maquetas usadas en la ingeniería donde se simulan puentes, presas, tanques y otros, para predecir el comportamiento de estas estructuras cuando sean construidas. Los segundos modelos son los abstractos, que hacen posible una representación de la realidad, utilizando conceptos y símbolos.

Los aspectos dinámicos del mundo son descritos por los acontecimientos, los procesos, las acciones, las actividades y las realizaciones.

Por ejemplo, una población de una ciudad en el tiempo T. Al describir los aspectos dinámicos del mundo real, la dimensión del tiempo desempeña un papel vital. El mundo real (realidad) se puede describir en forma «estática», cuando no se toma en cuenta la dimensión del tiempo o es menos importante, y «dinámico» cuando la dimensión del tiempo es un componente inherente.

- El modelar nos ayuda a entender las características estáticas y dinámicas del mundo a los niveles de precisión deseados.
- Modelar significa abstraer la realidad y ella es la base para crear escenarios.
- El fundamento racional para usar modelos en cualquier disciplina es la búsqueda constante del hombre por adquirir conocimiento relativo a la predicción del futuro.
- Los modelos son instrumentos que permiten predecir el comportamiento de ciertas variables, para apoyar las labores de planificación.
- No se necesita representar la realidad en todos sus detalles para decidir un curso de acción. Es preferible ignorar los aspectos que no son relevantes para el análisis.
- Los modelos son alimentados con información de la realidad y pueden predecir cómo se comportará el sistema de transporte analizado, bajo distintas hipótesis de políticas y de proyectos.

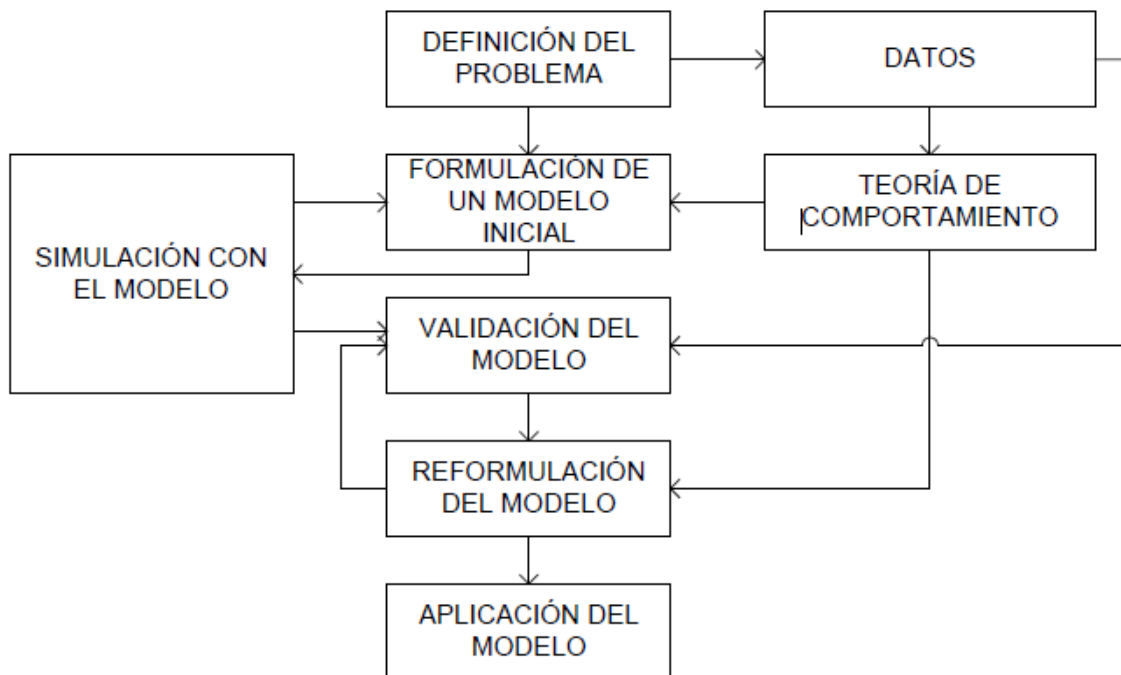
A continuación, se presenta una lista, no exhaustiva, de los principios generales en modelación.

- No debe elaborarse un modelo complicado cuando uno simple es suficiente.
- El problema no debe ajustarse al modelo o método de solución.

- La fase deductiva de la modelación debe realizarse rigurosamente.
- Los modelos deben validarse antes de su implantación.
- Nunca debe pensarse que el modelo es el sistema real.
- Un modelo debe criticarse por algo para lo que no fue hecho.
- Uno de los primeros beneficios de la modelación reside en el desarrollo del modelo.
- Un modelo es tan bueno o tan malo como la información con la que trabaja.
- Los modelos no pueden reemplazar al tomador de decisiones.

No existe total claridad acerca de cómo nace o se genera un modelo. Sin embargo, la siguiente figura representa un enfoque general que sirve de ayuda para entenderlo. No debe olvidarse que estos procesos son interactivos, ya que cada una de ellos puede, en su desarrollo, mejorar o enriquecerse con nuevas ideas.

Figura 1. Formulación de un modelo (Ortuzar, 2000)



1.2. Modelo secuencial de cuatro etapas

1.2.1. Generalidades

El modelo secuencial de cuatro etapas, es hasta la fecha el modelo más extensamente utilizado en las más diversas ciudades del mundo. Trabaja sobre la hipótesis de que los usuarios realizan *secuencialmente* un conjunto de elecciones que caracterizan sus viajes, con base en ciertos atributos personales y el sistema de transporte. Estas elecciones dicen la relación con las decisiones de viajar (generación de viajes) hasta un destino (distribución de viajes) en un modo de transporte (partición modal) y a través de una ruta determinada (asignación). La agregación de estas decisiones individuales, determina las características de operación de un sistema de transporte dado. Sin embargo, el enfoque secuencial tiene una inconsistencia en los tiempos de viaje en las fases de distribución-partición modal – asignación, que debe ser resuelto de manera adecuada.

Los modelos se usan en una secuencia de pasos para contestar las preguntas sobre los patrones de viajes futuros. Los pasos y preguntas básicas permitirán esquematizar con cierta proximidad al análisis que se debe realizar para lograr los objetivos de la modelación en el contexto de planificación del transporte son (Beimborn E. 2002):

Uso de suelo

- Pronóstico de población: ¿Cuántas familias y cuál es el tamaño de ellas?
- Pronóstico de economía: ¿Qué actividades realizarán las personas?
- Patrones de desarrollo de uso de suelo: ¿Dónde se desenvolverán las personas y que actividades tendrán?

Adicionalmente a esto se deben tener en cuenta las acciones estratégicas y políticas que permitirán desarrollar diferentes desenvolvimientos de uso del suelo.

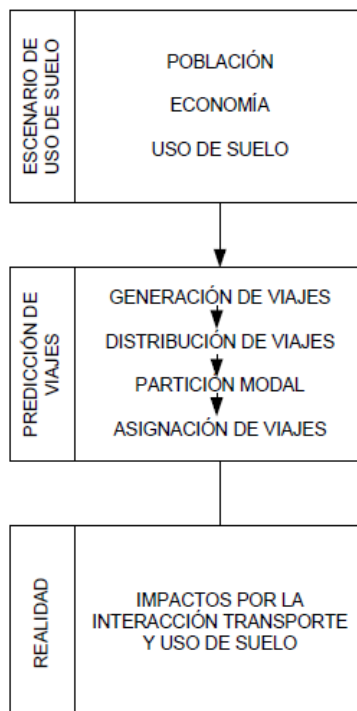
Predicción de viajes: ¿Cómo serán los patrones de viaje en el futuro?

- Generación de viajes: ¿Cuántos viajes se realizarán?
- Distribución de viajes: ¿Dónde se realizarán los viajes?
- Partición modal: ¿Cómo se trasladarán?
- Asignación de viajes: ¿Qué rutas utilizarán? (¿En qué momento del día estos viajes se realizarán?)

Impactos – Transporte

- ¿Qué efectos tendrán el realizar estos viajes?
- ¿Puede mejorarse el plan

Figura 2. Proceso general de predicción



1.2.2. Modelo secuencial

El modelo que se propone como parte de la metodología de análisis corresponde al clásico modelo secuencial de cuatro etapas. Para resolver la inconsistencia del proceso de distribución – partición modal- asignación, se han planteado diferentes soluciones entre las cuales está el proceso de retroalimentación (feedback), que permite que en procesos iterativos se obtenga un sistema consistente en cuanto a los tiempos de la red y la demanda.

Los diferentes programas de planeación de transporte ofrecen algoritmos o programas para resolverlo, las cuales deben estar implementados dentro del proceso de aplicación del modelo secuencial.

El modelo general consta de un conjunto de submodelos que reflejan las distintas etapas de la demanda y de la oferta de transporte.

La definición pone especial énfasis en la calidad de cada uno de estos submodelos porque de ello depende la bondad del modelo general. En este sentido, se propone que la mencionada naturaleza del modelo secuencial debe entenderse como una reducción de las dimensiones del análisis, pero no así de la calidad de las herramientas metodológicas.

Varios modelos se han desarrollado para representar el conjunto o una parte de un sistema del mundo real. Tomando sólo los rasgos importantes de un sistema, los modelos usados en la planificación de transporte pueden variar. Así se tienen aquellos que son simples (como una curva de tendencia), y aquellos que son complejos (como la simulación dinámica).

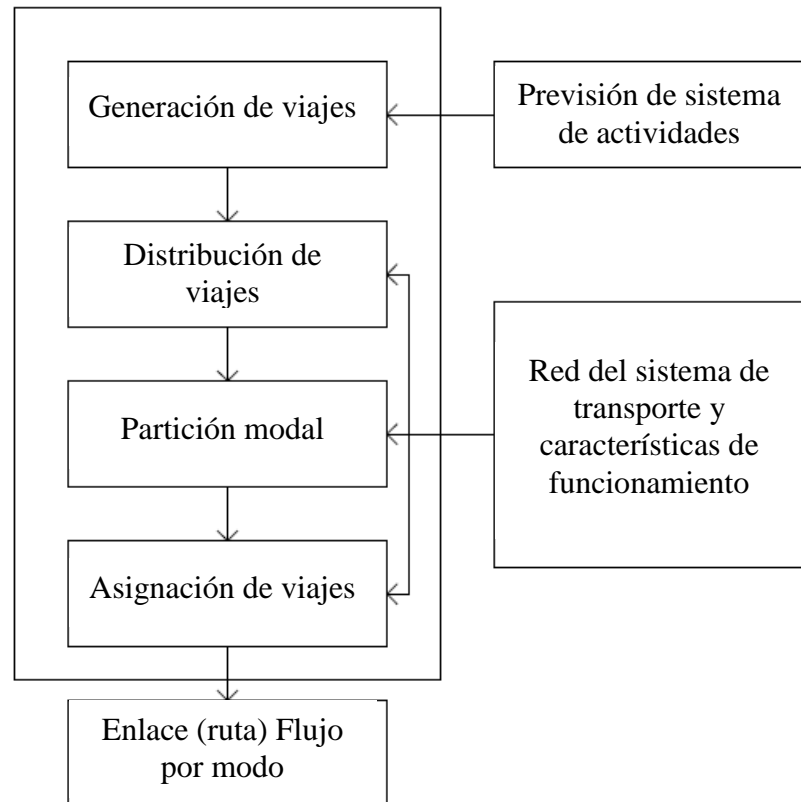
Se han desarrollado muchas clases de modelos utilizando teorías como la de entropía, interacción espacial, microeconomía, utilidad aleatoria y geografía de tiempo desde la aparición del primer sistema de modelado de transporte urbano en los años cincuenta. Estos modelos se han utilizado para las diferentes etapas de la modelación como la generación de viajes (producción y atracción de viajes), distribución del viaje, partición modal y asignación. Así también, modelos de integración de transporte-uso de suelo. Dependiendo del nivel del detalle, los modelos se pueden caracterizar como agregados o desagregados.

Así se tienen los modelos agregados que trabajan sobre una base zonal, típicamente llamada la Zona de Análisis del Transporte (TAZ [*Transport Analysis Zone*]), en la cual los datos, tales como número de hogares y sus características económicas, se agregan o se resumen según ciertos criterios.

Tales modelos son usados para la generación, distribución, partición modal y asignación de viajes en el tradicional cuatro pasos del Modelo del Sistema de Transporte Urbano (UTMS [*Urban Transport Model System*]).

El proceso de modelación de transporte se aprovecha de los datos agregados en el TAZ para estimar la demanda de viajes y hacer predicciones de flujos de tráfico en la red urbana de transporte. Este procedimiento se plantea generalmente como modelo secuencial, el cual se compone de cuatro pasos distintos: generación, distribución, partición y asignación de viajes. Cada uno de los pasos mencionados serán definidos a continuación.

Figura 3. Cuatro pasos del proceso del UTMS (Meyer y Miller, 1984)



a) GENERACIÓN DE VIAJES: estima el número total de viajes que se producen (el origen) o atraen (el destino) por cada TAZ. Generalmente, la cantidad de producción para cada una de las zonas es alguna función determinada por variables de hogares y características demográficas, mientras la cantidad de atracción se preocupa por las actividades variables económicas de la zona específica; **la regresión lineal** y el **análisis por categoría** (clasificación cruzada) son los dos modelos básicos utilizados en esta fase. El análisis de la regresión lineal asume que el número de viajes se relaciona linealmente a las variables explicativas, y usa los datos empíricos para predecir la mejor combinación de estas variables. La base para el análisis por categoría son los hogares o individuos; estos son exclusivamente clasificados según las

categorías como el tamaño del hogar, estructura de edad, propiedad del automóvil e ingreso.

La tasa de generación de viaje es calculada para cada categoría, y el número total de viajes generado por cada zona se estima sumando los viajes de todas las categorías. Se usan tres tipos de información en los modelos de generación de viaje: el uso de suelo, la intensidad de uso de suelo y las características socioeconómicas. Estas variables explicativas pueden ocasionar resultados erróneos, ya que por cada tipo de viaje es necesario determinar las variables adecuadas, debido a que estas difieren según los motivos de viajes analizados.

b) DISTRIBUCIÓN DE VIAJES: estima cuántos viajes van de cada zona al resto de las zonas. En esta fase, las uniones entre los orígenes y destinos son determinadas, basándose en alguna medida del atractivo de los destinos y el costo de llegar allí. Los tres tipos más populares de modelos para la distribución del viaje son: los **modelos de la gravedad**, los **modelos de la oportunidad** que intervienen y los **modelos de entropía**. Los modelos de la gravedad asumen que el número de viajes de la zona i a j (interacción) está relacionado positivamente con el número de los viajes que salen de la zona i (origen) y con las cualidades de atracción de la zona j (destino), pero se relacionan inversamente con la distancia o el tiempo del recorrido entre las dos zonas. La medida de factor de distancia podría ser la distancia física, el tiempo de viaje o el costo de viaje. Los modelos de la oportunidad intermedios se derivan de los modelos de gravedad.

El cálculo de distribución de viaje en estos modelos se basa en la idea de que quien realiza el viaje deja un origen particular y considerará cada posible oportunidad secuencialmente, empezando por el más cercano.

La probabilidad de parar en la zona más cercana resulta proporcional al número de oportunidades en el lugar; además, la medida de la probabilidad depende del número de oportunidades de una zona, y de la probabilidad de que el viaje no pare en el destino anterior. Los modelos de la entropía (también conocidos como la teoría de información mínima) se aplican en una situación en la que la disponibilidad de datos es escasa.

El propósito de los modelos es maximizar la entropía, con unas ciertas restricciones. La información ya disponible en las características de la distribución del viaje (longitud del viaje, número de viajes generados hacia cada destino) es apremiante.

c) LA PARTICIÓN MODAL: trata el problema sobre cómo los diversos viajes serán hechos (modos de transporte utilizados). Los movimientos de origen-destinación son partidos por modo, y la proporción de viajes por cada modo se predice.

Los factores importantes que influyen en la selección de modo son el tiempo y los costes del recorrido, a través de los cuales se utilizan las curvas de desviación y los **modelos de elección**. Estos modelos de elección estiman la probabilidad de seleccionar un modo particular del recorrido. Los **modelos binomiales o multinomial** del *logit3* son comúnmente usados.

d) LA ASIGNACIÓN DE VIAJES: la tarea de la «asignación» del tráfico es predecir los flujos a lo largo de redes de transporte de los orígenes y destinos, para cada modo de viaje. El cálculo del volumen total de viaje para cada enlace de la red se basa en la agregación de rutas que atraviesan dicho

enlace, así que la capacidad requerida de la red existente o prevista puede ser predicha.

La estrategia más simple para la asignación del viaje es la consideración de todos los viajes a lo largo de la red por el camino más corto entre el origen y el destino. Otras dos estrategias están disponibles: el acercamiento incremental de la asignación y la asignación multidireccional. Ambas estrategias se basan en el primer principio de Wardrop⁴ del equilibrio de la red.

e) LOS MODELOS DESAGREGADOS: los modelos de demanda desagregados encuentran su fundamento teórico en la microeconomía de las elecciones discretas y en la teoría de la utilidad aleatoria. Esta última representa la herramienta estadística que permite abordar en forma empírica el problema de modelización de la demanda en un contexto de elecciones discretas. De esta forma, la utilidad del consumidor está representada por una variable aleatoria que se incorpora aditivamente en una parte observable y otra no observable de naturaleza «estocástica». Las distintas hipótesis acerca de la distribución del término «estocástico» darán lugar a los distintos modelos de elección discreta.

Están contruidos sobre la base de las actividades de los hogares e individuos que son las unidades en donde se realizan las decisiones significantes en comparación con las unidades zonales espaciales arbitrarias. Para la modelación del comportamiento de los viajes, ha habido generalmente dos paradigmas. El primero es la elección -orientada, modelos probabilísticos altamente divididos en segmentos, del comportamiento dados en los años 1970s y cerca de los 1980s , que han sido aplicados en la elección del modo, elección del destino y elección de la ruta. El logit Multinomial (MNL) y los modelos del logit jerárquicos han sido los tipos más influyentes en la elección de modelos.

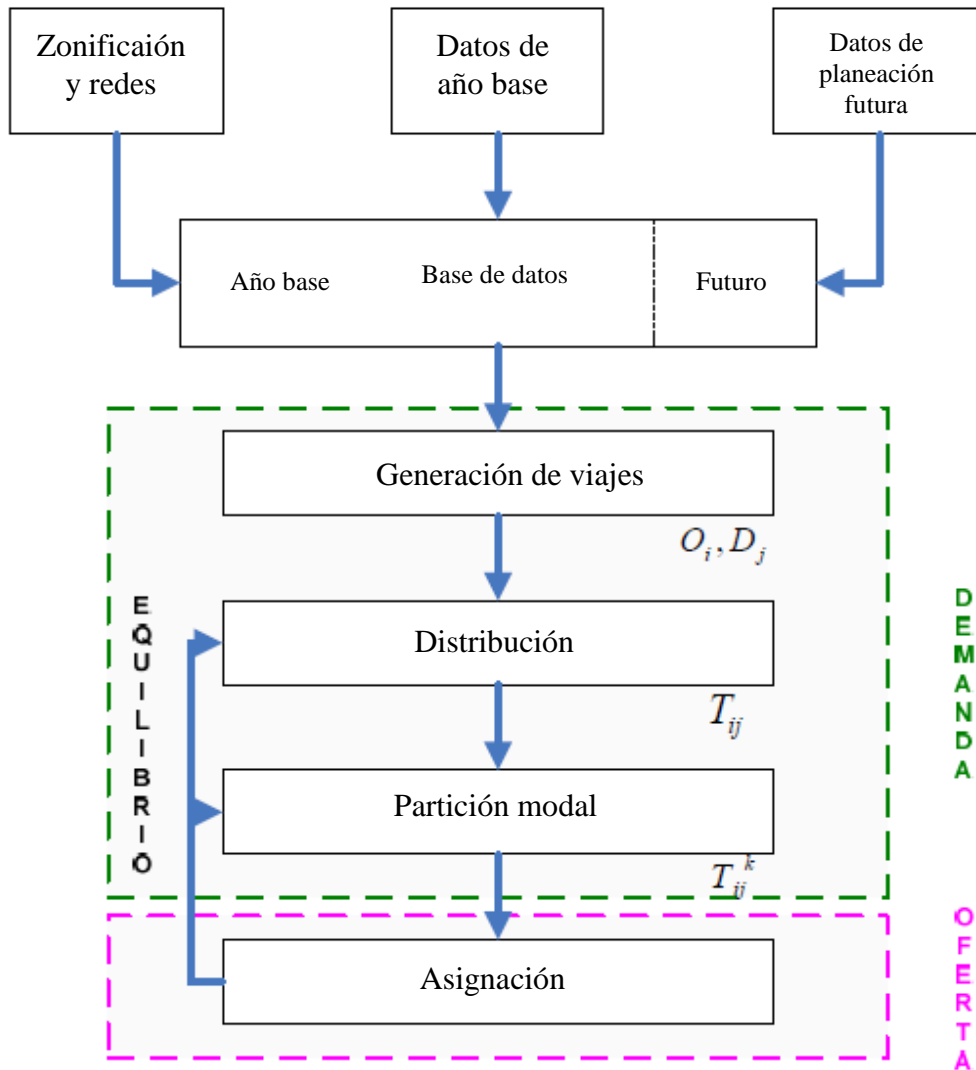
En el segundo paradigma se incluyen los modelos basados en la actividad, acercamientos que enfocan en el patrón de viaje por hogar y requieren los datos de actividad más detallados (Huang Z., 2003).

Los modelos desagregados se pusieron de moda en los años ochenta y ofrecen una serie de ventajas sobre los modelos agregados, además de que se ha simplificado su aplicación en muchos estudios. Sin embargo, un problema muy importante en la práctica es que se requiere personal muy calificado en las disciplinas de estadística y econometría. Según la experiencia del *US - Department of Transportation*, los modelos desagregados tienen ciertas ventajas: menos datos requeridos para su calibración; transferibilidad a situaciones diferentes (análisis regionales, otras ciudades, etcétera); mayor posibilidad para formular modelos no lineales, son más explícitos en el mecanismo que genera los viajes (poder explicativo) y presentan mayor facilidad para actualizarlos.

Sin embargo, también son evidentes algunas deficiencias: dependen más de datos que únicamente son asequibles por encuesta directa; son más laboriosos y pueden representar una contradicción en relación con el supuesto de que, dentro de la zona, el uso del suelo es homogéneo; además, el pronóstico de sus variables puede ser bastante más difícil que en el caso de variables agregadas.

Siguiendo esta línea de desarrollo, en la definición del modelo se han propuesto todas aquellas innovaciones técnicas que parecen razonables a los objetivos de la metodología, aún aceptando que la mayor sofisticación conceptual pueda conducir a requerimientos adicionales en su aplicación, ya sean éstos de orden técnico, presupuestario y/o temporales.

Figura 4. Modelo secuencial



Fuente: Modelling Transport – Ortuzar (clases) and Willumsen (pág. 23)

La Figura 4, muestra un esquema general del modelo secuencial y sus diferentes etapas. El modelo de Generación determina, a base de la información socioeconómica y de población, los viajes producidos (O_i) y los viajes atraídos (D_j) por cada una de las zonas de análisis en que se divide el área de estudio. El modelo de Distribución construye una matriz de viajes (T_{ij}) entre parejas origen-destino de zonas. El modelo de Partición Modal, divide los viajes entre los distintos modos de transporte disponibles (T_{ij}^k).

2. LOS MODELOS DE GENERACIÓN DE VIAJES

En esta fase se desea modelar el comportamiento de los usuarios en relación con la decisión de realizar un viaje. En otras palabras, se tratará de identificar los factores que motivan a los usuarios del sistema de transporte a salir de una zona, teniendo como destino cualquier otra de las zonas (esto se conocería como la producción del viaje) o arribar a una zona en particular teniendo como origen cualquiera de las zonas (esto sería la atracción del viaje), dentro del área de estudio.

Lo anterior da lugar al uso de dos modelos de **generación de viajes: de producción y de atracción**. Además, como ya se mencionó, existen dos enfoques en la construcción de modelos de generación de viajes: los agregados y los desagregados. Los primeros tienen como unidad de trabajo la zona; los segundos, el hogar-personas. Los modelos agregados tratan de relacionar el total de viajes generados en cada zona con las variables zonales (población total en la zona, cantidad total de vehículos en la zona, etc.). Los modelos desagregados tratan de encontrar la relación entre los viajes generados en los domicilios con las características de los mismos (cantidad de personas en el domicilio, cantidad de vehículos en el domicilio, etc.).

2.1. La generación de viajes y el propósito de viajes

La práctica ha demostrado que los mejores pronósticos de los viajes se obtienen si por diversos propósitos, los mismos se identifican y modelan por separado.

Los propósitos más comunes son:

HB: Viajes basados en el hogar (*Home-Based*), y

NHB: Viajes no basados en el hogar (*Non-Home Based*).

Los viajes del tipo HB normalmente se separan en cinco categorías y los viajes del tipo NBH normalmente no se separan ya que sólo logran alcanzar el 15-20% de los viajes:

Tabla I. Motivos de viajes basados en el hogar y simbología

HB	HBT		Por motivo de trabajo
	HBC		Por motivo de compras
	HBE	HBWN	Por motivo de estudio
	HBS	o	Por motivo social
	HBR	HBO	Por motivo recreacional
	HBO		Otros propósitos

HB: Home Based (Viajes basados en el hogar)

HBT: Viajes basados en el hogar por motivos de trabajo

HBC: Viajes basados en el hogar por motivos de compras

HBE: Viajes basados en el hogar por motivos de estudio

HBS: Viajes basados en el hogar por motivos sociales

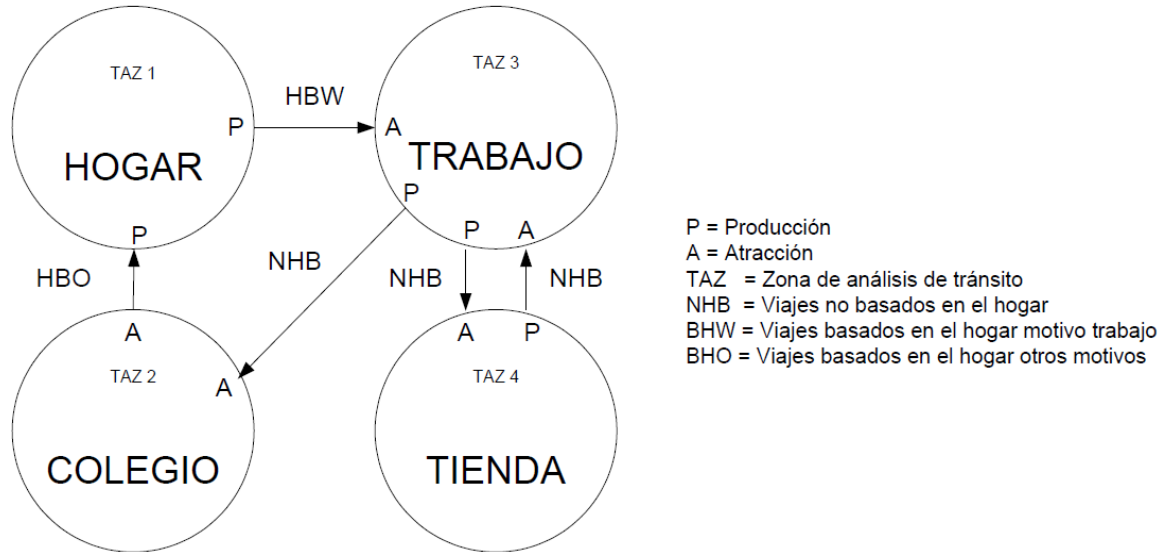
HBR: Viajes basados en el hogar por motivos recreacionales

HBO: Viajes basados en el hogar por otros propósitos

HBWN: Viajes basados en el hogar por motivos diferentes al trabajo.

A continuación, se presenta un esquema para poder definir dos conceptos básicos: producción y atracción; además de esclarecer la manera en que se agrupan según el motivo los viajes. De esta manera se tratará de conseguir un mejor análisis de estos.

Figura 5. Esquema de viajes según motivo



TAZ	HBO		HBW		NHB	
	A	P	A	P	A	P
1	1		1			
2		1				1
3				1	2	1
4					1	1
Total	1	1	1	1	3	3

Entre las variables más usadas en los modelos de generación de viajes se tienen:

- Para **modelos agregados**, con ORIGEN EN EL HOGAR:
 - Ingreso promedio por hogar, de los hogares asentados en la zona.
 - Población o densidad de población de cada zona.
 - Cantidad promedio de vehículos por hogar.
 - Localización de cada zona (puede ser su distancia al centro o la distancia ponderada a los centros).
 - Tipificación o categorías de individuos u hogares, según estrato socioeconómico.

- Para **modelos agregados**, con ORIGEN DISTINTO AL HOGAR:
 - Cantidad de empleados por categoría de empleo, por tipo de uso del suelo y por zona.
 - La matrícula escolar por zona
 - La cantidad de servicios por zona

Para **modelos agregados**, también se tienen los GENERADORES ESPECIALES, por ejemplo: centros comerciales, aeropuertos, terminales, etc., que se tratan casuísticamente, esto es, de manera especial en cada caso. Para modelos desagregados se usan las mismas clases de variables; sin embargo, estas se encuentran únicamente adecuadas al hogar o a la fuente de empleo.

2.2. Variables que explican la generación de viajes

a) Uso del suelo

El uso del suelo puede ser determinado y pronosticado con facilidad y aceptable precisión. Dentro de esta variable se pueden distinguir tres atributos que influyen en la generación de viajes: tipo, intensidad y ubicación.

Tipo: los diferentes tipos de usos del suelo tienen distintas características de generación, y por eso es importante distinguirlos. Por otro lado, los tipos de usos del suelo (dentro de la clasificación más habitual) suelen ser: residencial, comercial, industrial, educacional y de esparcimiento. El uso del suelo residencial produce más viajes que los otros usos, mientras que los restantes usos son, en general, mayores atractores de viajes que productores.

Intensidad: la intensidad del uso del suelo expresa el nivel de actividad que caracteriza una determinada zona y usualmente se expresa en términos de cantidad o de densidad (por ejemplo, el número total de viviendas en la zona o empleos por unidad de superficie). La intensidad de uso del suelo tiene una marcada influencia en el número y el tipo de viajes que genera una determinada zona.

Ubicación: la ubicación de las actividades se refiere a la distribución espacial de los usos del suelo y de las actividades dentro del área de estudio. Las modalidades de viaje de habitantes de un barrio de alta densidad, pero rodeado por zonas de baja densidad y alejado del centro de una urbe, son distintas de las que tendría si ese mismo barrio estuviera próximo al centro del área de estudio. El cuadro que sigue resume lo expresado:

Tabla II. Variables explicativas por uso de suelo

TIPO DE USO DEL SUELO	TIPO DE ACTIVIDAD	MEDIDA DE LA INTENSIDAD
Residencial	Residencial	Superficie del suelo residencial Unidades habitacionales Unidades habitacionales por unidad de superficie Densidad de población Población total
Industrial - Comercial	Industria manufacturera Servicios Comercio mayorista Comercio minorista Oficinas	Empleos totales Empleos clasificados por tipo Empleos por unidad de superficie Área de suelo ocupada
Educación	Universidad Secundaria Primaria	Matrícula
Esparcimiento	A determinar	No. De elemntos Apropiados (capacidad, butacas, amarras, etc.)

b) Características socioeconómicas

Las características socioeconómicas que influyen en la generación de viajes están referidos a los hogares y son las siguientes: ingreso familiar, tamaño del hogar, posesión de automóvil, tipo de vivienda y actividad de los integrantes del hogar.

Ingreso familiar: esta característica es una de las más importantes en la determinación de la cantidad de viajes por hogar o por individuo, y la modalidad de los mismos. A mayor ingreso, mayor número de viajes por unidad de tiempo, y mayor cantidad de viajes en automóvil.

El tamaño familiar (número de integrantes del hogar): influye positivamente en la generación de viajes. En otras palabras, la frecuencia de viajes por hogar, aumenta con el tamaño del mismo.

La posesión de automóvil: está directamente relacionada con el nivel de ingreso familiar y con el tamaño del hogar. En general, una familia de menor grado de motorización genera menor frecuencia de viajes. La generación de viajes varía según el tipo de vivienda. Las viviendas unifamiliares en terrenos únicos generan más viajes por integrante que las viviendas unifamiliares en terrenos compartidos; éstas a su vez generan más viajes que las viviendas en edificios de departamentos. Esta variable no es habitualmente utilizada en estudios a nivel de áreas urbanas, sino en la determinación de la generación de viajes de desarrollos urbanos específicos, tales como grandes edificios, barrios cerrados, entre otros.

La actividad de los residentes: influye en la generación de viajes. La principal influencia la tiene la ocupación del jefe de familia, ya que determina el

nivel de ingreso del grupo familiar. A mayor número de personas ocupadas por hogar, mayor cantidad de viajes generados.

c) Sistema de transporte

El tipo, la disponibilidad y la calidad de las facilidades de transporte disponibles en el área determinan la variable denominada accesibilidad. A mayor accesibilidad mayor cantidad de viajes realizados. La accesibilidad se define de la siguiente manera:

$$Acs_i = \sum_{j=1}^n (A_j * F_{ij})$$

Siendo:

Acs_i = Accesibilidad de la zona i.

A_j = Viajes atraídos por la zona j. Se adoptan las atracciones como ponderación de la importancia relativa de cada zona.

F_{ij} = Factor de impedancia entre la zona i y la zona j, a mayor factor, mayor accesibilidad.

n = número de zonas.

2.3. Proceso para la obtención del modelo de generación de viajes

Para obtener el modelo de generación de viajes, se propone el siguiente proceso resumido, que puede ser iterativo.

1) Definir las variables que, desde el punto de vista técnico, se piensa que pueden explicar potencialmente el fenómeno en cuestión. Además, debe procurarse que tales variables sean congruentes con los postulados teóricos de

los restantes modelos y sus resultados. Especial atención debe ponerse en que las variables seleccionadas se agreguen al modelo si cumplen tres condiciones como mínimo:

- a) que sean las que más contribuyen a la significancia global del modelo;
- b) que se tenga el menor esfuerzo para su correcto pronóstico;
- c) que las variables nos den el mayor grado de precisión en tales pronósticos.

2) Ensayar diferentes modelos, esto es, estructuras matemáticas o conjunto de ellas. En particular, deberán plantearse relaciones lineales y no lineales y diferentes métodos de combinaciones entre ellas. Además, es posible que sea necesario hacer agregaciones de la información o incluso usar otras fuentes de información. En el primer caso, se sumarían los datos de varias zonas para crear datos para una sola zona, o se cambiaría la zonificación, si lo permite la información disponible; esto permitiría probar una mayor cantidad de estructuras matemáticas, a un menor costo; una vez probada la estructura matemática más confiable, se probaría nuevamente a nivel de las zonas evaluadas. En el segundo caso, la búsqueda de fuentes alternativas de información puede resultar conveniente cuando haya motivos para pensar que determinada estructura matemática respondería (esto es, calibraría) mejor a información más confiable.

3) Seleccionar aquel modelo que tenga las mejores características de confiabilidad estadística, en los términos señalados anteriormente.

4) Verificar la validez de los resultados del modelo, tanto en relación con los datos de partida, como en relación con otras fuentes. También es del todo conveniente aplicar el modelo construido a una muestra reducida, de zonas de las que se tengan estimaciones actuales de los volúmenes de viajes generados.

5) El pronóstico de las variables exógenas consiste en que, una vez calibrado, validado y aceptado un modelo, se procederá a "explotarlo". Para llevar a cabo esta tarea, es necesario realizar un pronóstico de las variables involucradas en el modelo seleccionado. Además, en forma paralela al proceso de construcción del modelo, habrá que desarrollar un pronóstico de la estructura urbana, por preliminar que sea, de tal suerte que sirva de base para el pronóstico en el tiempo y el espacio de las variables exógenas mismas.

6) Aplicar el modelo calibrado y validado, esto es, suministrarle las variables exógenas para calcular los viajes futuros. Esto puede hacerse considerando tendencias distintas en las variables exógenas, por ejemplo: podría calcularse la generación de viajes que tendría lugar bajo tendencias pesimistas: máximas tasas de crecimiento de la población, desequilibrios en la economía regional o nacional (reflejados en el nivel de ingreso familiar y el empleo). Entonces, la generación de viajes pronosticada respondería al «escenario» de planeación seleccionado. A priori, se aconseja tener sólo tres tipos de escenario: tendencia baja, alta e intermedia; o pesimista, optimista y normal, respectivamente.

7) Revisar los pronósticos realizados en la generación de viajes, en especial referencia a ciertos indicadores demográficos (como el caso de la población), urbanísticos (como el caso de la densidad de viajes y la densidad vehicular asociada a ella) o económicos (como podría ser la cantidad de recursos necesarios para el transporte) (Islas R. 2004).

2.4. Modelos de generación de viajes

2.4.1. Modelo de tasa de generación

Este método se basa en la relación que se observa entre la generación de viajes, detectada en las encuestas de origen y destino, y la información obtenida de los relevamientos de uso del suelo. Para cada una de las zonas del área de estudio se determinan las superficies abarcadas de acuerdo con el tipo de uso del suelo, y se cuantifican los extremos de viajes que les corresponden (cantidad de viajes originados y destinados a cada zona). El siguiente cuadro ilustra el procedimiento:

Tabla III. Modelos de tasa de generación

Zona 021			
Tipo de uso de suelo	Relevamiento del uso de suelo Ha.	Censo O-D (extremos de los viajes)	Tasa de generación de viajes/Ha.
Residencial	500	4000	8
Industrial	100	3000	30
Comercial	50	2000	40

Las tasas son de producción y atracción de viajes, por lo que este método abarca ambos pasos del proceso. La estimación de la generación futura se realiza determinando la evolución de las áreas para cada tipo de uso del suelo. De esa manera, si se estima que el área residencial crecerá a 1,000 Ha., la generación futura de viajes de la zona causada por el uso del suelo residencial será de 8.000 viajes (1.000 Ha. x 8 viajes / ha.). De la misma forma se procede con los restantes usos del suelo.

La simpleza de este método hace que sea rápido y económico de aplicar, pero no toma en cuenta otras variables explicativas como el ingreso, el tamaño

del hogar y la motorización, lo que lo hace poco preciso. Su utilidad está en la actualización a bajo costo de estudios anteriores.

2.4.2. Modelo del Factor de Crecimiento

Este es también un método expeditivo y poco preciso, generalmente utilizado en la actualización y proyección de viajes estimados de estudios anteriores. La expresión básica de este modelo es la siguiente:

$$T_i = F_i \cdot t_i$$

Donde:

T_i = viajes futuros de la zona i

t_i = viajes actuales de la zona i

F_i = factor de crecimiento

El factor de crecimiento habitualmente se determina a partir de la evolución estimada de las variables socioeconómicas que explican los viajes. Una expresión del factor de crecimiento puede ser la siguiente:

$$F_i = \frac{P_i^n \cdot I_i^n \cdot M_i^n}{P_i^o \cdot I_i^o \cdot M_i^o}$$

Donde:

P_i = la población

I_i = el ingreso promedio familiar

M_i = la motorización (autos/hogar) de la zona i

El superíndice 0 corresponde al año base y el superíndice n al año futuro.

2.4.3. Método de Regresión Lineal Múltiple

El método de regresión lineal múltiple es un procedimiento estadístico en el que se establece una relación lineal entre una variable dependiente y varias variables independientes o explicativas, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$T = k + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n$$

Donde: T es la variable dependiente (en este caso los viajes producidos o atraídos por una zona), X_1 a X_n son las variables independientes, b_1 a b_n son los coeficientes de la regresión lineal, y k es el término independiente que representa la parte de la variable dependiente no explicada por las variables independientes. Las variables independientes a considerar deberán ser seleccionadas de acuerdo con su disponibilidad y facilidad de proyección. En general son variables que representan las características socioeconómicas de cada zona, tales como:

Producción y atracción de viajes basados en el hogar

- Población
- Población mayor de 5 años
- Número de hogares
- Número de personas empleadas
- Número de automóviles
- Población estudiantil
- Área de suelo residencial

- Distancia al área central

Producción y atracción de viajes no basados en el hogar

- Empleos industriales
- Empleos en servicios
- Empleos en comercio minorista
- Empleos públicos, otros empleos, empleos totales y/o matrícula estudiantil
- Área de suelo industrial
- Área de suelo de servicios
- Área de suelo comercio minorista
- Número de hogares

2.4.4. Método de clasificación cruzada o análisis de categorías

a) Producciones el método de clasificación cruzada, para la determinación de la producción de viajes, se basa en la estratificación de n variables independientes en dos o más grupos, creando una matriz n -dimensional que contienen los valores de la variable dependiente (en este caso las tasas de producción de viajes por propósito y por hogar). Los valores de la variable dependiente son los promedios calculados a partir de los datos aportados por la encuesta domiciliaria de O-D. Las variables independientes se eligen de manera tal que se minimizan las desviaciones estándar de las tasas calculadas. Las variables independientes habitualmente utilizadas son: tamaño del hogar, tenencia de automóvil, ingreso familiar, grado de accesibilidad, nivel socioeconómico

El procedimiento seguido es el siguiente:

1. Se clasifican los hogares encuestados según la estratificación seleccionada, por ejemplo, por estrato socioeconómico y tamaño familiar. De esta manera, se construye una matriz como la que sigue:

Tabla IV. Matriz de estratificación socioeconómica y tamaño familiar

Tamaño Familiar	Nivel socioeconómico NSE del hogar		
	1	2	3
2			
3		NH _{ij}	
4			
5 o más			

NH_{ij} : Número de hogares del tamaño familiar tipo 3 y nivel socio económico 2.

En cada celda se contabiliza el número de hogares, según las características determinadas por los subíndices que le corresponda.

2. Se determinan los viajes encuestados de acuerdo con la misma estratificación anterior; además, se tiene en cuenta el propósito de viaje:

Tabla V. Matriz de estratificación socioeconómica y propósito de viaje

Tamaño del Hogar	NSE del hogar											
	1				2				3			
	HBT	HBE	HBO	NHB	HBT	HBE	HBO	NHB	HBT	HBE	HBO	NHB
2												
3						V _{ijk}						
4												
5 o más												

V_{ijk} = Número de viajes con características siguientes: tamaño de hogar tipo 3 y

En cada celda se contabiliza el número de viajes según características determinadas por los subíndices que le corresponda.

3. Se construye una matriz como la que sigue:

Tabla VI. Matriz final tasa de generación de viajes y estratificación socioeconómica

Tamaño del Hogar	NSE del hogar											
	1				2				3			
	HBT	HBE	HBO	NHB	HBT	HBE	HBO	NHB	HBT	HBE	HBO	NHB
2												
3						T_{ijk}						
4												
5 o más												

Donde:

$$T_{ijk} = \frac{V_{ijk}}{NH_{ij}}$$

T_{ijk} = Tasa de producción de viajes de hogares de nivel socioeconómico i, tamaño j y con propósito k

V_{ijk} = Número de viajes de hogares de nivel socioeconómico i, tamaño j y con propósito k

NH_{ij} = Número de hogares de nivel socioeconómico i y tamaño j.

Este método supone que las tasas de producción de viajes, determinadas para cada una de las categorías definidas por los estratos de las variables independientes, permanecen invariables en el tiempo.

b) Atracciones: mediante el método de clasificación cruzada se calculan las producciones. Para calcular las atracciones, se utiliza el método de

regresión lineal simple o múltiple, ya explicado. Las ecuaciones que se plantean son las siguientes:

Atracciones BHT = f(empleos comercio minorista, otros empleos)

Atracciones BHE = f(matrículas de Estudiantes)

Atracciones BHC = f(hogares, empleos comercio minorista, otros empleos)

Atracciones BHO = f(hogares, empleos comercio minorista, otros empleos)

Atracciones NBH = f(hogares, empleos comercio minorista, otros empleos)

c) Determinación de los viajes de producción y atracción futuros

Este proceso inicia, proyectando las variables independientes utilizadas en el modelo, para cada una de las zonas, tales como población, accesibilidad, número de hogares por nivel socioeconómico y motorización, empleos, matrículas, entre otras. Después se calculan las producciones y atracciones por zona y motivo, aplicando las ecuaciones o tasas según el método elegido. Luego, se debe balancear producciones y atracciones por propósito, ya que al haber sido calculadas con distintos procedimientos, generalmente no coincidirán. Se debe cumplir que:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ik} = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ik}$$

Donde:

m = número de propósitos

n = número de zonas

P_{ik} = producciones de la zona i con propósito k

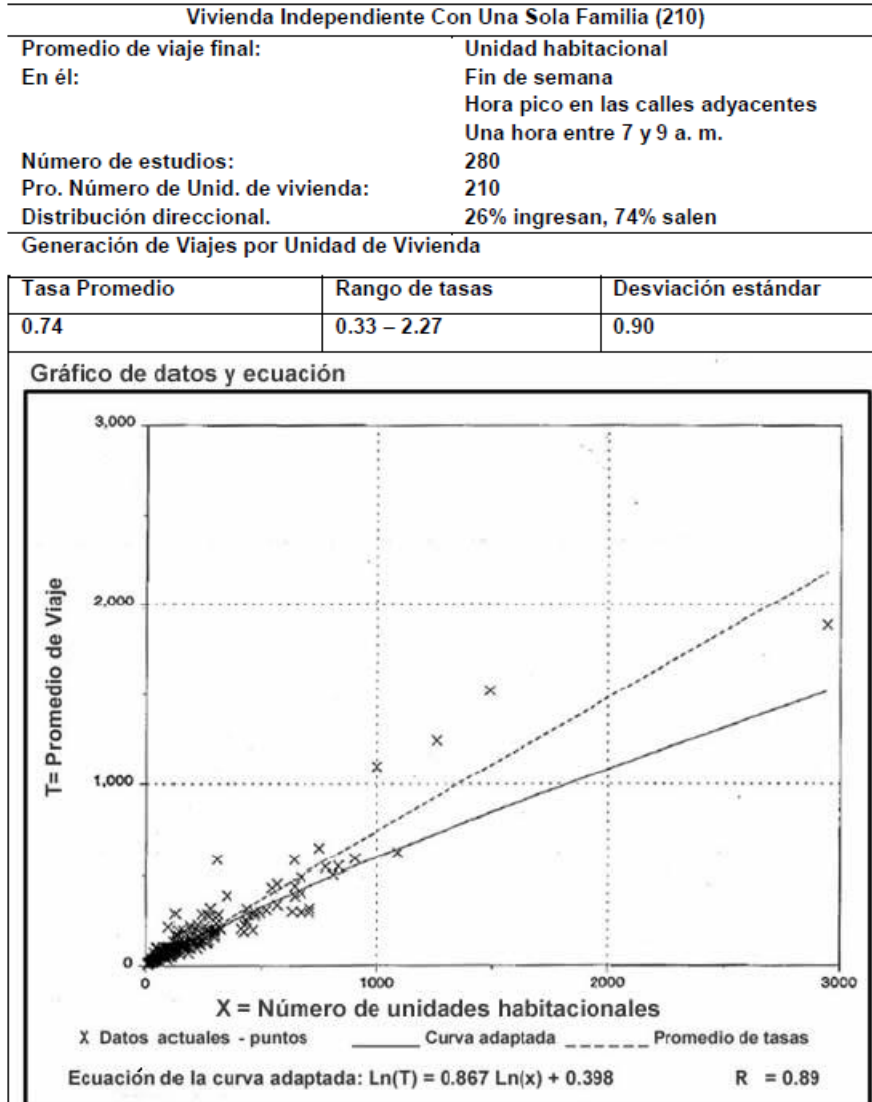
A_{ik} = atracciones de la zona i con propósito k

El balanceo se realiza prorrateando las diferencias entre las atracciones, ya que, por lo general, estas son determinadas con modelos de menor precisión que las producciones. Las producciones se determinan a partir de información primaria proveniente de las encuestas domiciliarias, mientras que las atracciones son ecuaciones de regresión ajustadas con información secundaria (censos de población, censos económicos, encuestas permanentes de hogares, etc.).

2.4.5. Método de tasas de generación de viajes del *Institute of Transportation Engineers* - ITE

El ITE (*Institute of Transportation Engineers*) presenta procedimientos para la determinación de las tasas y modelos de generación de viajes. El Trip Generation (User`s Guide) del ITE fue desarrollado para estimar el número de viajes que pueden ser generados por diferentes tipos de usos del suelo. Dentro de ellos están: puertos, aeropuertos, terminales de cargas, de autobús y trenes, áreas industriales, áreas residenciales, de hoteles, recreacionales, institucionales, hospitalarias o de clínicas y de oficinas. En este procedimiento, tasas y ecuaciones de generación de viajes fueron desarrolladas para los horarios de pico de los días laborables, sábado y domingo. Las tasas son las medias ponderadas de estudios conducidos en los EUA y Canadá desde 1960, de ubicaciones suburbanas con poco o ningún servicio de transporte público. Por lo tanto, se debe tener en mente que tales procedimientos fueron elaborados de acuerdo con la realidad americana, así, el usuario puede desear modificar las tasas de generación presentadas en la guía, para reflejar con más confiabilidad el sistema real, como por ejemplo, en cuanto a la existencia de servicios de transporte público, actividades de peatones y medidas de Gerencia y Moderación del Tráfico (Red PGV's, 2007). En el siguiente gráfico se muestra, a manera de ejemplo, una actividad con sus valores de tasas de generación.

Figura 6. Tasas de generación para viviendas de una sola familia - ITE



En la figura 6 se muestra una gráfica de tasa de generación para viviendas, en donde el eje de las abscisas refleja el número de viviendas y el eje de las ordenadas el promedio de viajes realizados. Es decir que para un número de viviendas de 2000, se tiene según la ecuación de la curva adaptada, un valor promedio de viajes igual a 1,083.

3. LAS ACTIVIDADES URBANAS COMO GENERADORAS DE VIAJES

Es conveniente analizar las actividades urbanas desde el punto de vista de sus características generadoras de viajes y su vinculación con el sistema de movilidad. En tal sentido, se desarrollarán conceptos propios de las ciencias involucradas en el desarrollo urbano y del transporte, y se diferenciarán conceptos para desarrollar metódica y claramente cada una de las variables que involucran las actividades urbanas como generadoras de viajes. Por último, se introduce el concepto de **polos generadores de viajes** (PGV), también conocidos como polos generadores de tránsito; su clasificación, así como las medidas de mitigación a la congestión producida por estos polos generadores de viajes.

3.1. La movilidad y la estructura urbana

La movilidad guarda una estrecha relación con la estructura urbana y la organización funcional del territorio sobre el que se desplazan. De la distribución de las actividades que se dé en una ciudad, dependerán en buena medida, las pautas de movilidad de sus habitantes. Asimismo, los sistemas de transporte implantados en una ciudad contribuirán a configurar la estructura urbana de esta. De modo que, entre ambas variables, se establece una estrecha relación que, lejos de desarrollarse en una sola dirección siguiendo un esquema de causa-efecto, se realiza en ambas direcciones. Sin embargo, a pesar del progreso alcanzado durante las últimas décadas en la investigación urbana, la relación entre transformación urbana y movilidad no se ha tomado en cuenta. Ambos aspectos han sido estudiados y analizados de forma sectorial, lo que ha comportado, a su vez, el desarrollo de políticas públicas y de una planificación (también sectorial) que no han logrado resolver los problemas que

pretendían. La interacción entre ambas dimensiones de la ciudad impone la necesidad de plantear la relación entre territorio urbano y movilidad, como el punto de partida de una aproximación que sea transversal y que se sustente en el carácter de relación mutua que existe entre la movilidad y el territorio urbano.

Para iniciar esta reflexión, se realizará, en primer lugar, un recorrido por los principales conceptos usados cotidianamente en el denominado campo de la movilidad. En el lenguaje cotidiano son usados de forma común, y muchas veces como sinónimos, términos como tránsito, transporte y movilidad e incluso accesibilidad.

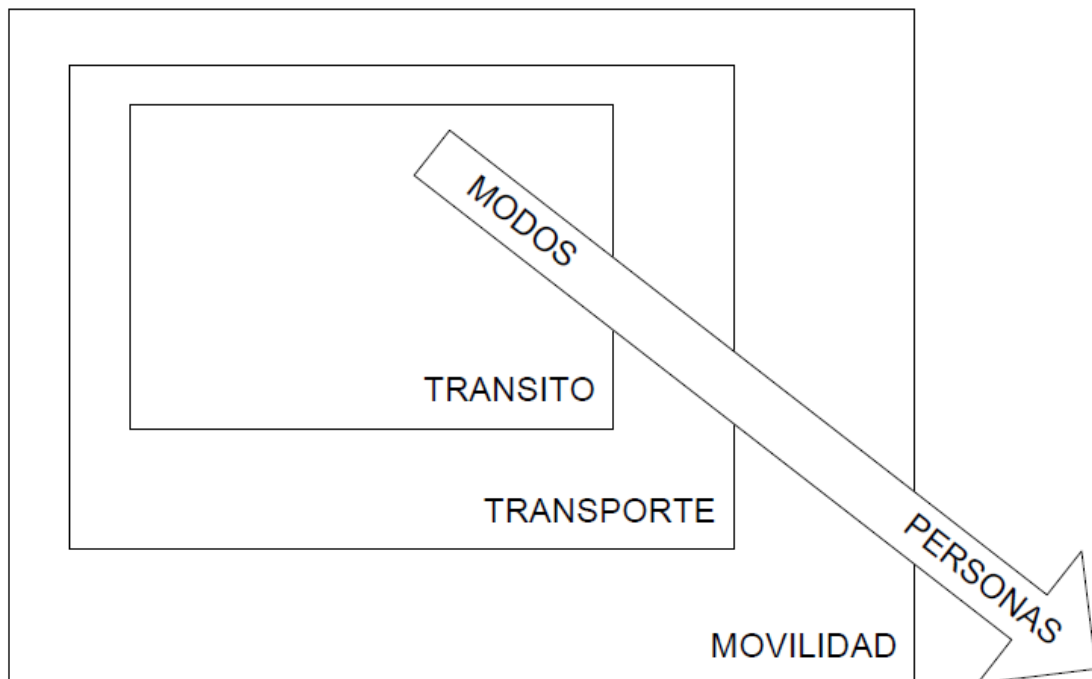
Efectivamente, la comprensión de la dinámica de los desplazamientos de los ciudadanos ha significado un cambio en los términos utilizados para analizar el objeto de estudio. La sustitución de un término o de un concepto por otro, se ha producido en el momento en que se ha comprendido que en el análisis de los desplazamientos debía incorporarse nuevos objetos de análisis, en el momento en el que se ha comprendido que dicho objeto debía ampliarse. Asimismo, esta ampliación del objeto de estudio, también ha ido acompañada de un cambio radical del sujeto de análisis.

La diferencia esencial entre tránsito, transporte y movilidad está en el objeto de estudio. De esta manera, se hace referencia al tránsito cuando el objetivo principal es el automóvil, y el problema reside en adecuar el espacio a los requerimientos de este nuevo elemento. El objeto de preocupación ha sido, entonces, la circulación y el estacionamiento (únicamente de este medio de transporte).

Sin embargo, el análisis todavía no es completo si no se incorpora al conjunto de personas y, con ellas, a las razones que tienen para moverse y

utilizar un medio de transporte u otro. Será esta nueva incorporación (la de las personas como objeto de estudio) la que permitirá, en esta última fase del recorrido conceptual y terminológico, hablar propiamente de movilidad.

Figura 7. Desde el tránsito a la movilidad



El concepto de movilidad, entonces, supera ampliamente los de tránsito y transporte, en tanto que se preocupa no sólo de los medios de transporte que utilizan los ciudadanos, sino de los motivos que los llevan a moverse. Además, esta noción toma en cuenta las facilidades o las dificultades que tienen las personas para desplazarse, las diferencias de pautas de movilidad existentes entre los diferentes colectivos sociales, la vinculación de esta actividad (el desplazamiento) con el nivel de renta o con el nivel de autonomía personal, entre otros.

3.2. Las actividades urbanas

Thompson (1976) Señala como parte de la teoría económica del transporte, que:

«[...] la localización de actividades viene determinada [...] por los servicios disponibles de transporte.

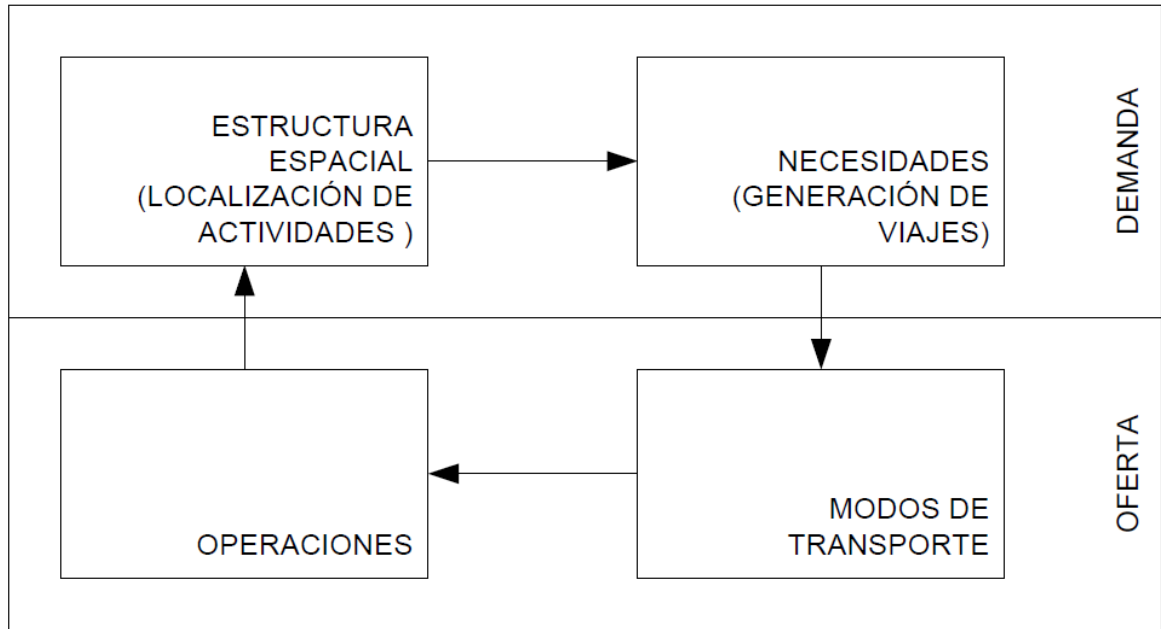
»[...] el transporte se ha convertido en un elemento principal de las teorías acerca de cómo, por un lado, se distribuyen las actividades económicas y, por otro, se desarrollan los valores del suelo».

Cada día se difunde más el concepto de los costos crecientes de transporte como elemento determinante en la localización espacial de las actividades, aun cuando recientemente el desarrollo de los sistemas de comunicación ha incorporado 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 en vías de desarrollo, donde la mayoría de la población no dispone de acceso a estas nuevas tecnologías.

Es claro que la influencia de la estructura urbana sobre el sistema de transporte es fácilmente apreciable, ya que los efectos pueden notarse casi a diario 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 u otro polo generador de viaje; mientras que a la inversa, el impacto que sobre la estructura urbana puede generarse por modificaciones en el sistema de transporte, es más difuso, pues participa una serie de factores concatenados, que hacen más difícil la identificación de la contribución neta del transporte. Además, los horizontes

temporales de los efectos son disímiles, pues los primeros pueden ser casi instantáneos, mientras que los segundos requieren de plazos mayores.

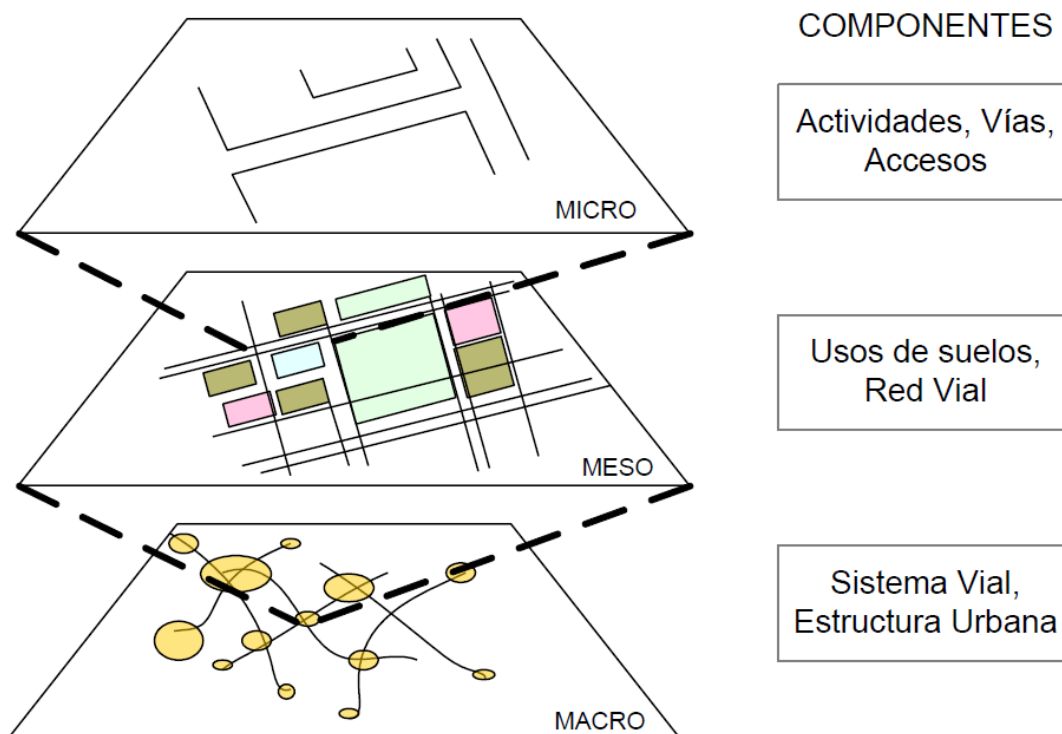
Figura 8. Interacción entre oferta y demanda



Las actividades urbanas y el transporte son temas de particular importancia para la planificación y gestión de la ciudad actualmente, 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 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 esta puede ser mejorada a través de políticas adecuadas de planeamiento urbano”. Así, en diferentes partes del mundo, las políticas de transporte 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.

No se puede dejar de mencionar que existen niveles de análisis para un adecuado entendimiento y toma de decisiones en lo que respecta a las actividades urbanas, partiendo de un análisis estratégico a largo plazo a nivel macro el cual constituye la base directriz. De ella partirán la planificación a nivel meso (teniendo en sus variables las redes de transporte y los usos de suelos que deben enmarcarse de acuerdo con las directrices macro). Este análisis es el campo de acción a nivel institucional y de gobiernos locales; así se cumplen metas más específicas para llegar al nivel micro donde el análisis a detalle es la clave para la operatividad de los cambios y medidas que serán tomadas en el logro efectivo de los objetivos generales, a nivel local y específico, de cada una de las actividades involucradas con sus respectivas características a detalle.

Figura 9. Escala de análisis de las actividades urbanas



3.3. Polos generadores de viajes

Aun cuando el concepto de «Polos Generadores de Viajes – PGV's» (o de Tránsito) es de reciente incorporación en 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, para imponer controles y/o requerimientos adicionales a los encargados de desarrollarlos.

Un Polo Generador de Viajes (PGV) es un desarrollo inmobiliario de gran dimensión que atrae o produce gran número de viajes, causando cambios negativos en la circulación de su entorno inmediato, pudiendo perjudicar la accesibilidad de una zona, o agravar las condiciones de seguridad de los vehículos y peatones.

Otro concepto de un PGV es la edificación permanente o transitoria con concentración de bienes y servicios que generan gran flujo de población con substancial interferencia con el tránsito del entorno, necesitando grandes espacios para estacionamientos, carga/descarga y movimientos de embarque y desembarque. Las principales características en cuanto a transportes de las actividades urbanas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla VII. Características de transporte de los principales polos urbanos

ACTIVIDAD	TIPO DE GENERADOR	VARIABLES EXPLICATIVAS	OTRAS VARIABLES	PATRON HORARIO
Residencial	Productor	No. de viviendas	Características socioeconómicas: Ingresos Prop. Vehicular	Pico concentrado AM
		Población		Pico PM distribuido
		Área de terreno		
		Área de construcción		
Educativa	Atractor	No. de estudiantes	Características operativas:	Pico concentrado AM
		No. de empleos	Horarios, secciones, niveles, actividades extracurriculares	Pico concentrado PM
		No. de aulas		o Pico concentrado al medio día
		No. de espacios complem.	Características constructivas: Distribución de espacios	
		Área de terreno		
Área de construcción				
Asistencial	Atractor	No. de camas	Características operativas:	Pico AM distribuido
		No. de consultorios	Horarios, especialidades, servicios complementarios	Pico PM concentrado
		No. de empleos	Características constructivas: Distribución de espacios	según el horario de funcionamiento de los consultorios
		Área de terreno		
		Área de construcción		
Recreacional (Parques y áreas verdes)	Atractor	Área de terreno	Características operativas:	No presentan picos marcados y regulares en días típicos laborales
			Horarios, servicios complementarios, eventos	
Oficinas	Atractor	No. de empleos	Características operativas:	Pico concentrado AM
		Área de terreno	Horarios, servicios complementarios	Pico concentrado PM (más moderado que AM)
		Área de construcción	Características constructivas: Distribución de espacios	
Industrial	Atractor	No. de empleos	Características operativas:	Pico concentrado AM
		Área de terreno	Horarios de trabajo, tipos de productos manufacturados, horarios de carga	Pico concentrado PM (más moderado que AM)
		Área de construcción	Características constructivas: Distribución de espacios	
Comercial	Atractor	No. de empleos	Características operativas:	Pico AM desplazado del pico diario
		Área de terreno	Horarios, tipos de actividad y locales, otros usos	Pico PM distribuido
		Área de construcción	Características constructivas: Distribución de espacios	
		Área rentable		

En síntesis, los PGV's son actividades urbanas de grandes dimensiones o intensidades significativas que generan un volumen de demanda de viajes, el cual modifica las condiciones de operación de la red vial en su área de influencia y causa un fuerte impacto sobre el sistema de movilidad; en consecuencia afecta el entorno donde se desenvuelven.

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 y transformando el medio urbano. Sin embargo, estos establecimientos también representan una oportunidad para el desarrollo y mejoramiento de las condiciones socioeconómicas del sector donde se ubican, pues generan empleo, renta, 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 o programas sin cargos al presupuesto público. Además, pueden instrumentar mecanismos impositivos que permitan recaudar los recursos necesarios para adelantar mejoras urbanas.

3.3.1. Clasificación de los 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)

- De acuerdo con su naturaleza
 - Estáticos
 - Dinámicos

Dadas las características de los polos generadores y su influencia sobre el entorno, los entes reguladores, tanto del transporte como del desarrollo urbano, si no son los mismos, 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.

Tabla VIII. Polos generadores de viajes y sus características (Estimación de tasa de generación de viajes para actividades comerciales, Perú, 2008)

Tipos de polos generadores	Vocación	Naturaleza	Tamaño	Distribución del tránsito
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
Industria	Regional	Carga	Grande	Horarios determinados
Estadio y gimnasios / Deportes	Regional	Carga	Grande	Horarios determinados
Pabellones ferias / exposiciones	Regional	Particular/Flota	Pequeño	Horarios determinados
Parques de diversión	Regional Urbano	Particular/Flota	Pequeño/Grande	Días determinados
Centros empresariales	Urbano	Particular/Público	Pequeño/Grande	Horarios determinados
Conjuntos comerciales	Urbano	Particular/Público	Pequeño/Grande	A lo largo del día
Conjuntos residenciales	Urbano	Particular/Público	Pequeño/Grande	Horarios determinados
Parques y áreas verdes	Regional	Particular/Público	Pequeño	Días determinados
Hoteles/Moteles	Regional	Particular	Pequeño	A lo largo del día
Restaurantes/Estaciones de 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	Pequeño/Grande	Horarios determinados

Los estudios utilizando tasas 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 con 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 urbano para enmarcar el estudio del impacto de un Polo Generador, caben destacar:

- Umbrales de tolerancia en relación con 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.
- Umbrales 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.

3.3.2. Metodologías de análisis de los PGV's

A. Metodología del Departamento de Transportes de Estados Unidos (1985)

La metodología del *U.S. Department of Transportation e Institute of Transportation Engineers* es una de las más completas y considera 7 fases para su análisis, estas son:

Fase I: se establece el diseño del estudio, basado en los debates y acuerdos con los funcionarios locales. La recopilación de datos o análisis, luego de dar lugar a la verificación de los antecedentes existentes, situación del tráfico y los niveles pico de horas de servicio.

Fase II: utilización de los antecedentes de la fase I, teniendo como base los aportes de las agencias en materia de planificación estatal, regional y local para estimaciones de tráfico futuro sin el PGM's.

El tráfico generado por otros nuevos desarrollos adyacentes al PGM's será determinado usando procedimientos de generación de viajes, distribución y asignación. Los niveles de servicio sin el nuevo PGM's pueden ser estimados por la combinación futura del tráfico y el tratamiento de los nuevos polos adyacentes.

Fase III: se refiere exclusivamente al tráfico generado por el nuevo PGM's, además de organizar los datos en un formato que pueda combinarse con datos de la fase II.

Esta fase es similar a la previsión de tráfico para los otros nuevos sitios adyacentes, realizada en la fase II.

Fase IV: establece las horas pico en el escenario con el PGM's en funcionamiento y plenamente ocupado. El tráfico total se calcula mediante la combinación de los resultados de la Fase II y Fase III. Luego, se definen los niveles de servicio con el tráfico previsto.

Una comparación de los niveles de servicio entre la fase II y fase IV muestra los resultados de los impactos del tráfico del sitio. La comparación de

la fase II (sin el sitio desarrollado) con la fase IV (en la que se incluye) no siempre es suficiente.

Fase V: es un proceso creativo que identifica y analiza alternativas de accesibilidad al PGV's relacionándolo con las mejoras. Si bien esta fase implica generalmente a la infraestructura vial o mejoras operacionales del tráfico (como señalización, cambios o eliminación o adición de carriles), también puede incluir importantes mejoras en el *Transportation Systems Management (TSM)*⁶, las mismas que pueden ser acciones para limitar o reducir las horas pico de tráfico.

Fase VI: las negociaciones entre funcionarios locales y los desarrolladores, se llevan a cabo en la Fase VI. Durante las negociaciones con las autoridades locales, la solución puede modificarse de manera significativa, lo que requiere de análisis adicionales.

Fase VII: es la fase de ejecución, se produce después de que se llegue a un acuerdo entre los planificadores y los funcionarios locales.

La autorización de los funcionarios locales es por lo general en forma de un permiso para construir las mejoras o para proveer fondos para la totalidad o una parte de las mejoras.

A continuación se detalla cada fase con algunas tareas que se realizan en cada una de ellas:

Fase I: *establecer el diseño del estudio y verificación del tráfico*

- Reconocimiento y análisis en campo del sitio donde se implementará el PGV's.

- Reuniones con los funcionarios locales para establecer área de estudio y parámetros
- Establecer parámetros de diseño de estudios
- Evaluar las necesidades de datos
- Recoger los nuevos datos (opcional)
- Tabular los datos, calcular los niveles de servicio
- Identificar los accesos al sitio, circulación, limitaciones y oportunidades

Fase II: Proyecto futuro, hora pico de tráfico situación sin la implementación del PGV's

- Establecer tasas pasadas de crecimiento en corredores claves
- Identificar los cambios en la red vial y usos del suelo tipo / densidad.
- Fase I del Proyecto hora pico de tráfico para el futuro año de estudios
- Calcular el nivel de servicio
- Identificar los cambios entre la actual y futura situación

Fase III: Determinación del tráfico generado por el PGV's

- Seleccionar y aplicar adecuadamente la tasa de generación de viajes
- Determinar la distribución y asignación de viajes en la red vial

Fase IV: Proyección futura del tráfico en el sitio de implementación con el nuevo PGV's incluido en el análisis

- Combina la fase II de antecedentes de tráfico con la fase III, Asignación de tráfico para alcanzar la hora pico de tráfico
- Calcular los niveles de servicio, comparar lo realizado en la Fase I y los niveles de servicio calculados en la Fase II

- Identificar los cambios de fase entre sí Fase II y Fase IV, Resultados

Fase V: Desarrollo de sitios de acceso relacionados con las soluciones planificadas

- Evaluar diversas soluciones para alcanzar niveles aceptables de servicio.
- Seleccionar una solución óptima, en cuanto a conclusiones o decisiones optadas.

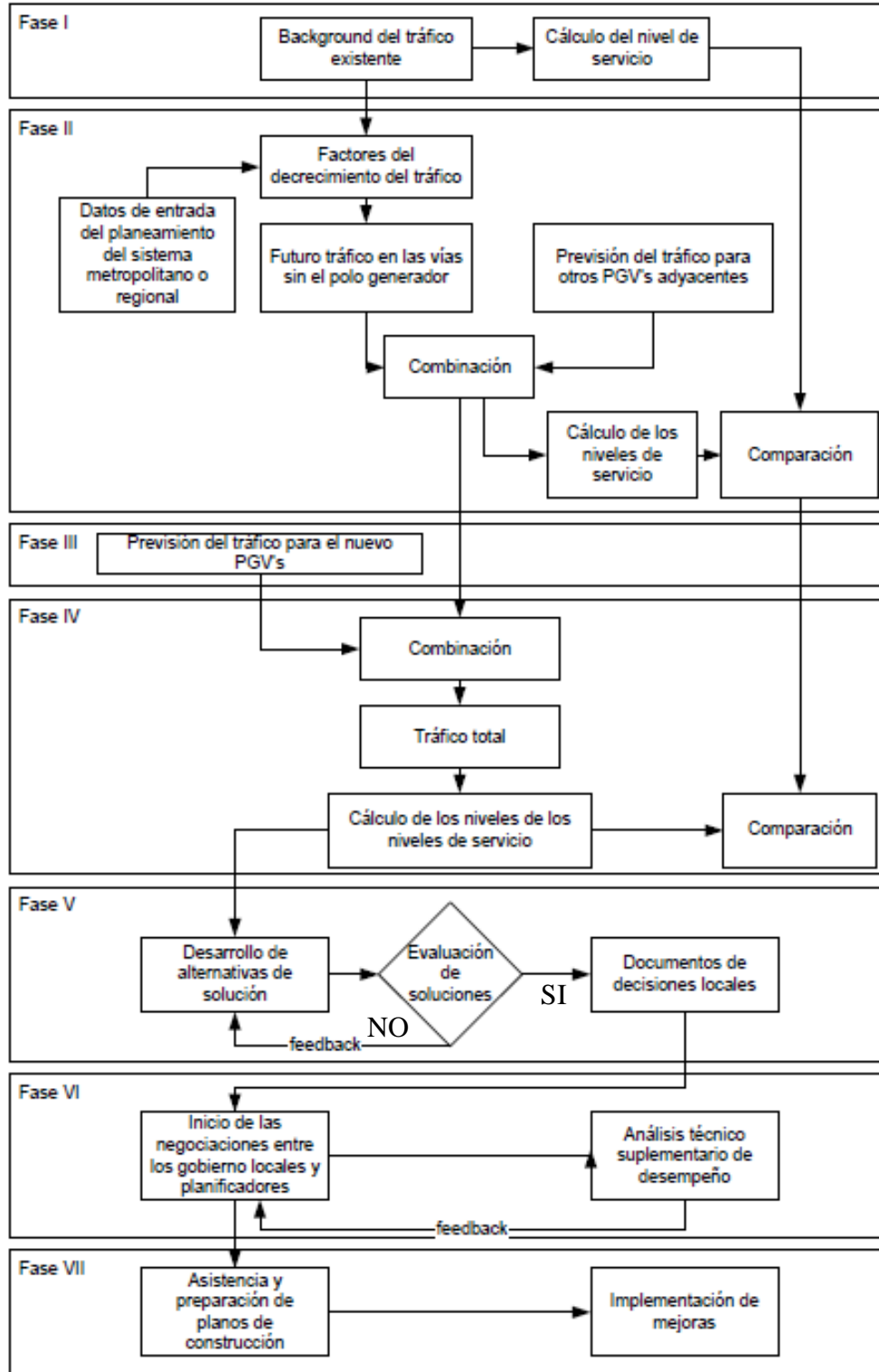
Fase VI: Negociaciones de los lugares de acceso

- Iniciar las negociaciones entre funcionarios locales e inversionistas para llegar a un acuerdo sobre el proyecto motivo del análisis.
- Realizar análisis técnicos suplementarios para resolver las cuestiones pendientes

Fase VII: Implementación del proyecto, mejoras de accesibilidad

- Asistencia a los ingenieros locales en la preparación de planes de construcción.
- Desarrollo de planes de señalización / especificaciones, si aplica a la oferta existente
- Mejoras a las implementaciones.

Figura 10. Metodología del U.S. Department Transportation



B. Metodología española (Grando & Da Silva, 2005)

En esta metodología se destacan los trabajos abordados en Cataluña, teniendo como base las publicaciones de Calvet y Borrull (1995) y estudios de diferentes consultores (1986 - 1996). La metodología extraída de estas dos fuentes se ve representada en la figura 11.

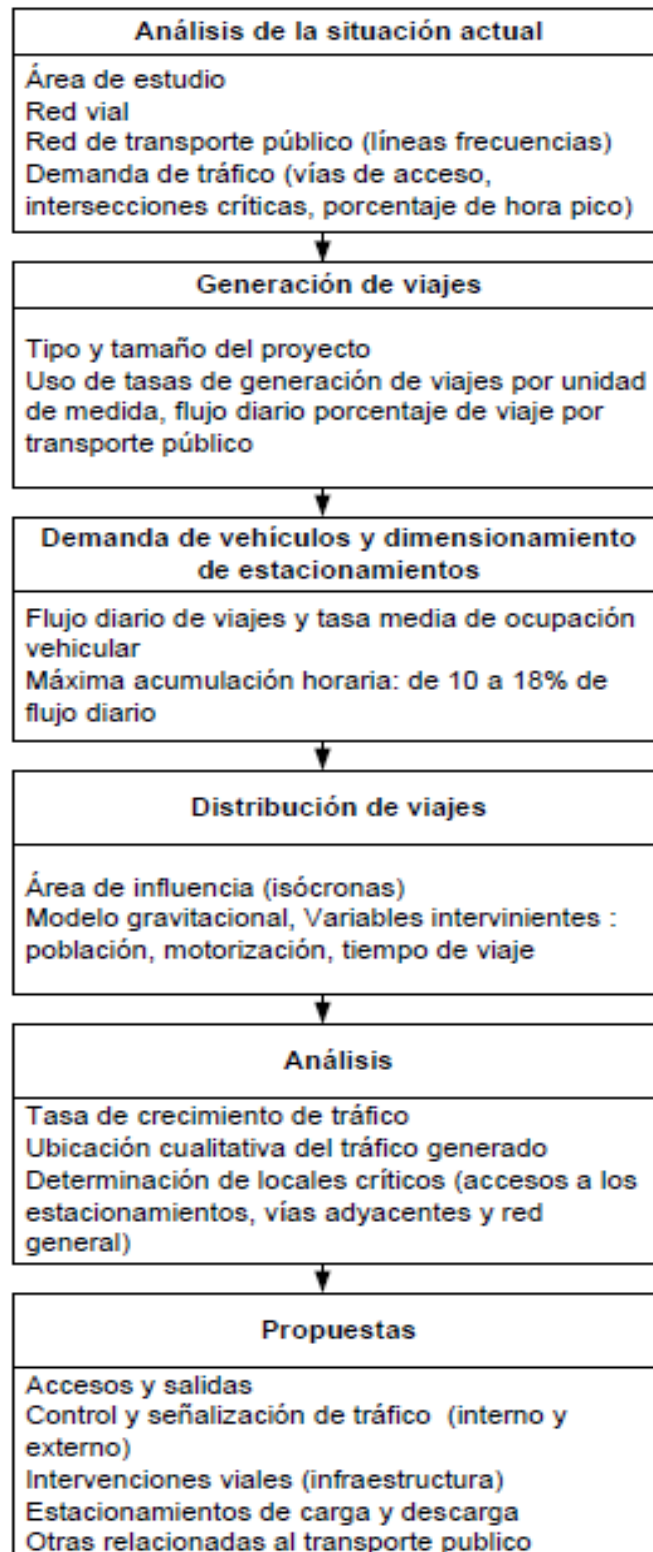
Esta metodología destaca los impactos en el sistema vial provenientes de los modos de transporte particular y público sin dejar de lado al peatón enmarcado en el uso de la metodología de cuatro etapas, en la planificación de transportes.

Los días viernes y sábados son los días consignados para realizar las evaluaciones respectivas; aunque se recomienda una simulación para cada día y banda horaria, con la finalidad de seleccionar las condiciones más críticas. La propuesta, a pesar de que teóricamente es correcta en la práctica, requiere de mayores esfuerzos y, por tanto, de mayores recursos.

La distribución modal en el caso español no se define a partir de modelos específicos. Esta etapa se basa en experiencias del planificador, que parte de condiciones geográficas y socioeconómicas de los usuarios, de la accesibilidad y de la existencia de otros medios de transporte.

Para el dimensionamiento de estacionamientos, se verifica en el caso español un tiempo medio de permanencia mayor en los sábados (2.0 a 2.5 horas), que en los días útiles (1.5 a 2.0 horas). En relación con la ocupación media de automóviles, los estudios en Barcelona comúnmente indican valores un poco menores de 1.8 a 2.0 horas para los días de la semana y de 2.0 a 2.7 horas para los sábados.

Figura 11. Metodología Española



4. DETERMINACIÓN DEL INDICE DE GENERACIÓN DE VIAJES PARA SUPERMERCADOS

4.1. Supermercados en la metodología del Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE)

La publicación *Trip Generation* (Generación de viajes) del ITE es una referencia en América Latina en cuanto a estimación de generación de viajes de diversos usos de suelos (establecimientos industriales, comerciales, residenciales, institucionales con diferentes características físicas y operativas) se refiere.

Esta publicación servirá como base para precisar los índices de generación de viajes en el desarrollo de esta investigación y así poder compararlos con los resultados obtenidos.

Para centros comerciales y supermercados, se utiliza como variable independiente el tamaño de la edificación. Por esta razón, los viajes vehiculares generados están basados en el área rentable, ya que es la que está disponible en el mayor número de estudios.

Las tasas de generación desarrolladas se expresan basándose en 92.9 m² o 1,000 pie² de área bruta alquilable de la edificación. Cada uso del suelo en la metodología del Instituto de Ingenieros de Transporte, ITE, presenta un código de tres dígitos para su identificación. Los supermercados son tratados como una categoría, bajo el código 850.

La información analizada para supermercados 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 la 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.

Los procedimientos de estimación del ITE para supermercados experimentaron en la última publicación algunas modificaciones; se amplió la descripción de servicios adicionales que pueden incluir ambientes tales como cajeros automáticos, centros de revelado, farmacias y club de video, entre otros.

4.2. Cálculo y análisis de resultados de la investigación

Se analizaron 3 supermercados de similares características, los cuales fueron Híper Paiz Roosevelt, Híper Paiz Santa Clara (Villa Nueva) y Paiz San Cristóbal. Es importante hacer mención que se consideraron días típicos entre semana y fin de semana para generar la información; es decir, que no se tomó en cuenta un día atípico como feriado, día de pago, época decembrina, entre otros.

A continuación se describen las características de cada supermercado analizado:

Características de Híper Paiz Santa Clara:

Área total cubierta: 58,339.94 m²

Área ventas: 13,804.88 m²

Número de cajas registradoras: 30

Número de entradas vehiculares al supermercado: 4; 2 entradas aledañas al boulevard del centro comercial “Santa Clara” y otras 2 entradas frente a la carretera que conduce de Bárcenas hacia la CA-9 Sur.

Número de salidas del lugar: 3; 2 salidas que dan al boulevard del centro comercial “Santa Clara” y la otra salida que da hacia la carretera que conduce de Bárcenas hacia la CA-9 Sur.

Número de parqueos: 380 espacios

Figura 12. Ubicación del Supermercado Híper Paiz “Santa Clara”, Villa Nueva

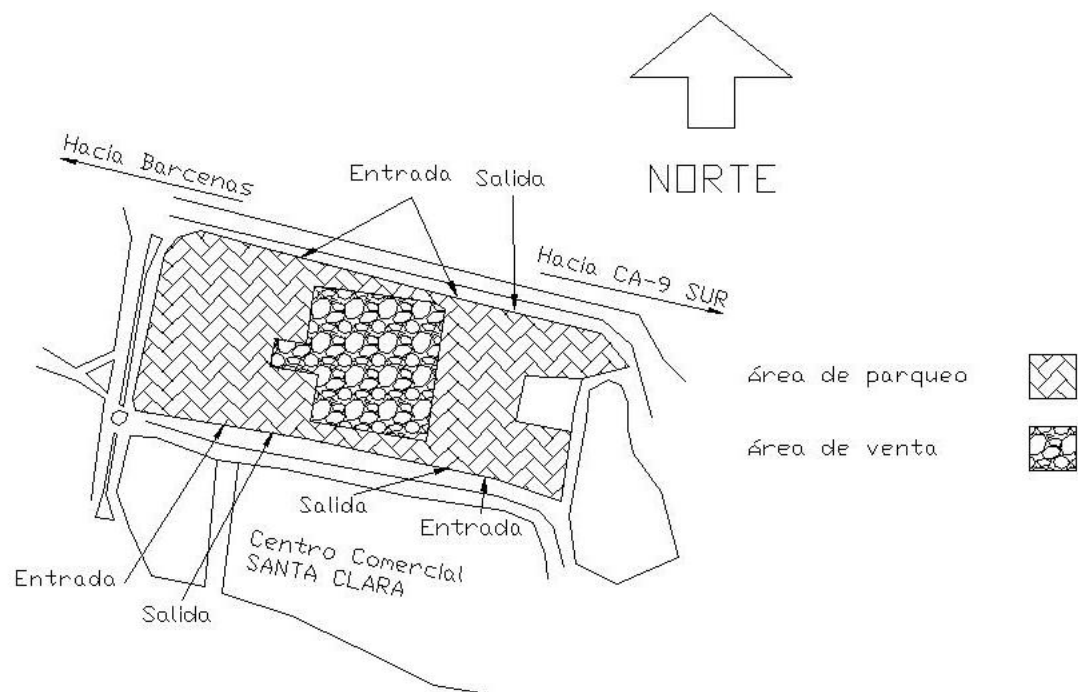


Figura 13. Fotografía aérea de Híper Paiz “Santa Clara”, Villa Nueva



Características de Híper Paiz Roosevelt:

Área total cubierta: 72,210.37 m²

Área ventas: 24,777.44 m²

Número de cajas registradoras: 40

Número de entradas vehiculares al supermercado: 4; 2 entradas al parqueo al aire libre (ambas se encuentran en la calle principal del complejo comercial Majadas) y 2 entradas para el parqueo de sótano (una entrada por la calzada Roosevelt y la otra a un costado del redondel de la calle principal del complejo comercial “Majadas”).

Número de salidas del lugar: 3; 2 salidas que dan a la calle principal del complejo comercial “Majadas”; y la otra salida que da directamente al carril auxiliar del Anillo Periférico.

Número de parqueos: 730 espacios

Figura 14. Ubicación del Supermercado Híper Paiz Roosevelt

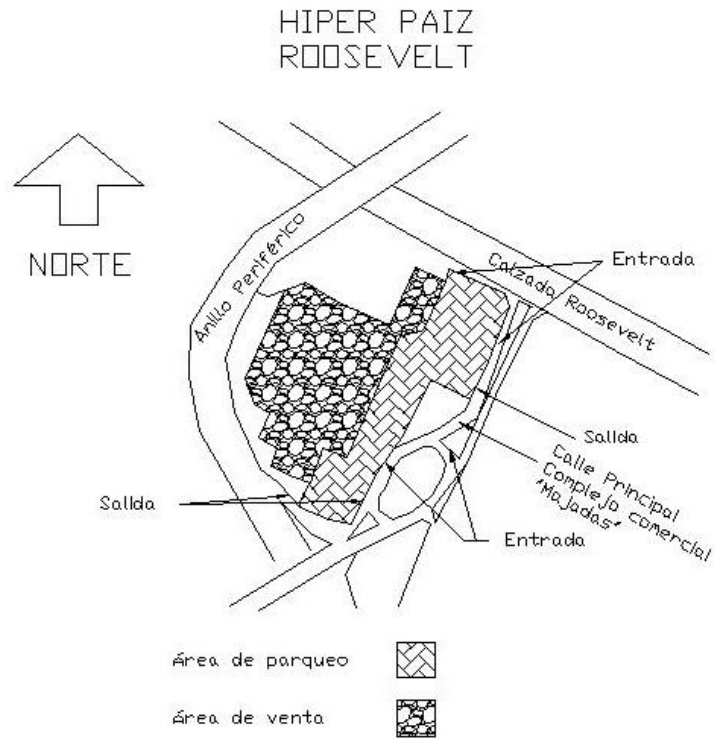
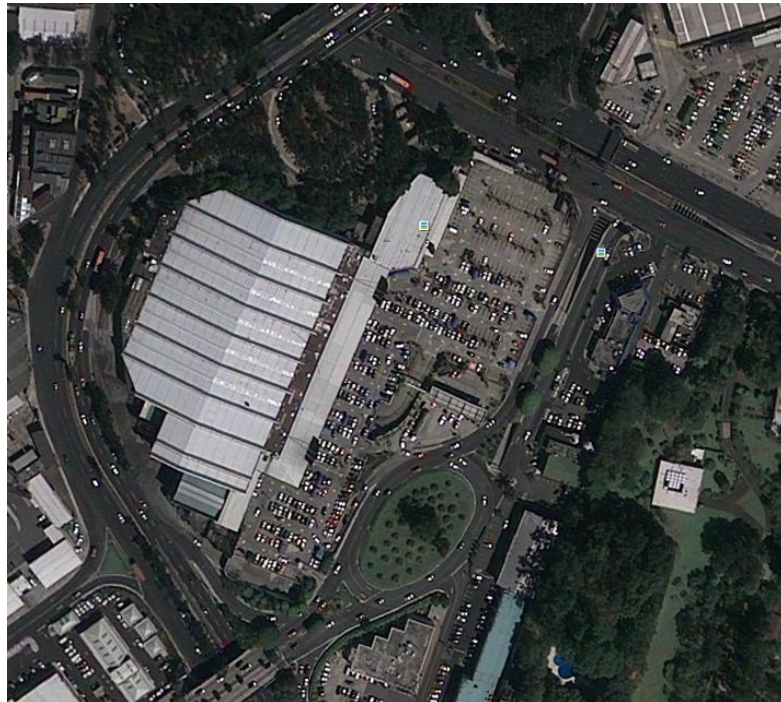


Figura 15. Fotografía aérea de Híper Paiz Roosevelt



Características de Supermercado Paiz San Cristóbal:

Área total cubierta: 11,090.82 m²

Área ventas: 5,647.17 m²

Número de cajas registradoras: 14

Número de entradas vehiculares al supermercado: se tiene dos entradas vehiculares sobre el boulevard principal de San Cristóbal (3^a calle).

Número de salidas del lugar: se cuenta con tres salidas vehiculares; todas fluyen hacia el boulevard principal de San Cristóbal (3^a calle).

Número de parqueos: 291 espacios

Observación: el supermercado Paiz San Cristóbal se encuentra ubicado dentro del centro comercial Plaza San Cristóbal.

Figura 16. Ubicación del supermercado Paiz San Cristóbal

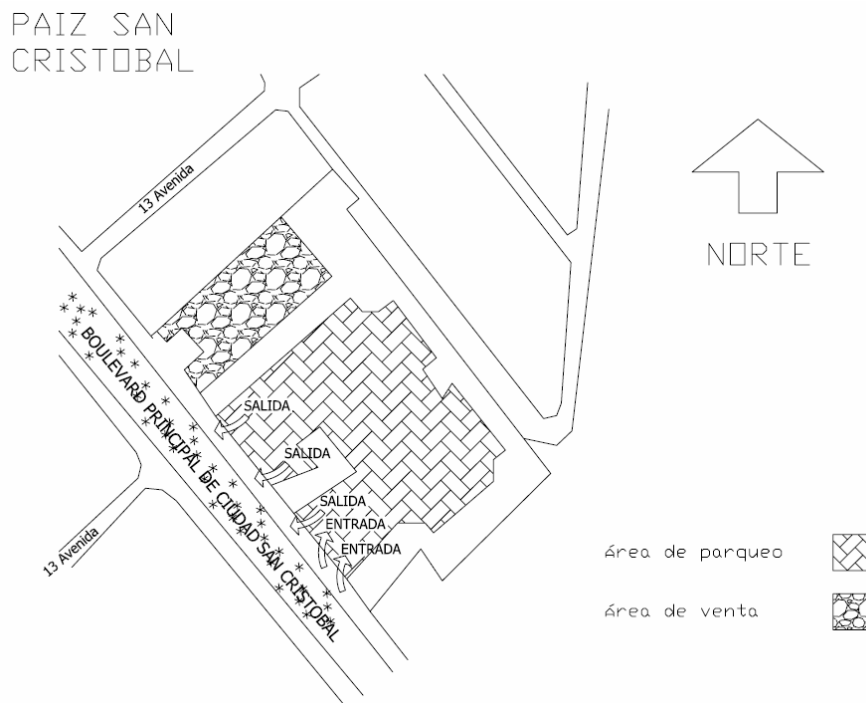


Figura 17. Fotografía aérea de Paiz San Cristóbal

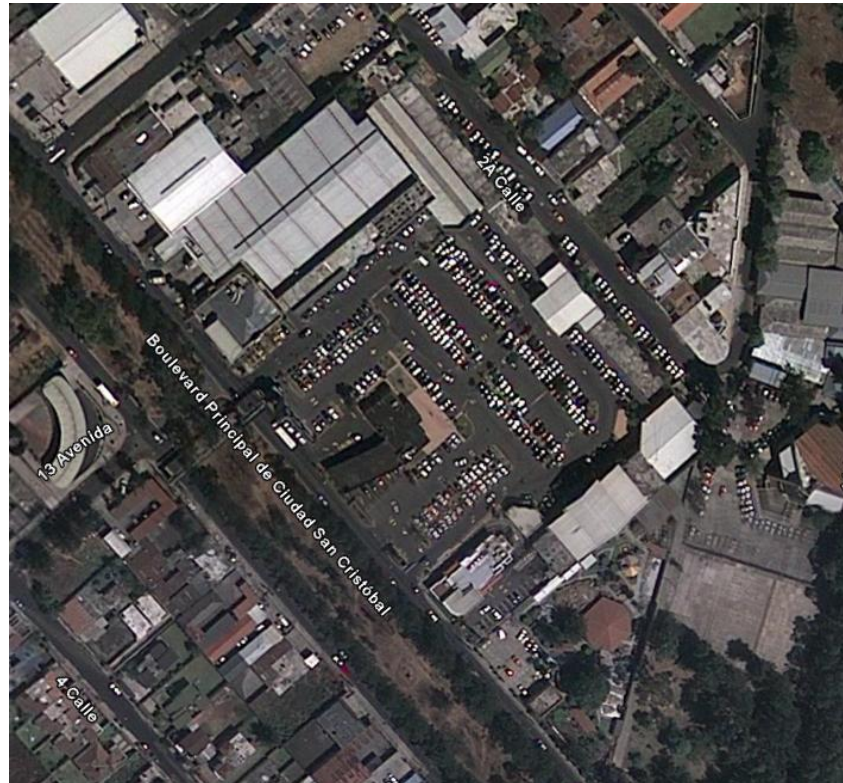


Tabla IX. Viajes vehiculares (ingresos más egresos) en hora de días martes y sábado

SUPERMERCADO	MARTES (Día laboral) / Hora Pico	SÁBADO / Hora Pico
HIPERPAIZ SANTA CLARA	1465	1552
HIPERPAIZ ROOSEVELT	1596	1616
PAIZ SAN CRISTÓBAL	870	1365

Tabla X. Características de los Supermercados

SUPERMERCADO	ÁREA CUBIERTA (1,000.00 ft²)	ÁREA DE VENTAS (1,000.00 ft²)	CAJAS REGISTRADORAS
HIPERPAIZ SANTA CLARA	382.71	90.56	30
HIPERPAIZ ROOSEVELT	473.70	162.54	40
PAIZ SAN CRISTÓBAL	119.32	15.62	14

Tabla XI. Índices de generación de viajes hora pico (martes)

VARIABLE	MEDIA	D. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
Área total (1,000.00 ft²)	4.83	2.14	3.37	7.29
Área ventas (1,000.00 ft²)	27.23	24.86	9.82	55.70
Caja registradora	48.78	222.92	39.90	62.15

Tabla XII. Índices de generación de viajes hora pico (sábado)

VARIABLE	MEDIA	D. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
Área total (1,000.00 ft²)	6.30	4.46	3.41	11.44
Área ventas (1,000.00 ft²)	38.16	42.79	9.94	87.39
Caja registradora	55.22	136.54	40.40	97.47

Para realizar el análisis del presente estudio, se aplicarán las regresiones lineal y logarítmica para las variables de área (total y ventas) y número de cajas registradoras, respectivamente.

Considerando para la interpretación y análisis, se debe tomar en cuenta que la variable dependiente “y” (número de vehículos) y la variable

independiente “x” que estará constituida por el área total, área de ventas o número de cajas.

Modelo de regresión para las variables “Área total y Área ventas”

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

Modelo de regresión para la variable “Caja registradora”

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

Tabla XIII. Modelos de generación para hora pico entre semana

VARIABLE	MODELO	R ²
Área total (1,000 ft ²)	$Y = e^{[4.6535 + 0.4424 \ln(X)]}$	0.9998
Área ventas (1,000 ft ²)	$Y = e^{[6.0428 + 0.2677 \ln(X)]}$	0.9876
Caja registradora	$Y = 504.36 + 28.785 * X$	0.9519

Tabla XIV. Modelos de generación para hora pico día sábado

VARIABLE	MODELO	R ²
Área total (1,000 ft ²)	$Y = e^{[6.6519 + 0.1183 \ln(X)]}$	0.9924
Área ventas (1,000 ft ²)	$Y = e^{[7.0205 + 0.0723 \ln(X)]}$	0.9999
Caja registradora	$Y = 1235.40 + 9.843 * X$	0.9796

Figura 18. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)

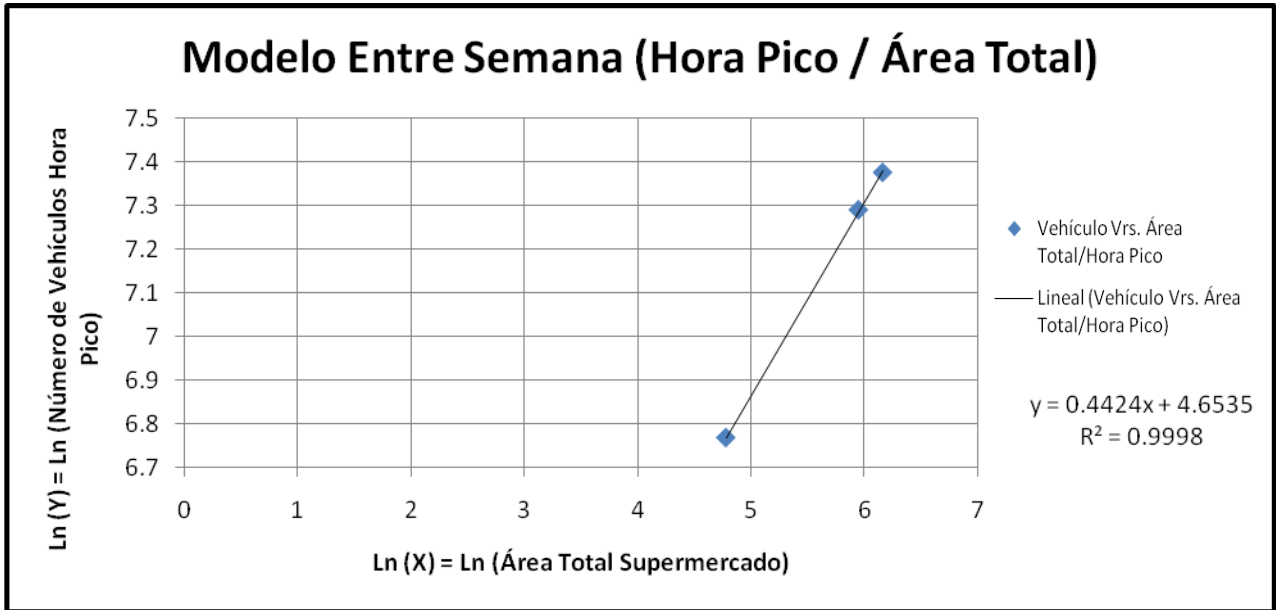


Figura 19. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)

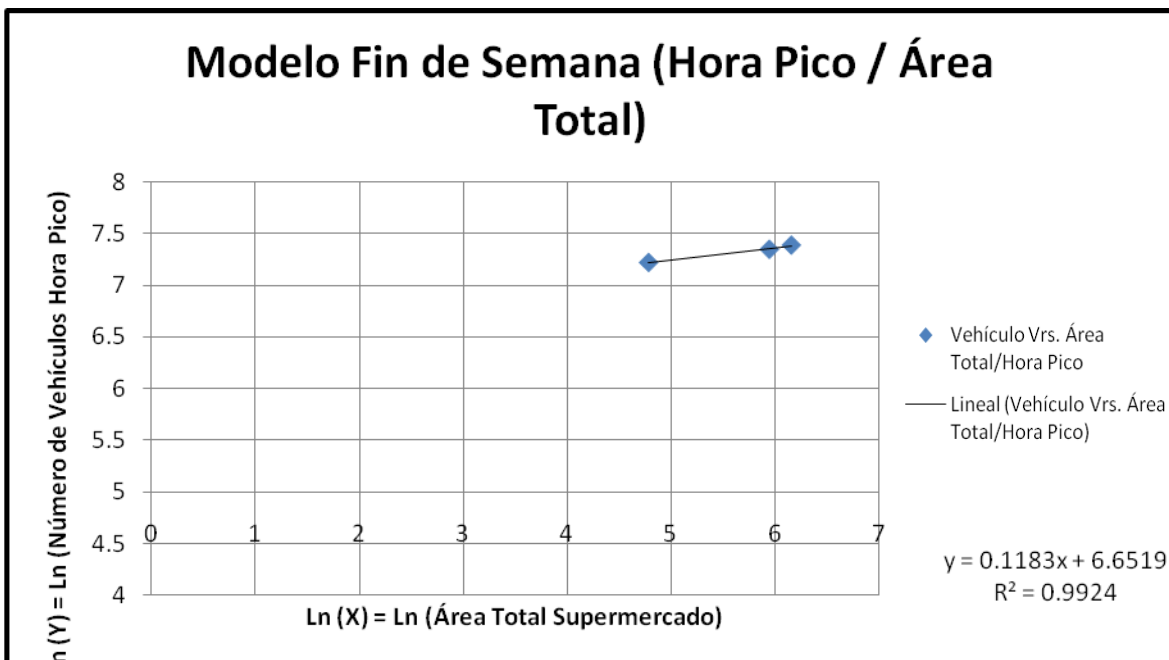


Figura 20. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)

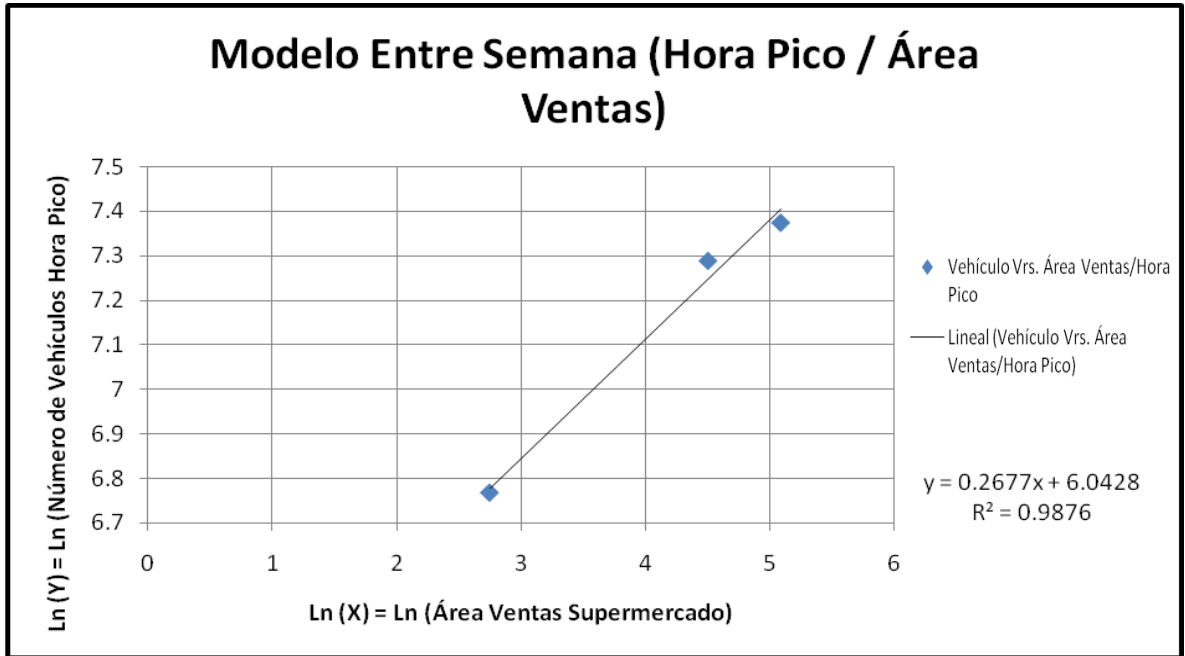


Figura 21. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para el día en fin de semana (sábado)

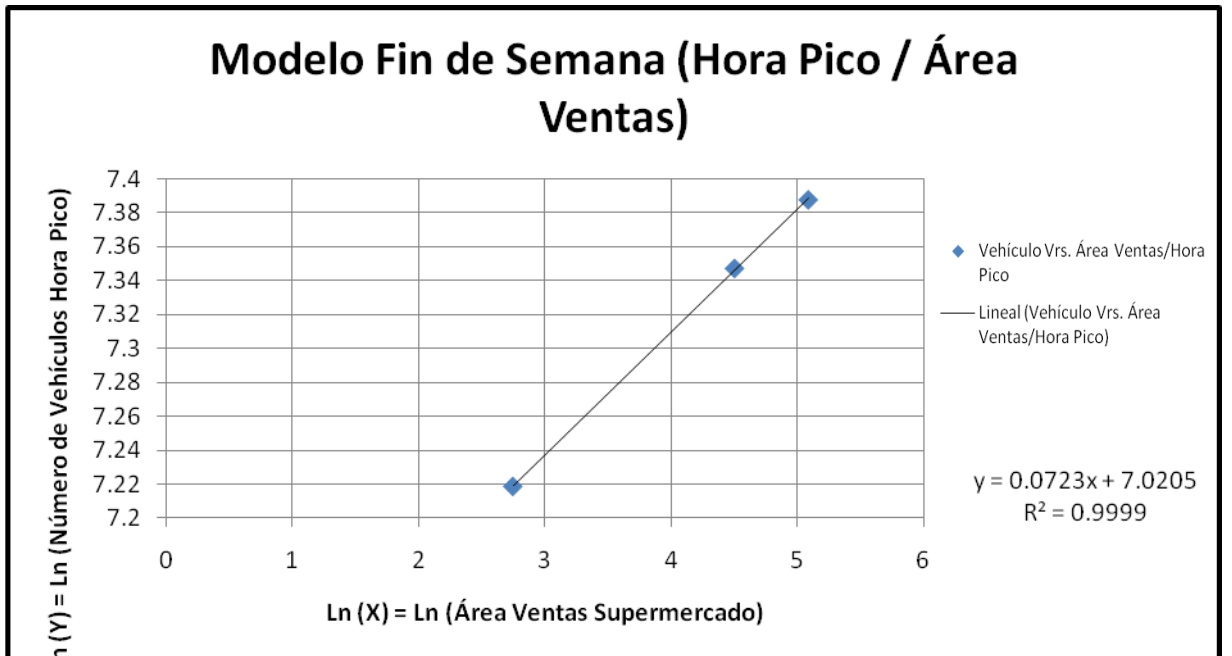


Figura 22. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para el día entre semana (martes)

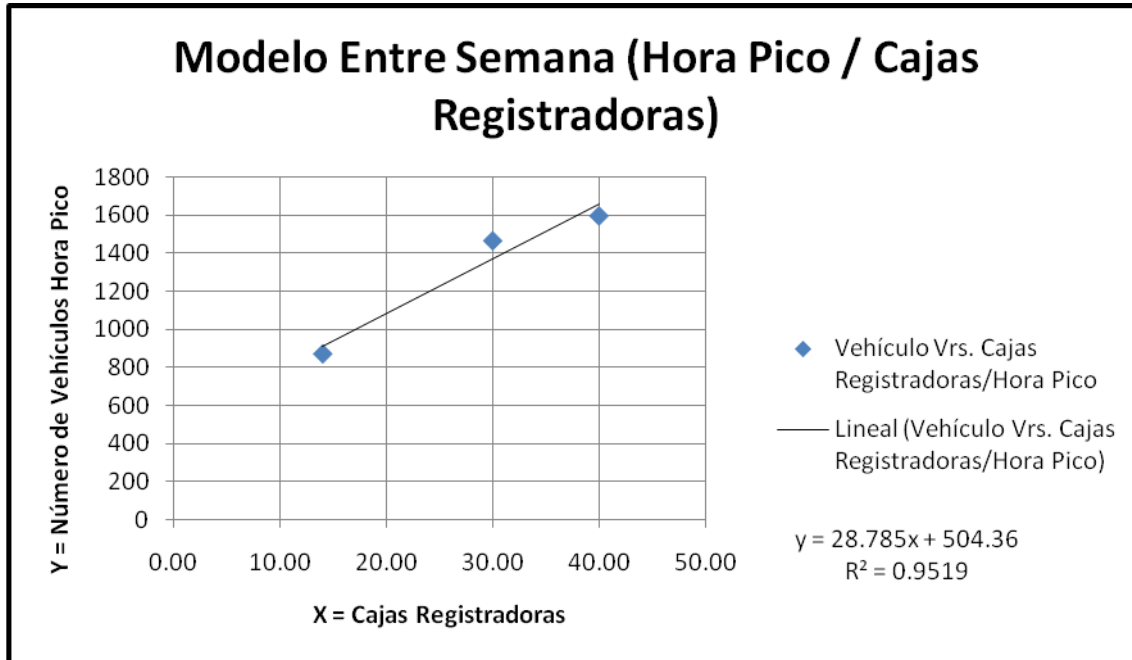


Figura 23. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para el día en fin de semana (sábado)

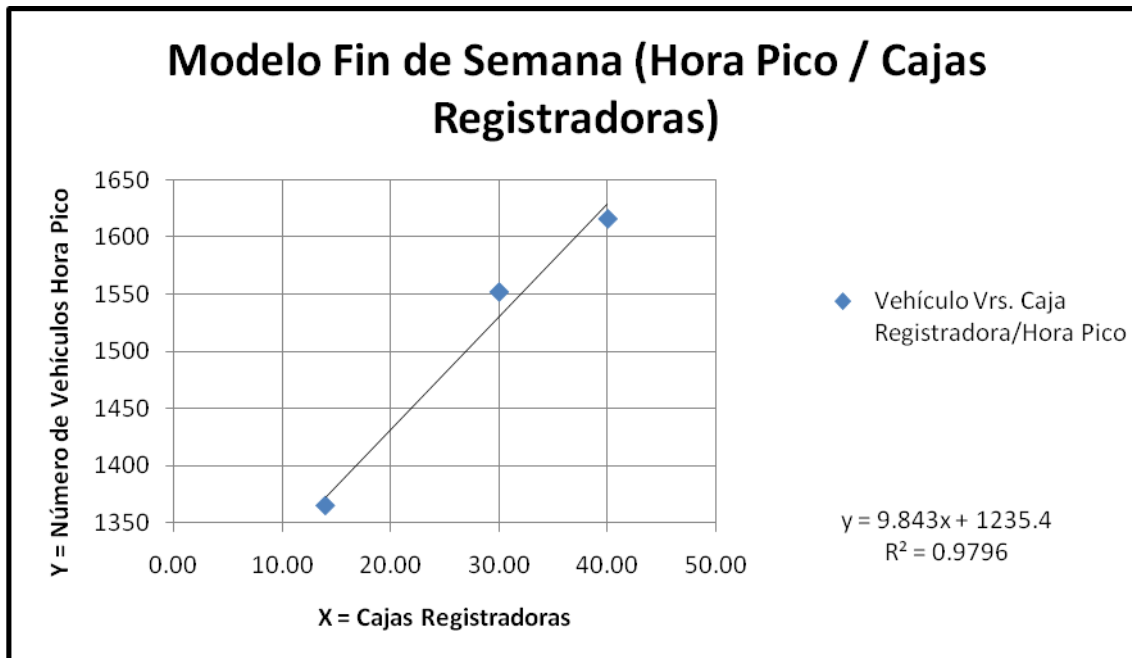


Tabla XV. Índices de generación diaria, (martes)

VARIABLE	MEDIA	D. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
Área total (1,000.00 ft ²)	28.90	2.37	27.23	30.58
Área ventas (1,000.00 ft ²)	104.29	35.27	79.35	129.23
Cajas Registradoras	353.11	2629.6	322.48	390.17

Tabla XVI. Índices de generación diaria, (sábado)

VARIABLE	MEDIA	D. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
Área total (1,000.00 ft ²)	29.11	1.19	28.27	29.95
Área ventas (1,000.00 ft ²)	104.48	31.25	82.39	126.58
Cajas Registradoras	356.88	3822.60	323.55	388.90

Tabla XVII. Modelos de generación diaria (entre semana)

VARIABLE	MODELO	R ²
Área total (1,000 ft ²)	$Y = e^{[6.7905 + 0.4337 \text{ Ln } (X)]}$	0.9999
Área ventas (1,000 ft ²)	$Y = e^{[8.1503 + 0.263 \text{ Ln } (X)]}$	0.9918
Cajas Registradoras	$Y = 4125.1 + 229.83 * X$	0.9623

Tabla XVIII. Modelos de generación diaria (sábado)

VARIABLE	MODELO	R ²
Área total (1,000 ft ²)	$Y = e^{[8.5633 + 0.1428 \ln(X)]}$	0.738
Área ventas (1,000 ft ²)	$Y = e^{[8.9924 + 0.0916 \ln(X)]}$	0.8191
Cajas Registradoras	$Y = 8796.8 + 106.65 * X$	0.9001

Figura 24. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día representativo entre semana (martes)

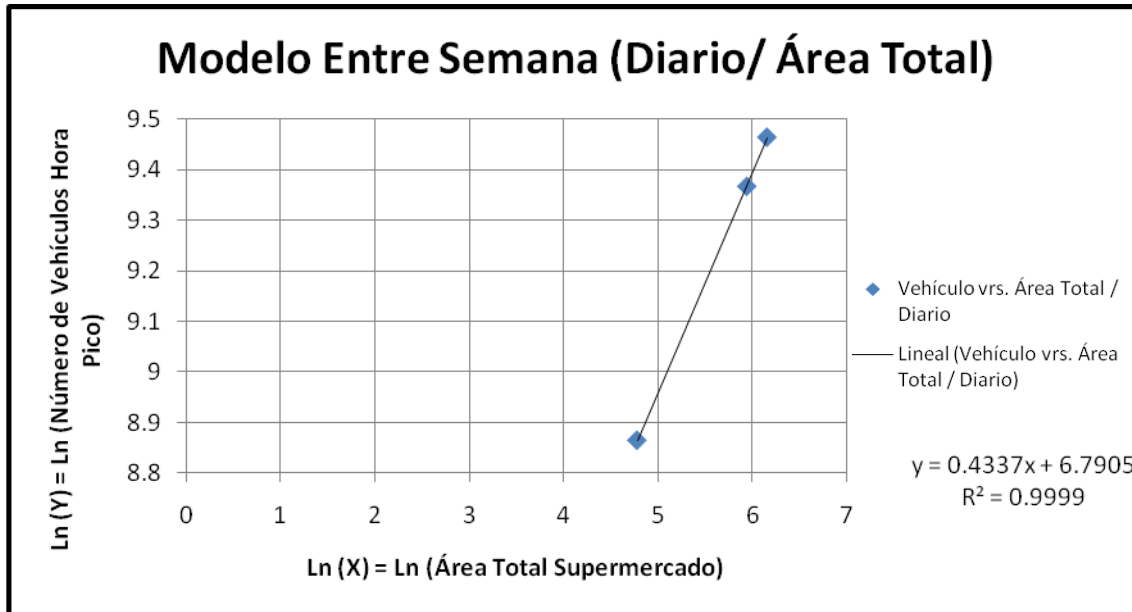


Figura 25. Gráfico de modelo de generación, considerando el área total cubierta para un día del fin de semana (sábado)

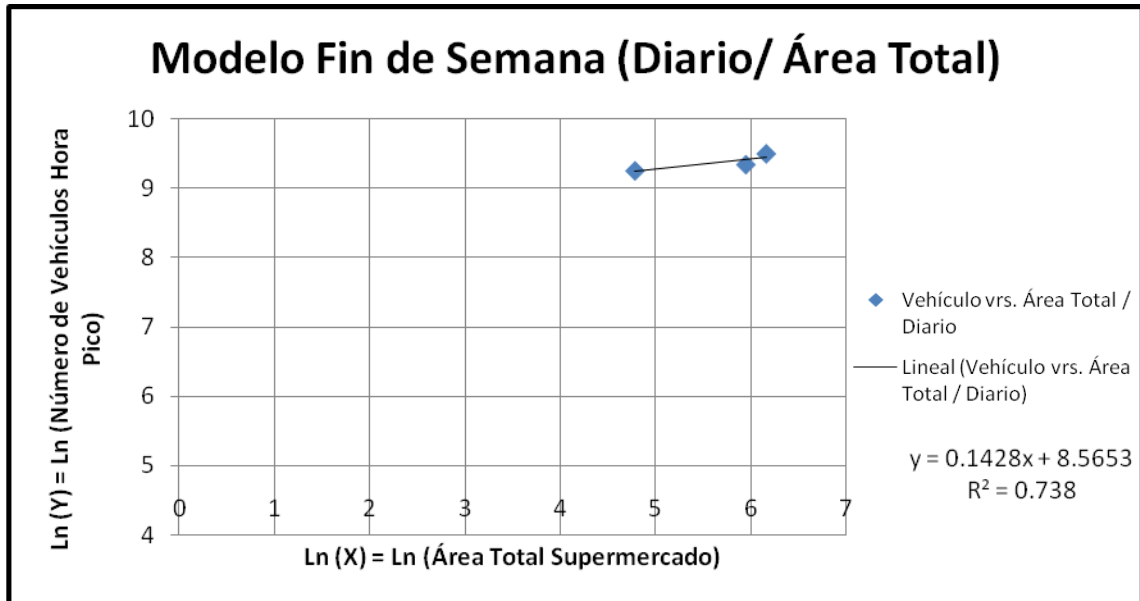


Figura 26. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para el día entre semana (martes)

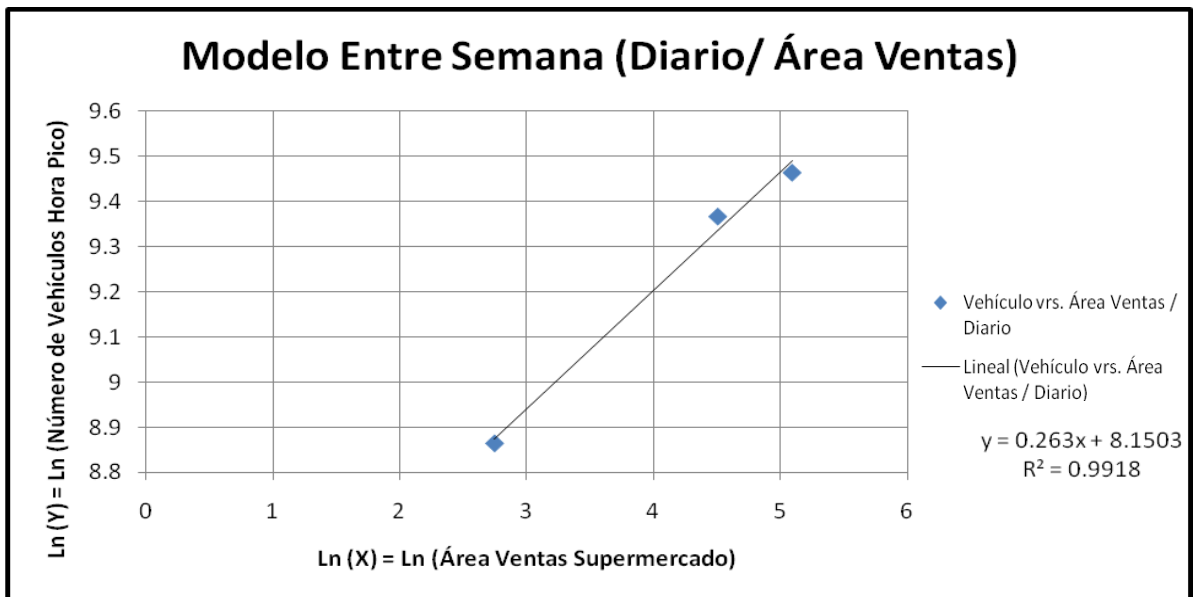


Figura 27. Gráfico de modelo de generación, considerando el área de ventas para un día del fin de semana (sábado)

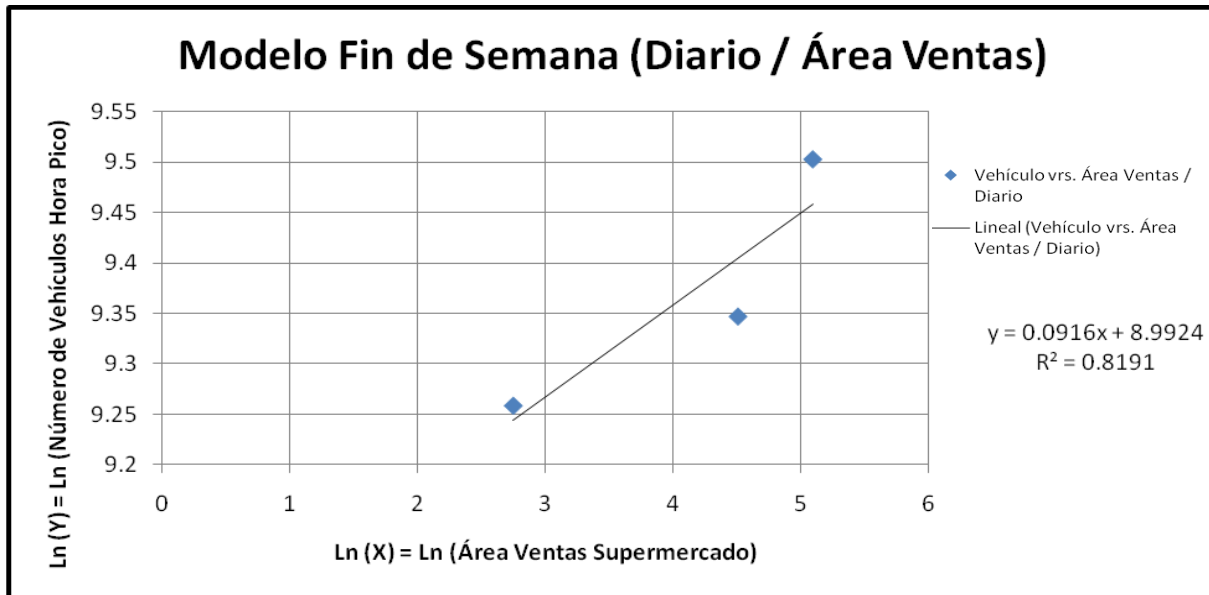


Figura 28. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para el día entre semana (martes)

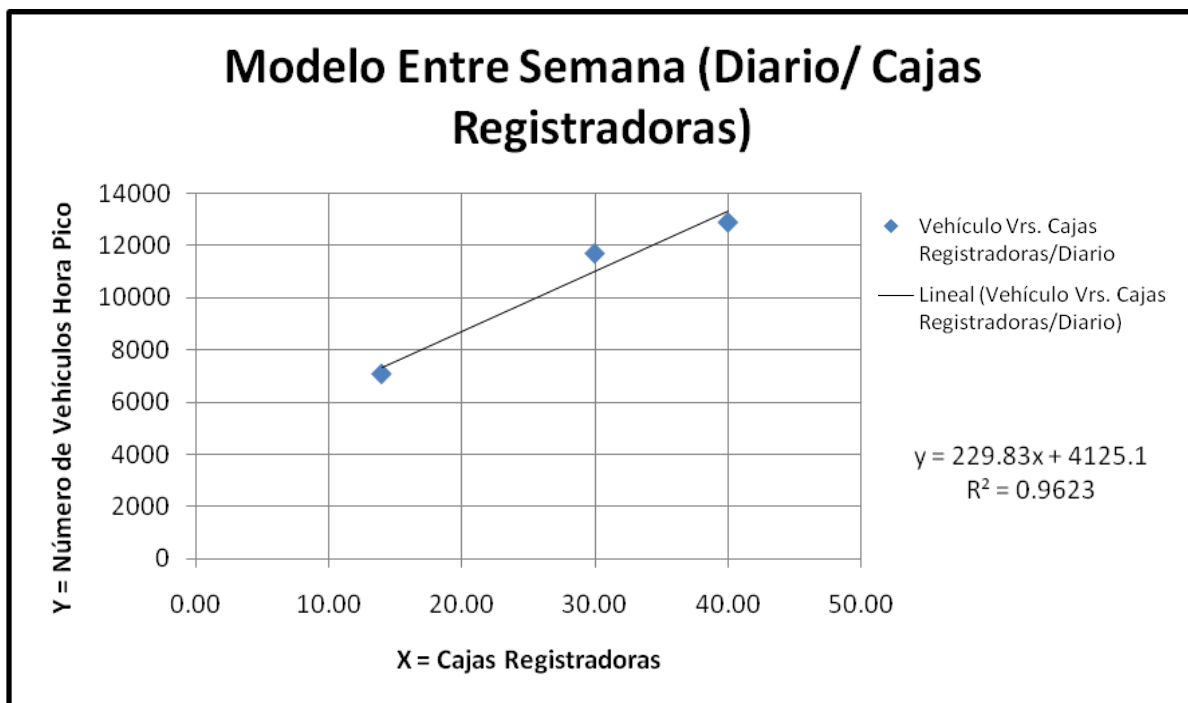
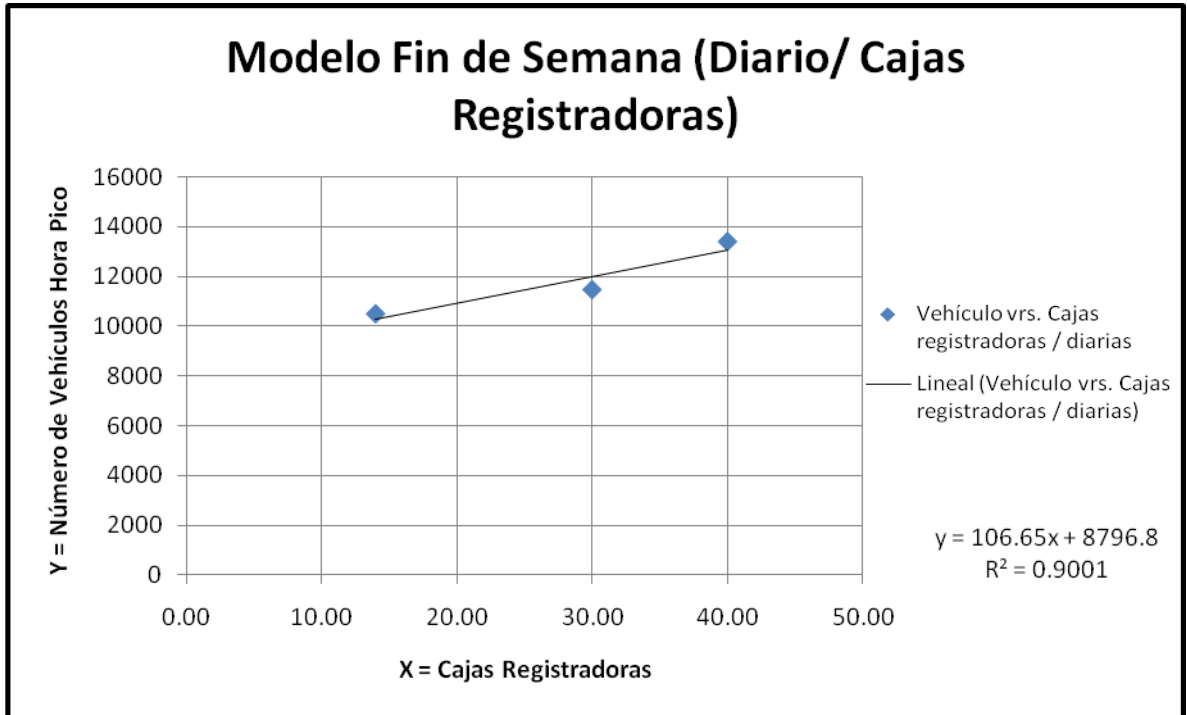


Figura 29. Gráfico de modelo de generación, considerando las cajas registradoras para un día del fin de semana (sábado)



Análisis de resultados

Se convirtieron primeramente, las cantidades correspondientes a las áreas, de metros cuadrados a pies cuadrados; esto con el objeto de comparar los resultados con los datos dados por la ITE (donde se utiliza el Sistema Inglés).

Para poder determinar si un modelo es aceptable se debe comparar el valor del coeficiente de determinación R^2 para las diferentes variables independientes. R^2 expresa el porcentaje de variación de la variable dependiente, explicado por las independientes.

Todas las ecuaciones logradas con el método de regresión tanto lineal como logarítmica dieron un valor R^2 bastante elevado, en algunos casos se obtuvo un valor cercano a uno (1). Esto es debido a que se contó con la realización de investigación de campo y levantamiento de datos para 3 supermercados únicamente. Cuando se analizan varios datos (se puede hablar de más de 3 datos), el valor de R^2 va variando de acuerdo con la relación que lleven los datos que adquiere la variable independiente, que en este caso las variables independientes tomadas fueron: área cubierta, área de ventas y número de cajas registradoras.

Se analizaron modelos de generación de viajes con diferentes variables independientes. El área de ventas (m^2 cubiertos de los salones de ventas del hipermercado, incluyendo las cajas) demostró ser una variable explicativa superior al área total (m^2 cubiertos, incluyendo además depósitos, oficinas, otros locales, pasillos de ingreso/egreso y el área respectiva de estacionamiento).

En términos generales el área total casi triplica al área de ventas, sin embargo se presentan casos en donde el área total resulta ser 4 veces más grande que el área de ventas, esto es debido a que de acuerdo con el nivel socioeconómico al cual está dirigido el supermercado, pueda que en algunos casos la mayoría de personas llegue a través de un vehículo, en lugar de un bus o caminando.

Cuando se analiza el número de cajas (puestos de servicio) en un supermercado (de acuerdo con la experiencia obtenida en otros estudios) se demuestra que la regresión lineal directa es el mejor método de ajuste de datos.

Debido a que todos los métodos de regresión al analizar las variables independientes demuestran que se acoplan los datos bastante bien (Como ya se explicó en los párrafos anteriores), se tomó como modelo de regresión para realizar los análisis del presente trabajo de investigación, el siguiente:

Modelo de generación para hora pico entre semana:

$$\ln(Y) = 0.4424 \ln(X) + 4.6535$$

Donde:

Y = número de vehículos (volumen)

X = área total en pies cuadrados (pie²)

Asimismo, el valor correspondiente al índice de generación de viajes utilizando como parámetro el área total es:

Tabla XIX. Tabla resumen de índices de generación de viajes

<i>Descripción</i>	<i>Hora Pico</i>	<i>Diario</i>
Entre semana	4.83 / área total	28.90 / área total
Fin de semana	6.30 / área total	29.11 / área total

De acuerdo con la tabla anterior, se demuestra que los valores correspondientes a los índices de generación de viajes para un día entre semana y para un día de fin de semana en “hora pico” se tiene poca variación en cuanto al análisis de la variable “área total” se refiere.

Los valores correspondientes a los índices de generación de viajes “hora pico” varían, siendo la cantidad de fin de semana ligeramente mayor que para

un día entre semana, y esto es lógico tomando en cuenta que debido a la cultura guatemalteca de ir a realizar compras los fines de semana, se genera más movimiento los días sábado o domingo, que un día entre semana.

4.3. Comparación de resultados obtenidos con los índices propuestos por la ITE.

Son muchas las ecuaciones planteadas en la publicación de la ITE. Para la presente investigación, se tomó una ecuación que está relacionada con un día entre semana, para poder compararla con el modelo investigado.

A continuación se presenta una tabla en la cual se comparan los índices de generación de viajes para un día entre semana y un día de fin de semana. La comparación se realiza para mil pies cuadrados (1,000 ft²) de área total construida:

Tabla XX. Índices de Generación de Viajes cada 1000 pies cuadrados de área total construida

Hora Pico	ITE 1997 (USA)		Valores de la investigación 2010 (Guatemala)	
	Tasa media	Mín.-Max.	Tasa media	Mín.-Max.
Día entre semana	11.51	5.32-20.29	4.83	3.37-3.83
Día fin de semana	18.93	17.79-19.75	6.30	3.41-11.44

Por su parte, la tabla siguiente permite comparar los modelos de regresión para la hora pico de un día entre semana.

Tabla XXI. Comparación de modelos de generación de viajes

Caso	Variable X	Modelo	R²
ITE 1997 (USA)	1000 pie ² área total	$\text{Ln}(Y)=0.870\text{Ln}(X)+2.902$	0.77
Investigación	1000 pie ² área total	$\text{Ln}(Y)= 0.4424 \text{ Ln } (X) + 4.6535$	0.998

Corresponde consignar que en todos los casos se están comparando exclusivamente los índices y modelos de generación de viajes en automóviles.

En el caso de Guatemala es notable que un alto porcentaje del total de viajes se realice por otras modalidades, ya sea a pie, en bicicletas ó en autobús.

Para demostrar cuán diferente es el resultado al utilizar los modelos de generación de viajes, tanto del calculado en la presente investigación, como el de la ITE, se realizará un ejemplo tomando en cuenta un valor de área total igual a 500,000 pies cuadrados.

Tabla XXII. Comparación de modelos de generación de viajes utilizando un valor de prueba de 500,000 pies cuadrados

Caso	Valor de "Y" (cantidad de vehículos)
ITE 1997 (USA)	4059
Investigación	1641

Se puede apreciar que hay una variación bastante notable en los valores de volumen de vehículos utilizando los dos modelos en cuestión.

El valor generado utilizando el modelo de la ITE es aproximadamente 2.5 veces el valor generado, utilizando el modelo obtenido en esta investigación. La razón por la cual hay una variación, es que los aspectos económicos, culturales, sociales, entre otros, de los estadounidenses y de los guatemaltecos son totalmente distintos.

CONCLUSIONES

1. La metodología utilizada para estimar el índice de generación de viajes y posteriormente calcular el modelo de regresión que más se ajustó a los datos, fue la metodología propuesta por el ITE.
2. Tres variables independientes (área total, área de ventas y número de cajas registradoras del supermercado) fueron consideradas como magnitudes que poseen una relación con las otras dos variables dependientes (número de vehículos / hora pico y número de vehículos / diario).
3. El modelo de generación de viajes determinado en la presente investigación, para una hora pico y en un día entre semana es el siguiente: $\ln(Y)=0.4015\ln(X)+4.9016$
4. Existe una variación entre el índice utilizado por el ITE y el calculado; pues hay una relación de 2.5 veces más elevado el valor calculado con el modelo del ITE comparándolo con el dato calculado, con el modelo generado en esta investigación.
5. Los datos generados para el uso de suelo correspondiente a “supermercados” son el inicio de una base de datos para que en el futuro no se sigan usando los datos aportados por el ITE, ya que como se notó hay una gran variación en cuanto al volumen de vehículos generados para la ciudad de Guatemala en relación con la cantidad generada en Estados Unidos.

6. Para lograr los conteos vehiculares dentro de los supermercados, fue necesario realizar una negociación con las autoridades administrativas de los diferentes comercios. con el fin de contar con permisos; a cambio, se les debe proporcionar los datos de la investigación realizada.

RECOMENDACIONES

1. La Universidad de San Carlos de Guatemala debe promover la investigación en el área de transporte, ya que sería la plataforma fundamental para contar con una base de datos completa que reúna la mayor cantidad de datos respecto de los diversos usos de suelo que se pueden presentar en Guatemala, y de esa forma evitar usar índices de Generación y atracción de viajes determinados de otros países, especialmente de Estados Unidos.
2. A todos los investigadores y planificadores en los temas de ingeniería de tránsito, se recomienda utilizar como variables independientes para el análisis de índices de generación de viajes en supermercados los siguientes: área total, área rentable y cajas registradoras; ya que son las que mejor definen el comportamiento que tenga un supermercado en relación con el número de viajes que este puede producir o atraer; y que a la vez son fácilmente comparables si se trata de analizar y comparar con algún resultado de otro estudio del mismo uso de suelo.
3. Institucionalizar en la Facultad de Ingeniería un departamento dedicado exclusivamente para estudios de tránsito, siendo un componente del Centro de Investigaciones de Ingeniería apoyado a la vez por las municipalidades, con las cuales se puedan crear acuerdos para ayudar a la generación de más investigaciones del área de tránsito y transporte.

4. Ya que se demostró que los índices de generación de viajes determinados por el ITE varían considerablemente de los valores obtenidos en esta investigación, se recomienda a los profesionales del área de transporte, darle seguimiento a las investigaciones de determinación de índices de generación de viajes para diversos usos de suelo con otras tesis de grado, esto con el fin de evitar usar datos obtenidos en otros países, donde los aspectos culturales, económicos, sociales, entre otros, son muy diferentes que los de Guatemala.
5. Se recomienda a la Escuela de Estudios de Postgrado, específicamente en el área de ingeniería vial, que se dé seguimiento y actualización a los datos generados en esta investigación, de tal forma que se tenga una información actualizada y confiable de los índices y modelos de generación de viajes para supermercados en Guatemala.
6. Las instituciones privadas que realizan desarrollos inmobiliarios de gran envergadura, deben realizar estudios para calcular índices y tasas de generación de viajes en función del tipo de uso de suelo para el cual están enfocados; para realizar estas actividades, se podría llegar a un acuerdo con las autoridades administrativas de la Facultad de Ingeniería y la Dirección de la Escuela de Postgrado de la misma Facultad, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para unir esfuerzos en la creación de bases de datos que ayuden a la predicción de índices de generación (atracción y producción) de viajes y con ello reducir el congestionamiento vial que cada día se ve con mayor intensidad en la ciudad de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. ITE. **Trip Generation**. 6ta edición. Institute of Transportation Engineers. Washington DC.
2. Beimborn Edward. **Inside the blackbox: Making Transportation models work for livable communities**. *A Guide to Modeling*. University of Wisconsin-Milwaukee, Estados Unidos: 2002.
3. Benenson Itzhak. **The Revival of Urban Modeling**, Paper, Dept of Geography and Human Environment. Israel. Tel Aviv University, 2005.
4. FHWA, **“A Citizen's Guide to Transportation Planning, Federal Highway Administration”** [Internet]. Disponible desde: <http://www.fhwa.dot.gov/planning/citizen/index.htm>
5. Huang, Zhengdong. **Data Integration For Urban Transport Planning**, Tesis de Doctorado, Faculty of Geographical Sciences- Utrecht University: 2003.
6. Kane L and Behrens R. **Transport planning models: An historical and critical overview**, South African Transport Conference, Towards building capacity and accelerating delivery, Pretoria, 2002.

7. Lavado Yarasca, Julio Cesar. **Estimación de tasa de generación de viajes para actividades comerciales.** Tesis de Ingeniería Civil. Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2008.
8. Meyer and E J Miller. **“Urban Transportation Planning”**, Segunda edición, McGraw-Hill, Estados Unidos: 2001.
9. Ortuzar, Juan De Dios. **Modelos de Demanda de Transporte.** 2da edición, Alfaomega Ingeniería del Transporte, Universidad Católica. Chile: 2000.
10. **Red Iberoamericana de Polos Generadores de Viajes (2010).**
<http://redpgv.coppe.ufrj.br> accedido julio 2010.
11. **Reglamento Específico de Entradas, Salidas y Disposiciones de Estacionamientos Privados para el Municipio de Guatemala RE-6.** Municipalidad de Guatemala, 2004.
12. Rivera Islas, Víctor. **Urban Function, transport and Economy.** 2004.
13. San Diego Municipal Code, **LAND DEVELOPMENT CODE, TRIP GENERATION MANUAL.** Mayo 2003.
14. Thomson, J.M. **“Teoría Económica del Transporte”.** Curso de Economía Moderna, Alianza Universidad, Alianza Editorial, Madrid, España, 1976. Pág. 22
15. Weiner Edward, **Urban Transportation Planning In The United States: An Historical Overview** [Internet], 5ta edición. Estados Unidos, 1997.

APÉNDICE A

Tablas de resumen del conteo efectuado en los supermercados en diferentes días: martes (día entre semana) y sábado (día fin de semana), los mismos fueron realizados en intervalos de 15:00 minutos, separando 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

Nombre Proyecto: HIPERMERCADO HIPERPAIZ SANTA CLARA

Día de la Semana: MARTES (ENTRE SEMANA)

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	149	4	174	5	323	9	332
00:15 - 00:30								12:15 - 12:30	141	6	169	5	310	11	321
00:30 - 00:45								12:30 - 12:45	168	2	162	5	330	7	337
00:45 - 01:00								12:45 - 13:00	143	1	145	7	288	8	296
01:00 - 01:15								13:00 - 13:15	184	7	123	5	307	12	319
01:15 - 01:30								13:15 - 13:30	189	8	135	6	324	14	338
01:30 - 01:45								13:30 - 13:45	114	2	169	2	283	4	287
01:45 - 02:00								13:45 - 14:00	137	1	141	3	278	4	282
02:00 - 02:15								14:00 - 14:15	123	7	156	3	279	10	289
02:15 - 02:30								14:15 - 14:30	115	6	141	7	256	13	269
02:30 - 02:45								14:30 - 14:45	124	9	132	6	256	15	271
02:45 - 03:00								14:45 - 15:00	141	3	139	5	280	8	288
03:00 - 03:15								15:00 - 15:15	118	4	128	6	246	10	256
03:15 - 03:30								15:15 - 15:30	115	3	115	1	230	4	234
03:30 - 03:45								15:30 - 15:45	136	2	124	8	260	10	270
03:45 - 04:00								15:45 - 16:00	133	2	137	1	270	3	273
04:00 - 04:15								16:00 - 16:15	107	7	142	2	249	9	258
04:15 - 04:30								16:15 - 16:30	106	3	119	2	225	5	230
04:30 - 04:45								16:30 - 16:45	142	2	102	4	244	6	250
04:45 - 05:00								16:45 - 17:00	103	4	107	3	210	7	217
05:00 - 05:15								17:00 - 17:15	117	6	128	4	245	10	255
05:15 - 05:30								17:15 - 17:30	126	7	123	3	249	10	259
05:30 - 05:45								17:30 - 17:45	115	8	144	4	259	12	271
05:45 - 06:00								17:45 - 18:00	143	2	147	3	290	5	295
06:00 - 06:15								18:00 - 18:15	184	3	166	2	350	5	355
06:15 - 06:30								18:15 - 18:30	171	6	165	1	336	7	343
06:30 - 06:45								18:30 - 18:45	178	7	173	6	351	13	364
06:45 - 07:00								18:45 - 19:00	177	4	169	5	346	9	355
07:00 - 07:15								19:00 - 19:15	192	5	172	7	364	12	376
07:15 - 07:30								19:15 - 19:30	191	7	167	5	358	12	370
07:30 - 07:45								19:30 - 19:45	185	8	141	4	326	12	338
07:45 - 08:00								19:45 - 20:00	178	9	154	3	332	12	344
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	108	7	95	3	203	10	213	22:00 - 22:15							
10:15 - 10:30	101	6	102	8	203	14	217	22:15 - 22:30							
10:30 - 10:45	114	3	111	11	225	14	239	22:30 - 22:45							
10:45 - 11:00	127	1	126	13	253	14	267	22:45 - 23:00							
11:00 - 11:15	119	5	135	5	254	10	264	23:00 - 23:15							
11:15 - 11:30	128	4	143	1	271	5	276	23:15 - 23:30							
11:30 - 11:45	145	8	170	4	315	12	327	23:30 - 23:45							
11:45 - 12:00	156	9	187	6	343	15	358	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

Nombre Proyecto: CENTRO COMERCIAL PLAZA SAN CRISTOBAL

Día de la Semana: SÁBADO (FIN DE SEMANA)

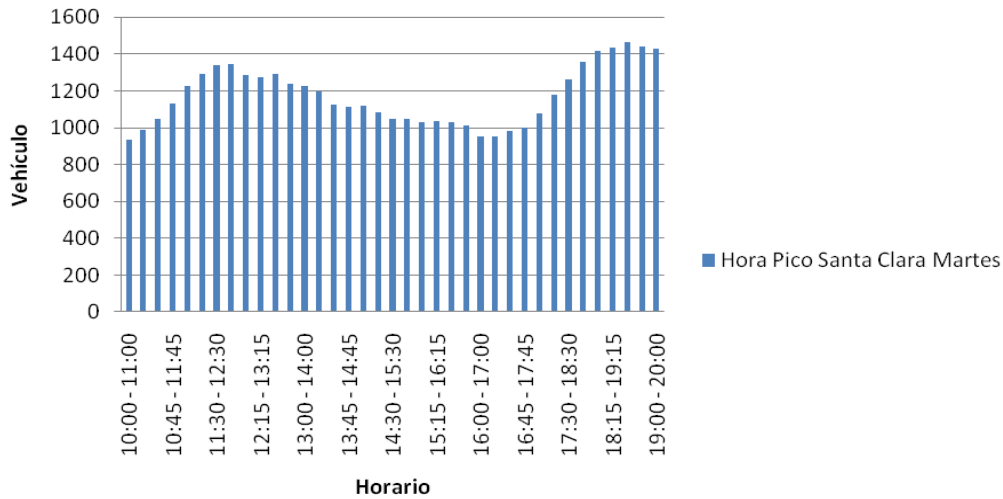
Vehículos al inicio del Conteo: 289 vehículos

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	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							
TOTAL															10495

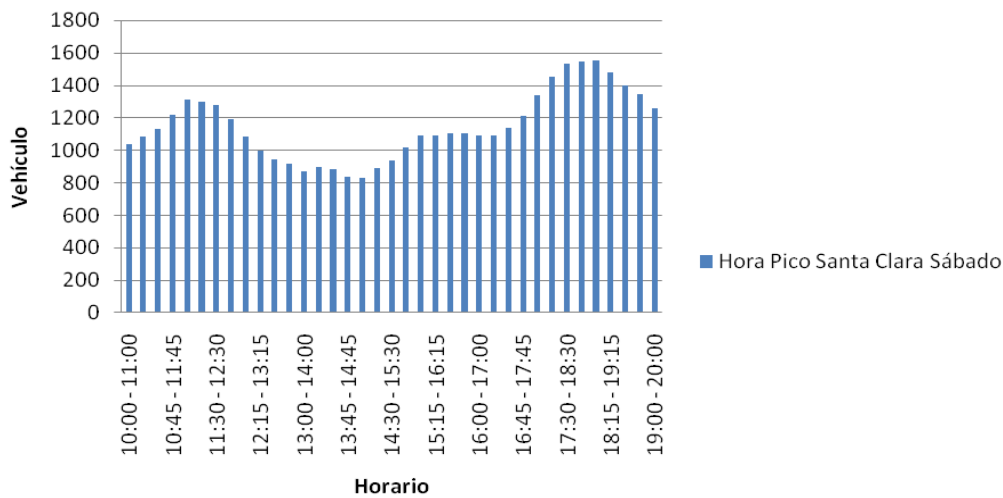
APÉNDICE B

Gráficas que representan el número de vehículos que por hora se generaron en un horario de 10:00 a 20:00 horas, en los supermercados siguientes: Hiper Paiz Santa Clara, Hiper Paiz Roosevelt y Paiz San Cristóbal, tanto para día laboral entre semana y fin de semana.

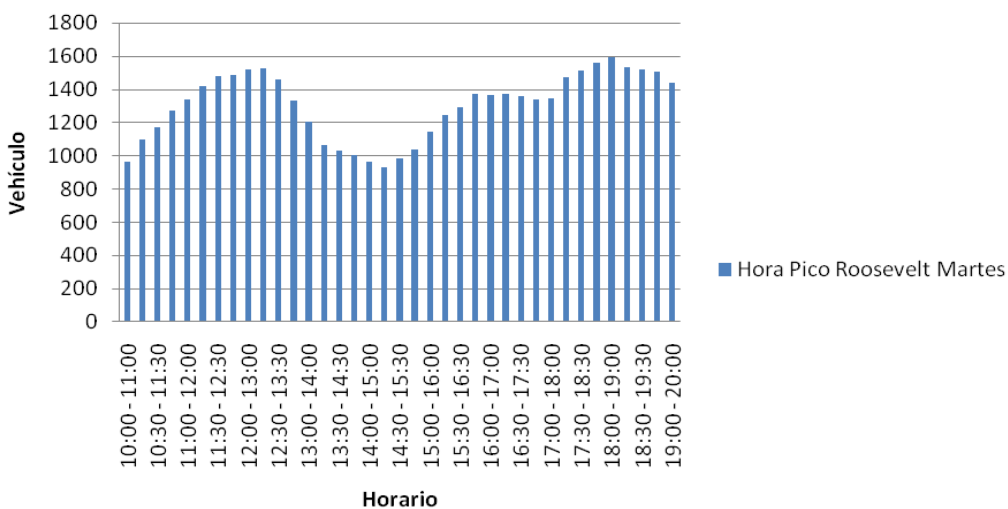
HIPERMERCADO Hiperpaiz Santa Clara MARTES



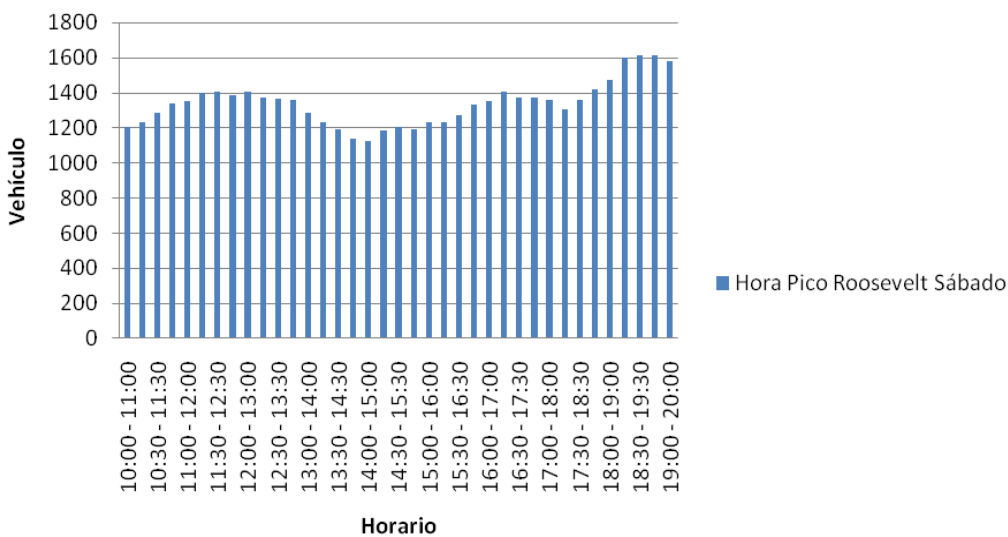
HIPERMERCADO Hiperpaiz Santa Clara SÁBADO



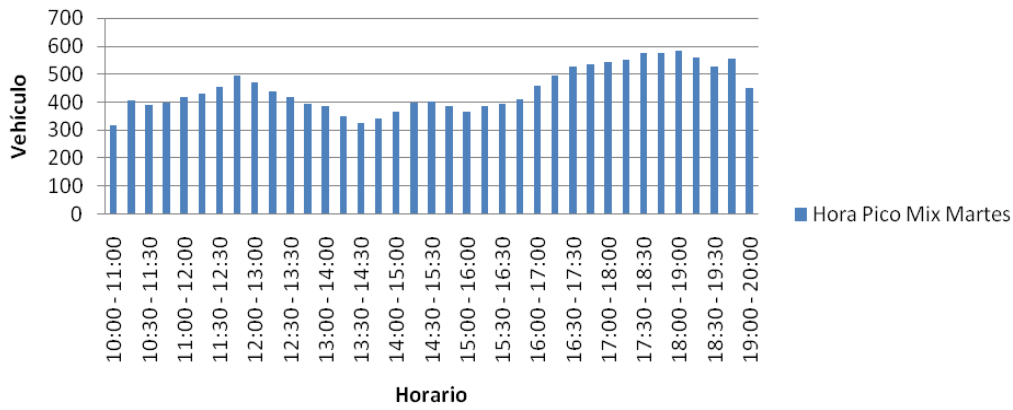
HIPERMERCADO Hiperpaiz Roosevelt MARTES



HIPERMERCADO Hiperpaiz Roosevelt SÁBADO



Centro Comercial Mix San Cristóbal Hora Pico Martes



Centro Comercial Mix San Cristóbal Hora Pico Sábado

