

## Elementos socio-territoriales de las ciudades y su relación con la demanda del transporte urbano de mercancías

Lizbeth Tovar Plata, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México;  
ltovar@uaemex.mx<sup>1</sup>

Raquel Hinojosa Reyes, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México;  
rhinojosar@uaemex.mx<sup>2</sup>

### Resumen

El presente documento analiza las condiciones socio-territoriales que se presentan en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), con la finalidad de asociarlo a la demanda de transporte urbano de mercancías y poder demostrar que la demanda no es igual en todo el concentrado urbano, sino que está bien diferenciada por aspectos como la densidad de población, la edad de la población, las condiciones de la vivienda, el ingreso, el empleo, el uso de suelo, la infraestructura vial y la proximidad a las vialidades. Para ello se realizó una modelación espacial a nivel de área geostatística básica urbana (AGEB) de los indicadores anteriores y de los comercios minoristas que fungen como polos atractores de viajes de transporte de mercancías. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis clúster con el método de K-medias, con apoyo del software estadístico SPSS y el sistema de información geográfica QGIS. Los resultados obtenidos muestran que la demanda de mercancías en la ZMT no es homogénea. Las AGEBS fueron agrupadas por la demanda de transporte urbano de mercancías y sus condiciones socio-territoriales, donde finalmente se obtuvieron siete zonas finales.

### Palabras clave

Transporte urbano de mercancías, modelación espacial, componentes principales, análisis clúster, demanda de mercancías.

**Abstract:** This paper analyzes the socio-territorial conditions that are presented in the Toluca Metropolitan Zone (ZMT), with the aim of associating it with the demand for urban freight transport and being able to demonstrate that the demand is not the same throughout the urban concentrate, but is well differentiated by aspects such as population density, population age, housing conditions, income, employment, land use, road infrastructure and proximity to roads. For this purpose, a spatial modeling was carried out at the level of basic urban geostatistical area (AGEB) of the above indicators and of the retail stores that act as attraction poles for freight transport trips. A principal component analysis (PCA) and a cluster analysis were carried out using the K-media method, with support from the statistical software SPSS and the

<sup>1</sup> Profesora de asignatura de la Facultad de Geografía, UAEMex. Licenciada en Geografía y Maestra en Análisis Espacial y Geoinformática.

<sup>2</sup> Profesora de tiempo completo de la Facultad de Geografía, UAEMex. Licenciada en Geografía y Doctora en Urbanismo. Coordinadora de la Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, UAEMEX.

geographic information system QGIS. The results obtained show that the demand for goods in the ZMT is not homogeneous. The AGEBS were grouped by the demand for urban transport of goods and their socio-territorial conditions, finally seven final zones were obtained.

**Keywords.** Urban freight transport, spatial modelling, principal components analysis, cluster analysis, freight demand.

## 1. Introducción

### *El transporte urbano de mercancías*

El transporte urbano de mercancías o transporte de última milla puede considerarse como el último eslabón de la cadena de suministro, el cual está destinado a realizar la entrega de mercancías a la puerta de los distintos comercios que fungen como puntos de venta directa al consumidor. Este tipo de transporte se vuelve vital para la economía de las ciudades, pues facilita el acceso de bienes y productos a la población que vive, trabaja o compra en las áreas urbanas, además de hacer posible la competencia comercial entre las distintas empresas que producen distintos tipos de bienes (Rodrigue, et al., 2006; Cherrett, et al., 2012).

En las últimas décadas ha aumentado la demanda del transporte de carga urbano, pues la acelerada urbanización está estrechamente relacionada con el aumento de las actividades económicas y con la demanda de bienes, mismos que requieren del transporte de carga para ser trasladados; según Herzog (2011), actualmente, en las ciudades de países en desarrollo, más del 50% del tránsito vehicular en las vialidades urbanas corresponde al movimiento del transporte de carga, ya que se requieren importantes volúmenes de mercancías para satisfacer las demandas de la población, puesto que estas mercancías no son elaboradas al interior de la ciudad, sino, en su mayoría, en las zonas industriales que normalmente se encuentran en las periferias; por lo que el transporte de mercancías juega un papel imprescindible para el abasto de bienes, que se traduce, por un lado, en bienestar económico y social de las urbes, pero por otro lado, una actividad que se debe regular para mitigar los impactos negativos que genera.

El estudio referente al transporte urbano de mercancías ha cobrado importancia en las últimas décadas, este interés se debe principalmente a los intentos por reducir los impactos negativos que genera en las ciudades, como su contribución a la congestión vehicular, afectaciones a la movilidad y los impactos de tipo ambiental como las emisiones contaminantes y el ruido, (Nolmark, et al., 2016; Lindholm, 2012). Dichos estudios han estado orientados principalmente, al análisis, por medio de modelos, de la demanda, los impactos, las medidas de regulación y su planificación de este tipo de transporte (Figliozzi, et al., 2018; Kin, et al., 2018; Muñuzuri, et al., 2017; Joubert, 2016; Kijewska e Iwan, 2016; Antún, 2016; Kawamura y Sriraj, 2016; Cherret, et al., 2012; Russo y Comi, 2010; Crainic, et al., 2009).

### *El modelado de transporte urbano de mercancías*

Los modelos son una representación simplificada de la realidad, y en el caso del transporte de mercancías la mayor parte de los modelos se orientan a determinar la demanda, principalmente en términos de volúmenes y de viajes de camiones al interior de la ciudad. En la década de 1970, surgieron los primeros modelos de carga utilizados principalmente para el transporte de carga internacional, nacional o regional (Tavasszy, 2008), sin embargo, estos

modelos no resultaron útiles para modelar el transporte de carga urbano por la escala a la que estaban diseñados, por lo tanto, surgió la necesidad de desarrollar modelos que pudieran considerar las interacciones entre el entorno urbano y el transporte de mercancías. (Toilier, et al., 2018).

De acuerdo con la revisión de la literatura, la mayoría de los estudios de transporte urbano de carga se caracterizan por carecer de un diagnóstico preliminar de las características de la ciudad que pueden incidir en la demanda del transporte de mercancías, los modelos desarrollados prácticamente no incorporan variables de tipo espacial, las variables que se han considerado en la mayoría de los estudios son principalmente de tipo económico, como lo refiere Sánchez-Díaz, et al., (2014) y no se logra diferenciar la demanda dentro de una ciudad en función de sus características, lo que limita la propuesta de estrategias bien diferenciadas en función de esa heterogeneidad.

Anand, et al., (2012), hacen énfasis en que la mayoría de los modelos de transporte urbano tienen pocas conexiones con las características de las ciudades o los criterios espaciales; esto puede deberse a lo que afirman Allen, et al., (2012), que el transporte de carga se ha descuidado en los estudios geográficos, porque muchos investigadores han establecido que el transporte urbano de mercancías está más influenciado por la naturaleza de las actividades económicas en las ciudades que por las características de organización espacial, sin considerar que la organización espacial determina en gran medida la distribución de las actividades económicas (Dablanc, 2010).

Diziain, et al., (2013) y Lindholm (2012) afirman que las actividades de transporte urbano de mercancías también se ven afectadas por factores espaciales y que la falta de un enfoque espacial en el modelado del transporte urbano de mercancías da como resultado modelos poco integrales, lo que puede derivar en imprevistos y efectos negativos a corto plazo en cuanto a planificación del transporte. Actualmente el enfoque espacial para el transporte urbano de mercancías es un enfoque innovador que, por el momento, no se ha explorado a detalle por parte de los investigadores (Ducret, 2015; Alho y Silva, 2014).

#### *Modelado de la demanda de mercancías que considera las características espaciales*

El enfoque espacial es relativamente reciente en los estudios de transporte urbano de mercancías, el cual se ha utilizado en investigaciones en la última década arrojando resultados que enriquecen el conocimiento de este tipo de transporte, así como el impacto que la estructura socio territorial de las ciudades tienen en este, se considera un enfoque innovador por la visión integral que permite tener del sistema de transporte de carga.

En la revisión de literatura se encontraron varios ejemplos de estos trabajos, donde se destaca que la mayoría de las zonas de estudio son ciudades de países desarrollados, y escasamente en ciudades de países en desarrollo. En 2012, en un estudio de Reino Unido se examinó la actividad de transporte de mercancías por carretera y su relación con la ubicación de las instalaciones, la gestión logística y la forma urbana a través de un análisis de 14 áreas urbanas, en éste se sugiere que varios factores geográficos, espaciales y el uso de suelo tienen influencias importantes en la actividad de carga en zonas urbanas. En 2014, en la ciudad de Nueva York, se realizó un análisis exploratorio de los efectos espaciales en un modelo de atracción de viajes de transporte de mercancías, en este estudio se exploró el rol

del entorno urbano y su relación con la atracción de los viajes de carga, los autores exploraron el papel de los atributos comerciales, el uso de la red vial y el uso de suelo. En otro de los estudios revisados, realizado en 2016, se propuso una herramienta para la toma de decisiones en materia de transporte urbano de mercancías en una ciudad francesa, la cual se basó en modelación espacial y análisis clúster, este estudio permitió identificar zonas urbanas homogéneas en función de sus requerimientos de transporte de carga. El objetivo principal de este estudio fue demostrar cómo la modelación espacial puede ayudar a organizar mejor las actividades de distribución de mercancías dentro de las ciudades, a partir de los resultados de este estudio fue posible realizar una vinculación del modelado espacial con el modelado de demanda por sectores de actividad económica, los autores concluyeron que este enfoque integrado puede ser una primera herramienta para el análisis espacial de la distribución de bienes urbanos. Uno de los estudios más recientes fue realizado en Nueva Delhi en 2019, el cual tuvo por objetivo abordar el análisis de la generación de viajes de carga con respecto a variables del entorno, tales como densidad de población, densidad comercial, uso del suelo mixto, para comprobar la influencia de estos factores en los patrones de generación de viajes de carga; en este estudio se concluyó que la estructura espacial de la ciudad es un factor crucial para la ubicación de todas las entidades receptoras de carga (Allen, et al., 2012; Sánchez-Díaz, et al., 2014; Ducret, et al., 2016; De Bakshi, et al., 2019)

**El objetivo de este documento es mostrar que los elementos socio-territoriales de las urbes no son iguales en toda la ciudad, como tampoco lo es la demanda de mercancías, mediante la modelación espacial realizada en un SIG; con la finalidad de identificar zonas homogéneas en función de su demanda de transporte de carga y características socio-territoriales, que pretende ser un apoyo a la toma de decisiones en materia de planificación, donde, en una segunda etapa, se puedan proponer medidas de regulación específicas para el transporte urbano de mercancías dependiendo de las características de la zona donde opera.**

## 2. Zona de estudio

El área de estudio es la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), la cual es considerada la quinta zona metropolitana con mayor número de habitantes en México y la segunda a nivel estatal, está conformada por 15 municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. Ver Figura 1.

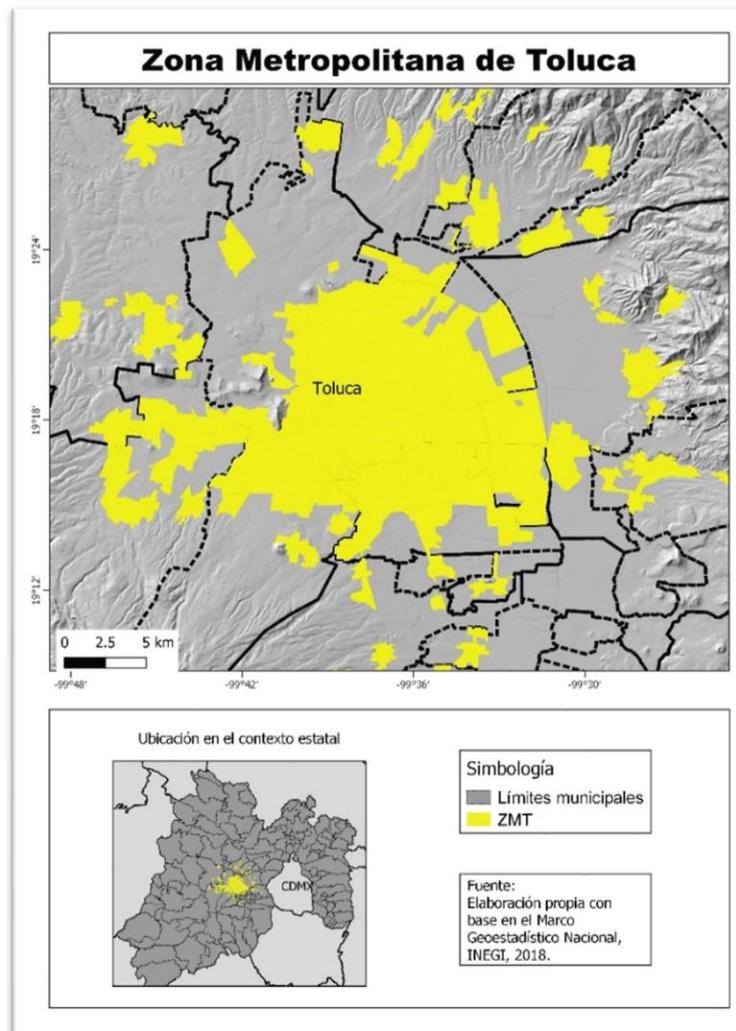


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Tiene una población aproximada de dos millones de habitantes (INEGI-CONAPO, 2018). Con la industrialización de la zona que surgió en la década de los sesenta (Rendón, et al., 2016) y el crecimiento del sector terciario en los años ochenta, es considerada una de las zonas metropolitanas más dinámicas del país. Su dinámica económica está basada principalmente en el sector terciario, de las 95,000 unidades económicas ubicadas en la ZMT, prácticamente el 90% pertenece a este sector (INEGI, 2018).

El sector terciario está conformado por 48,000 comercios aproximadamente y por 39,000 unidades económicas correspondientes a servicios. El subsector comercial está constituido prácticamente por comercios minoristas (94%), los cuales se abastecen por medio del transporte urbano de mercancías, lo que representa un aspecto clave que permite inferir la alta demanda de viajes de transporte de carga en la zona de estudio.

### 3. Materiales y métodos

Es un estudio de carácter cuantitativo, de tipo transversal, en el cual se determinaron una serie de variables con base en la revisión de literatura de estudios de modelación de la demanda de transporte urbano de mercancías, ver Tabla 1.

El análisis se efectuó con información vectorial a escala de Área Geostadística Básica (AGEB) urbana, la cual está definida como el área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera, y se encuentran al interior de zonas urbanas, (INEGI, 2008).

Tabla 1. Variables utilizadas

Variable	Indicador
<b>Uso de suelo</b>	Densidad comercial Densidad industrial Densidad habitacional Densidad de servicios
<b>Red vial</b>	Densidad de vialidades regionales Densidad de vialidades primarias Densidad de vialidades secundarias Densidad de vialidades locales
<b>Población</b>	Densidad de la población
<b>Proximidad</b>	Distancia a la red vial regional o primaria
<b>Empleo</b>	Densidad de empleo
<b>Ingreso</b>	Nivel de ingreso
<b>Viviendas</b>	Tipo de vivienda
<b>Edad de la población</b>	Población de 15 a 64 años
<b>Establecimientos comerciales</b>	Comercios minoristas

Una vez recopilados los datos de cada variable, se integró la información proveniente de las bases de datos al archivo vectorial, posteriormente fue necesaria su estandarización para tener todos los datos en las mismas unidades, para ello se utilizó el método de estandarización conocido como *valor Z*, (Buzai, et al., 2012) con la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{x - \bar{\mu}}{\sigma}$$

Donde  $x$  es el valor observado,  $\mu$  la media de los datos y  $\sigma$  la desviación estándar del conjunto de datos.

Una vez que se tuvo la información vectorial con los datos estandarizados, se procedió a aplicar una serie de métodos estadísticos para determinar la diferencia entre cada AGEB en función de su demanda de transporte de mercancías y sus características socio-territoriales; para ello se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis clúster, los cuales se realizaron en el programa estadístico SPSS.

El ACP es útil para estudiar las relaciones que se presentan entre  $p$  variables correlacionadas, con el cual se puede transformar el conjunto original de variables en un nuevo conjunto donde las variables no estén correlacionadas, en otras palabras, es reducir las variables para evitar repetición o redundancia en la información (Zapotitla, s/f).

Antes de realizar el APC fue necesario verificar la factibilidad de su realización, para ello se analizaron los resultados de la Prueba Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), la prueba de esfericidad de Bartlett y la revisión de la matriz anti-imagen.

La prueba KMO contrasta si las correlaciones parciales entre las variables son pequeñas y toma valores entre 0 y 1, donde los valores altos indican que es adecuado el uso de APC; mientras que la de esfericidad de Bartlett contrasta si la matriz de correlaciones es una matriz identidad y proporciona un valor del nivel de significancia, los valores muy bajos descartan la matriz de identidad y reflejan la idoneidad del APC. La matriz anti-imagen se forma por los coeficientes de correlación parcial, los cuales deben tener un valor bajo, y los elementos de la diagonal, que son similares al estadístico KMO para cada par de variables, donde lo ideal es que sean valores cercanos a 1 para determinar la factibilidad del análisis (De la Fuente, 2011).

Una vez determinada la factibilidad del ACP se redujeron las variables originales los componentes principales. Definidos los componentes se procedió al análisis de clúster, el cual es una técnica de agrupamiento está basado en la similitud de las observaciones, cuya utilidad es poder obtener grupos homogéneos; primeramente, se utilizó el clúster jerárquico con el método de Ward, el cual une los casos buscando minimizar la varianza dentro de cada grupo, este procedimiento crea grupos homogéneos y con tamaños similares para determinar el número de clúster óptimos a aplicar posteriormente con el método de K-medias el cual permitió asignar cada observación (AGEB) al clúster que se encuentra más próximo en términos la media (Balzarini, et al., 2015); con ello se realizó la agrupación del número de casos en función de los componentes principales socio-territoriales definidos en la etapa anterior y el número de comercios minoristas.

Con apoyo del sistema de información geográfica de código libre QGIS, se integró la información obtenida al archivo cartográfico de AGEB, con lo que fue posible espacializar y representar cartográficamente las zonas homogéneas en función de la demanda de transporte urbano de mercancías y las características socio territoriales de cada AGEB.

#### 4. Resultados y discusión

##### *Análisis de componentes principales*

##### *Pruebas KMO y esfericidad de Bartlett*

En la prueba KMO el valor resultante fue de 0.626, lo que indica que es factible aplicar el análisis a las variables en estudio. Respecto a la prueba de esfericidad de Bartlett el valor de significancia fue de 0.000, lo cual indica que la matriz de datos es válida para continuar con el proceso de análisis de componentes principales, (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Prueba KMO y esfericidad de Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	.626
Prueba de esfericidad de BartlettAprox. Chi-cuadrado	7824.044
gl	91
Sig.	.000

#### *Matriz de correlación anti-imagen*

La matriz de correlación anti-imagen mostró, seis valores que se pueden considerar altos y no se detectaron valores cero, lo que indica la pertinencia de aplicar el análisis; se realizaron varias pruebas modificando el número de variables, descartando las que en la matriz anti-imagen mostraban los valores más bajos en la diagonal, sin embargo, el valor de la Prueba KMO disminuía, por lo que se decidió incluir todas las variables iniciales.

En esta etapa previa al ACP se comprobó la pertinencia y validez de la matriz de datos, lo que permitió proceder a la etapa de extracción de los componentes a través de la agrupación de las 14 variables originales.

#### *Comunalidades*

La comunalidad de una variable es la proporción de su varianza que puede ser explicada por el modelo factorial obtenido. Las variables mejores explicadas por el modelo son: Población de 15 a 64 años, Ingreso, Tipo de vivienda, Densidad de servicios y Densidad de población, ver Tabla 3.

Tabla 3. Comunalidades

	Inicial	Extracción
<b>Población15_64</b>	1.000	.940
<b>Ingreso</b>	1.000	.903
<b>Tipo de vivienda</b>	1.000	.991
<b>Distancia Red vial</b>	1.000	.584
<b>Densidad industrial</b>	1.000	.411
<b>Densidad Habitacional</b>	1.000	.887
<b>Densidad comercial</b>	1.000	.798
<b>Densidad de servicios</b>	1.000	.917
<b>Densidad de población</b>	1.000	.915
<b>Densidad de empleo</b>	1.000	.799
<b>Densidad de vías regionales</b>	1.000	.312

<b>Densidad de vías primarias</b>	1.000	.522
<b>Densidad de vías secundarias</b>	1.000	.291
<b>Densidad de vías locales</b>	1.000	.443
<b>Método de extracción: análisis de componentes principales.</b>		

### *Varianza total explicada*

La tabla de varianza total explicada (ver tabla 4) muestra una selección de cuatro componentes principales que cumplen con un autovalor mayor a 1, como se puede observar, estos cuatro componentes explican el 69% de la varianza, dicho de otro modo, estos cuatro factores pueden representar el 69% del problema original con una pérdida del 31% de la información.

Tabla 4. Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	4.138	29.558	29.558	4.138	29.558	29.558	3.036	21.686	21.686
2	2.666	19.045	48.603	2.666	19.045	48.603	2.914	20.817	42.504
3	1.754	12.528	61.131	1.754	12.528	61.131	2.387	17.047	59.551
4	1.154	8.244	69.375	1.154	8.244	69.375	1.375	9.824	69.375
5	.955	6.824	76.199						
6	.879	6.278	82.476						
7	.714	5.099	87.575						
8	.641	4.578	92.153						
9	.589	4.208	96.361						
10	.313	2.236	98.597						
11	.122	.872	99.468						
12	.064	.456	99.924						
13	.007	.047	99.972						
14	.004	.028	100.000						
Método de extracción: análisis de componentes principales.									

### *Gráfico de sedimentación*

El gráfico de sedimentación muestra los cuatro componentes o factores que se obtuvieron (variables con autovalor mayor a 1), ver Figura 2.

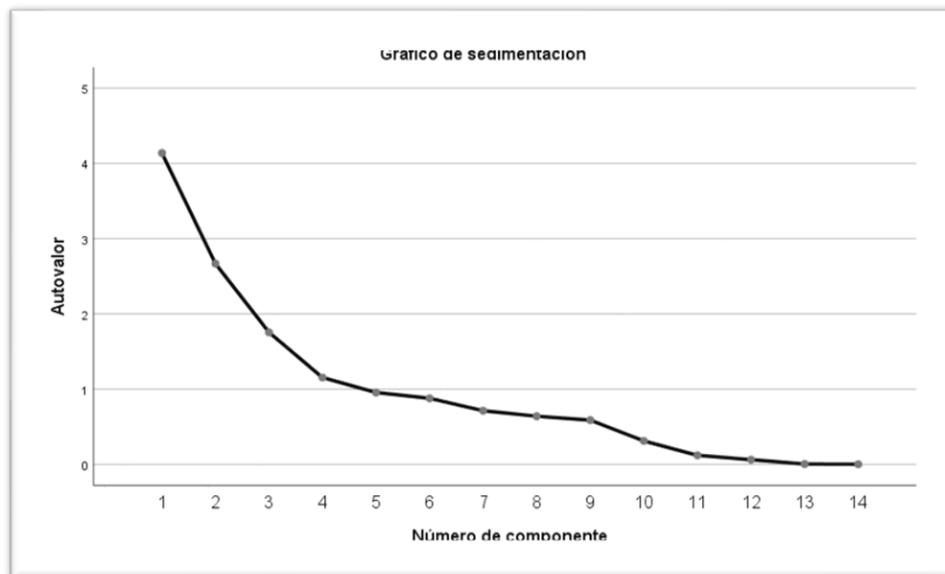


Figura 2. Gráfico de sedimentación

*Componentes obtenidos*

Finalmente, al observar la matriz rotada se observan los componentes y sus respectivos valores para cada indicador, ver Tabla 5.

Tabla 5. Matriz rotada

	Componente			
	1	2	3	4
Densidad de servicios	.935	.050	.147	.138
Densidad comercial	.890	-.009	.061	-.056
Densidad de empleo	.879	.009	-.008	.164
Densidad industrial	.518	.239	.291	.031
Tipo de vivienda	.057	.987	.114	.010
Población de 15-64	.028	.967	.045	-.051
Ingreso	.080	.922	.183	.110
Densidad de población	.106	.193	.930	.042
Densidad habitacional	.107	.188	.914	.075
Densidad de vías locales	.046	-.023	.663	.022
Distancia a la red vial	-.092	-.039	-.163	-.740
Densidad vías regionales	-.076	-.058	-.104	.540
Densidad vías primarias	.488	.000	-.058	.530
Densidad vías secundarias	.207	.132	.217	.428

Método de extracción: análisis de componentes principales.  
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.<sup>a</sup>

La Tabla 6 resume los cuatro componentes obtenidos y sus respectivos indicadores.

Tabla 6. Componentes principales

Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Densidad de servicios	Tipo de vivienda	Densidad de población	Distancia a la red vial
Densidad comercial	Población de 15-64	Densidad habitacional	Densidad de vías regionales
Densidad de empleo	Ingreso	Densidad de vías locales	Densidad de vías primarias
Densidad industrial			Densidad de vías secundarias

Los 14 indicadores seleccionados se reducen a 4 componentes los cuales se pueden denominar de la siguiente manera: 1) Actividad económica; 2) Socioeconómico; 3) Habitacional y 4) Vías de comunicación, representan cuatro ejes para el estudio de las características socio territoriales de la ciudad y su relación con demanda de transporte urbano de mercancías.

### Análisis clúster

#### Clúster jerárquico

El dendograma, muestra las agrupaciones realizadas en distintas distancias re-escaladas: 5, 10 y 15, cada una de estas con cierto número de grupos y con distancias verticales distintas en cada agrupación. En el caso 5 se formaron nueve grupos con una distancia vertical pequeña, lo que indica una mayor homogeneidad dentro de estos grupos; en la 10 se forman cinco grupos, con una distancia vertical mayor lo que indica que la homogeneidad entre sus grupos es menor en comparación a la anterior; y finalmente en la 15 se formaron 3 agrupaciones con distancias verticales mayores que las dos anteriores, lo que indica que sus agrupaciones son menos homogéneas que las dos primeras. Trabajar un número elevado de agrupaciones, puede asegurar mayor homogeneidad, sin embargo, puede resultar muy complejo, trabajar con pocos clústeres no asegura la homogeneidad de los mismos, por lo anterior, se decidió trabajar con cinco clústeres, los cuales se obtienen en la distancia re-escalada 10, ver Figura 3.

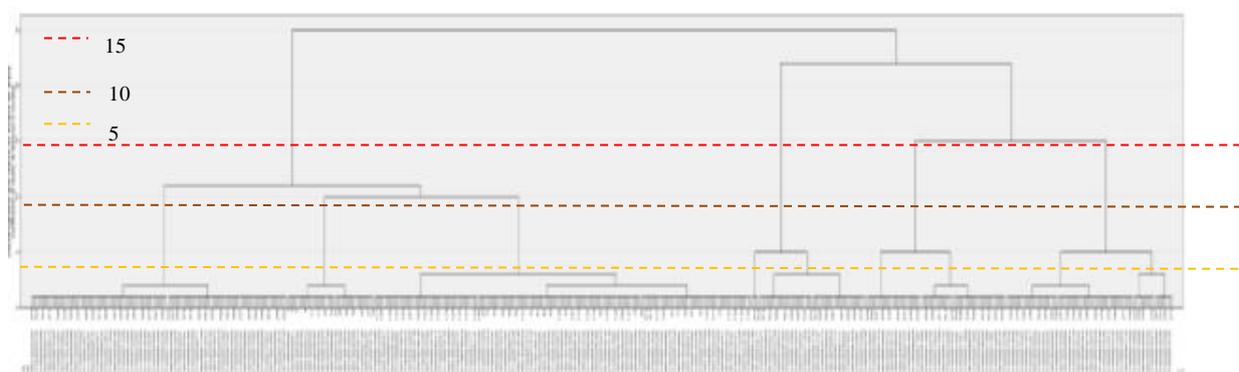


Figura 3. Dendograma obtenido del clúster jerárquico

### Clúster por el método de K-medias

El método K-medias para agrupar los casos (AGEB) en función de la similitud entre los cuatro componentes obtenidos (actividad económica, socioeconómico, habitacional y vías de comunicación), se aplicó considerando cinco clústeres, obtenidos por el método jerárquico.

Con base en el resultado de la Tabla 7 que contiene los centros de los clústeres finales se identificaron los componentes que predominan en cada agrupación. En el caso del clúster uno se observa que son AGEBS habitacionales con baja actividad económica y poca conectividad; en el caso del clúster dos son las AGEBS con alta densidad de población, con alta actividad económica y alta conectividad; el clúster tres se caracteriza por agrupar las AGEBS con la mayor actividad económica; el clúster cuatro son AGEBS habitacionales con actividad económica y conectividad media; y finalmente el clúster cinco se caracteriza por tener la mayor conectividad, pero con baja presencia de actividad económica y poblacional.

Tabla 7. Centros de los clústeres finales

	Clúster				
	1	2	3	4	5
<b>Componente 1 Actividades económicas</b>	-0.02468	0.10537	9.94082	0.00906	-0.1923
<b>Componente 2 Socioeconómico</b>	-0.19049	1.09457	-1.22286	-0.23592	-0.66129
<b>Componente 3 Habitacional</b>	-0.36351	-0.05418	-1.53694	2.21811	-0.36546
<b>Componente 4 Vías de comunicación</b>	-1.3875	0.25548	-1.16026	0.03274	0.26244

El resultado de las distancias entre los centros de los clústeres finales muestra que la diferencia más significativa está entre los clústeres tres y cuatro y los más similares son los clústeres uno y cinco, ver Tabla 8.

Tabla 8. Distancia entre clústeres finales

Distancias entre centros de clústeres finales					
Clúster	1	2	3	4	5
1		2.113	10.090	2.947	1.724
2	2.113		10.311	2.644	1.808
3	10.090	10.311		10.730	10.315
4	2.947	2.644	10.730		2.636
5	1.724	1.808	10.315	2.636	

El clúster que más casos tiene es el clúster número cinco, que representa el 44% de las AGEBS seguido del número dos, el clúster tres agrupó sólo cuatro AGEBS, el número de casos en cada clúster se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Número de casos en cada clúster

Clúster	1	78
	2	166
	3	4
	4	53
	5	198

Posteriormente se realizó la agrupación con k-medias únicamente de los comercios minoristas, del cual se obtuvieron tres clústeres, la Tabla 10 muestra los centros de los clústeres obtenidos con lo que se puede apreciar los valores de la media para cada uno de ellos y se puede constatar que el clúster uno es el que menos concentración tiene de comercios minoristas, el clúster dos tiene una concentración media y el clúster tres es el que tiene la mayor concentración.

Tabla 10. Centro de los clústeres de comercios minoristas

	Clúster		
	1	2	3
Comercios minoristas	-.55762	.68139	3.21547

Con la Tabla 11 que muestra la distancia entre clústeres, es posible notar que los grupos son distintos entre sí, donde la mayor diferencia se encuentra entre el clúster uno y el clúster tres.

Tabla 11. Distancia entre clústeres

Clúster	1	2	3
1		1.239	3.773
2	1.239		2.534
3	3.773	2.534	

La Tabla 12 muestra las AGEBS conforme al clúster al que pertenecen, el clúster número uno concentra el 59% de los elementos, el clúster dos el 37%, mientras que el número tres concentra únicamente el 4%, sin embargo, al ser el que tiene una mayor concentración de comercios, es el que indica una mayor prioridad.

Tabla 12. Número de casos en cada clúster

Clúster	1	292
	2	185

	3	22
--	---	----

### Representación espacial de los resultados obtenidos

La Figura 4, muestra la agrupación de las AGEBS en función de sus características socio territoriales. Como sucede en la mayoría de las ciudades, el centro histórico es uno de los polígonos que más actividad económica registra, con densidad de vialidades media y baja densidad de población; las periferias de la mancha urbana se distinguen por tener una mayor densidad de vías y menor actividad económica, mientras que las altas densidades de población se distinguen alrededor de la zona centro.

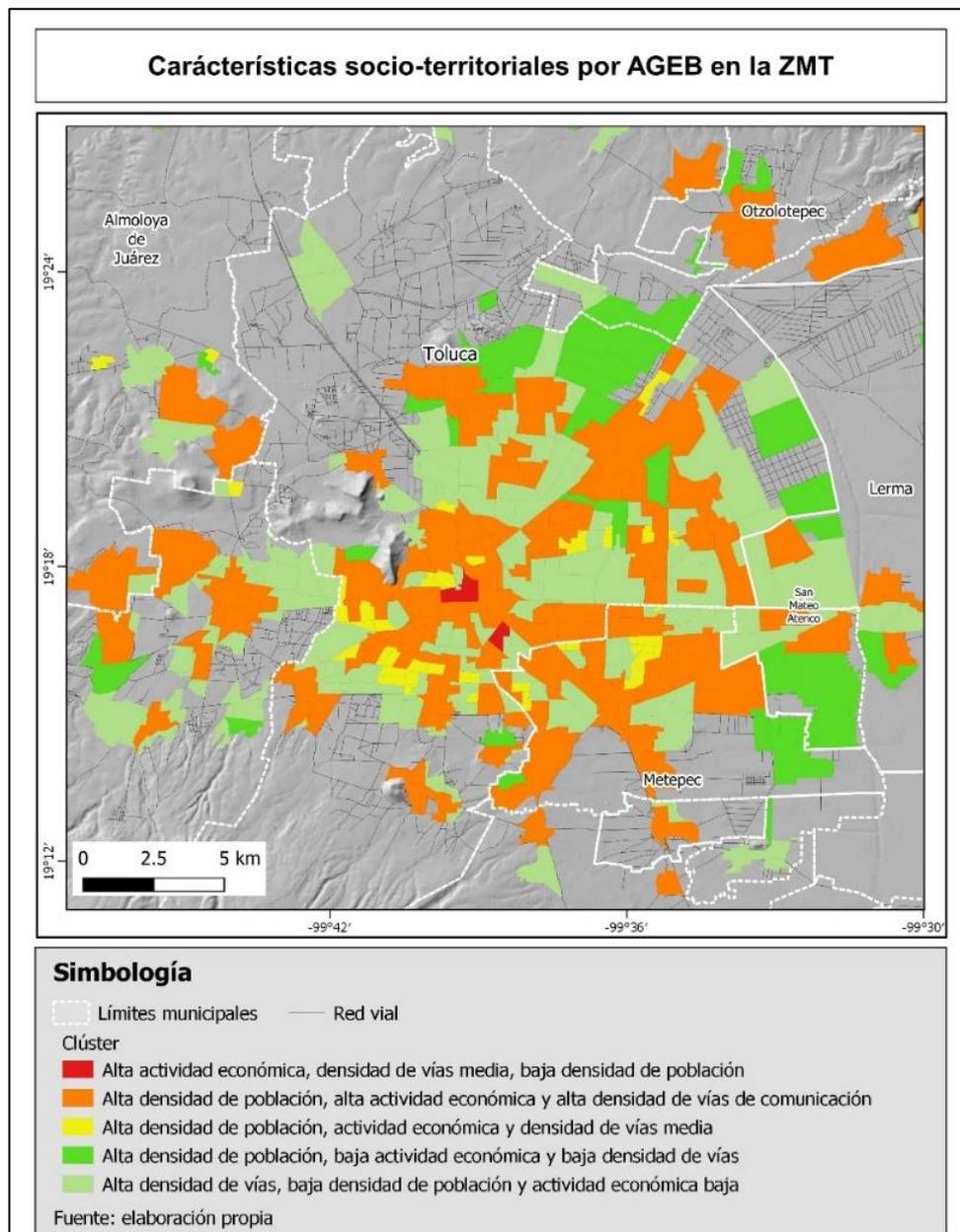


Figura 4. Mapa de las características socio-territoriales por AGEB en la ZMT

La Figura 5, muestra la agrupación de las AGEBs en función de la concentración de comercios minoristas, los cuales funcionan como atractores de transporte de mercancías.

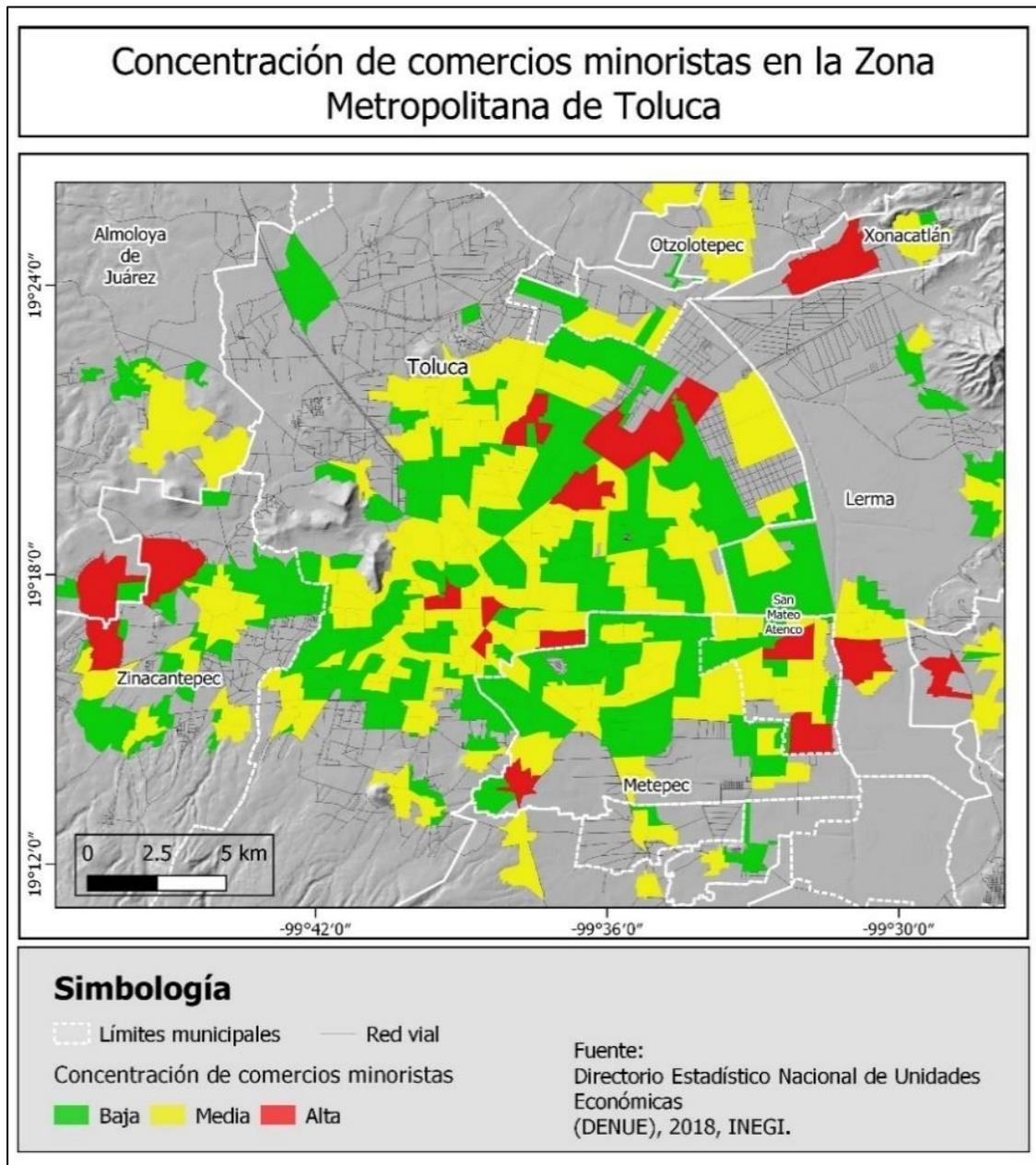


Figura 5. Concentración de comercios minoristas en la ZMT

Como se puede apreciar, las zonas con mayor concentración de comercios minoristas se encuentran dispersas en ocho de los 15 municipios que conforman la ZMT; siendo el municipio de Toluca el que mayor número de polígonos tiene con estas características, destaca nuevamente el centro histórico de la ciudad de Toluca y la porción nororiente del municipio, además de las cabeceras municipales de la mayoría de los municipios periféricos.

A partir de la información anterior, se realizó una sobreposición de los clústeres obtenidos para poder determinar zonas homogéneas en función de la demanda de mercancías y a las características socio territoriales que predominan en cada AGEB, con ello se obtuvieron siete zonas finales las cuales se muestran en la Figura 6.

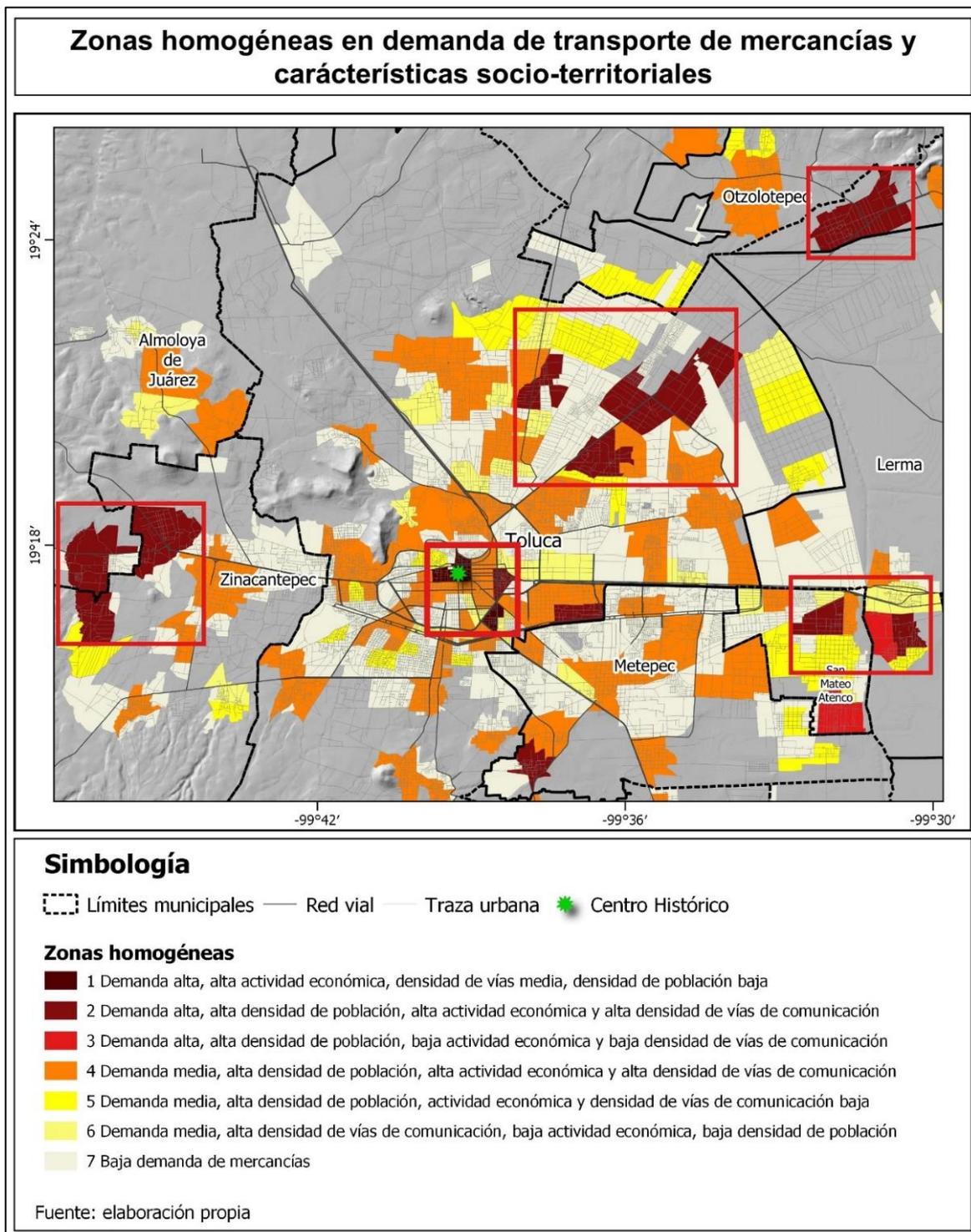


Figura 6. Zonas de demanda de mercancías y características socio-territoriales homogéneas

La zona siete es la que más predomina en la ZMT, seguido de la zona cuatro; en menor proporción se observan las zonas uno, dos y tres, sin embargo, esas zonas son las que más atención deben recibir dadas sus características y demanda. La Tabla 13 muestra el número de AGEB por zona y tipo de demanda.

Tabla 13. Zonas por su demanda de mercancías y características socio territoriales

<b>Demanda</b>	<b>Zona</b>	<b>No. de AGEB</b>
<b>Alta</b>	1	4
	2	15
	3	3
<b>Media</b>	4	114
	5	37
	6	34
<b>Baja</b>	7	292

*Zonas uno, dos y tres: alta demanda de transporte de mercancías*

Se identificaron 22 AGEBs con alta concentración de comercios minoristas lo que se traduce en polos de alta demanda de transporte de mercancías, los cuales, a su vez se clasificaron en tres zonas donde es posible destacar distintas características socio-territoriales.

La zona uno corresponde al centro histórico de la ciudad de Toluca y al polígono donde se ubica la terminal de autobuses más importante del área metropolitana; esta zona resulta prioritaria en la regulación del transporte de mercancías dada la dinámica económica que la caracteriza, en el primer caso por ser el centro de servicios y comercio de la ZMT, y en el segundo caso por la alta actividad comercial que registra, sumando a estas características, la densidad de vías no es alta por lo que puede ser un indicador importante de problemas de congestión vehicular.

La zona dos se cataloga como de uso de suelo mixto, tanto habitacional como de actividad económica, con buena conectividad en vías de comunicación, pero donde el transporte de mercancías ocasiona impactos negativos debido a la alta demanda, las AGEBs pertenecientes a esta zona se observan principalmente en la zona norte de Toluca donde se ubica la central de abasto y en zonas aledañas al aeropuerto, así como en los municipios de la periferia.

La zona tres se encuentra dispersa en la periferia de la ciudad de Toluca, con una densidad de población alta, sin embargo, con un déficit de vías de comunicación lo que puede representar un problema serio para las entregas del transporte de mercancías y la saturación de las vías de comunicación por parte del transporte de carga.

Estas tres zonas pueden catalogarse como áreas prioritarias para la aplicación de regulaciones específicas el transporte urbano de mercancías, donde se puedan considerar las características de cada zona para generar estrategias específicas por parte de las autoridades locales.

*Zonas cuatro, cinco y seis: demanda de transporte de mercancías media*

Estas zonas concentran el 37% de las AGEBs (185), tienen una demanda de transporte de mercancías importante, aunque en menor medida que las primeras tres zonas, estas también están diferenciadas por sus características territoriales.

La zona cuatro es la que más predomina en la ZMT, caracterizada por usos de suelo mixtos y una densidad de vías alta, se encuentra en gran parte de la zona centro, norte y noreste de Toluca, y en todas las cabeceras municipales; al igual que la zona dos puede tener impactos negativos aunque en menor escala dada la dinámica que se aprecia en estos lugares, sin embargo, se vuelven zonas prioritarias para la regulación del transporte de mercancías con la finalidad de prevenir el aumento de los impactos negativos.

La zona cinco no tiene una presencia importante de actividades económicas, sin embargo, el principal problema es la poca densidad en vías de comunicación y la alta densidad poblacional, lo que puede implicar una problemática para el abasto de mercancías, esta zona se observa principalmente en las periferias de la ZMT.

La zona seis es una zona que no presenta mayor problemática, son AGEB con alta densidad de vías, sin embargo, no tienen una actividad económica alta, ni elevada densidad de población por lo que, hasta el momento, no implica un problema en materia de transporte de mercancías como tal, esta zona puede convertirse en lugares óptimos para dar cabida a infraestructura especial para este transporte.

#### *Zona 7: baja demanda de transporte de mercancías*

El resto de las AGEBs (292) se concentran en esta zona, hasta cierto punto, actualmente no es una zona prioritaria dada la poca demanda de transporte de mercancías, sin embargo, es conveniente tener un seguimiento del crecimiento de actividades económicas en el sector minorista porque ello conllevaría a un aumento de transporte de mercancías, donde será necesario intervenir para regularlo en vías a prevenir los impactos negativos que este pudiera generar.

Aunque el estudio se ha realizado en una zona metropolitana de un país en desarrollo, se puede coincidir con los hallazgos del estudio de Ducret, et al., (2016), en ciudades francesas, donde afirman que al interior de las ciudades existen zonas bien diferenciadas en cuanto a sus elementos socioeconómicos e infraestructura y que estos tienen un impacto directo en la demanda de mercancías.

## **5. Conclusiones y/o recomendaciones**

La disponibilidad de software de sistemas de información geográfica (SIG) abre la posibilidad a los investigadores de explorar modelos innovadores que incorporen la ubicación de las actividades económicas y el contexto territorial donde se pueda captar la relación y el impacto de las características territoriales en las decisiones logísticas.

Analizar la demanda del transporte urbano de mercancías desde una perspectiva espacial, que incluya elementos socio-territoriales de las ciudades permite tener una visión particular de cada zona según su demanda y características, lo cual puede ser un enfoque útil e innovador para la planificación del transporte de mercancías en las ciudades. La mayoría de las ocasiones las normas reguladoras de este tipo de transporte y las políticas encaminadas a mejorar la movilidad en las ciudades se hacen de manera generalizada, considerando la

ciudad como un espacio homogéneo con las mismas condiciones y demanda, lo que muchas veces genera imprevistos y resultados negativos a mediano y largo plazo (Lindholm, 2012).

Tener una zonificación del territorio permite identificar zonas prioritarias para poder regular actividades y aplicar políticas pertinentes atendiendo sus características, considerando no sólo la actividad per se, sino en conjunto con las características espaciales del lugar donde opera, lo que puede coadyuvar a la mejor toma de decisiones en materia de movilidad, a mejorar la eficiencia de este tipo de transporte y a prevenir o mitigar los impactos negativos que este genera.

La zonificación presentada en este documento se ha hecho con base en los límites oficializados para levantamiento de información estadística, sin embargo, se recomienda explorar diferentes opciones para realizar la zonificación con la finalidad de determinar la factibilidad, con la intención de mejorar la zonificación y las propuestas que en ellas se generen. Además, se considera conveniente probar esta metodología en otra zona metropolitana del país con la finalidad de verificar su replicabilidad.

## Referencias

Alho, A., y Silva, J. (2014). Analyzing the relation between land-use/urban freight operations and the need for dedicated infrastructure/enforcement — Application to the city of Lisbon. *Research in Transportation Business y Management*, 11, 85-97.

Allen, J., Browne, M., y Cherrett, T. (2012). Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form. *Journal of Transport Geography*, 24, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.06.010>

Anand, N., Quak, H., Van Duin, R., y Tavasszy, L. (2012). City logistics modeling efforts: Trends and Gaps - A review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.094>

Antún, J. (2016). Corporative Trends in Urban Distribution of Goods in Mexico City. *Transportation Research Procedia*, 18, 51 – 58. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.007>

Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M. e I. Teich (2015). Herramientas en el análisis estadístico multivariado. Escuela Virtual Internacional CAVILA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Buzai, G. y C. Baxendale (2012). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica: ordenamiento territorial, temáticas de base vectorial*. Lugar Editorial, Buenos Aires, Argentina.

Cherrett, T., Allen, J., McLeod, F., Maynar, S., Hickford, A., y Browne, M. (2012). Understanding urban freight activity – key issues for freight planning. *Journal of Transport Geography*(24), 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.05.008>

Crainic, T., y Ricciardi, N. (2009). Models for evaluating and planning City Logistics systems. *Transportation Science*, 43(4), 432-454. DOI: 10.1287/trsc.1090.0279

Dablanc, L., y Rakotonarivo, D. (2010). The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it?. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6087–6096. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.021>

De la Fuente, S. (2011). *Componentes Principales*. Facultad de Ciencias Económicas y empresariales. Universidad Autónoma de Madrid.

De Bakshi, N., Tiwari, G., y B. Nomesh (2019). Influence of urban form on urban freight trip generation. *Case Studies on Transport Policy*, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.04.004>

Diziain, D., Gardrat, M., y Routhier, J. (2013). Far from the Capitals: what are the relevant city logistics public policies? 13th World Conference on Transport Research, (pág. 16). Rio de Janeiro.

Ducret, R. (2015). *Nouvelles organisations de la distribution urbaine descolis sur le dernier kilomètre : innover par une approche spatiale*. Paris, Francia: Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Ducret, R., Lemarié, B., y Roset, A. (2016). Cluster analysis and spatial modeling for urban freight. Identifying homogeneous urban zones based on urban form and logistics characteristics. *Transportation Research Procedia* (12), 301-313. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.067>

Figliozzi, M., Saenz, J., y Faulin, J. (2018). Minimization of urban freight distribution lifecycle Co2e emissions: Results from an optimization model and a real-world case study. *Transport Policy*, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.06.010>

Herzog, B. (2011). *Transporte urbano de carga para ciudades en desarrollo*. Eschborn, Alemania: Dominik Schmid.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2008). *Glosario: Definición de AGEB*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=ageb>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2010). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2010*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2018). *Directorio Nacional de Unidades Económicas, DENUÉ, 2018*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/directorio/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía y Consejo Nacional de Población [INEGI-CONAPO] (2018). *Delimitación de zonas metropolitanas de México 2015*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>

Joubert, J. (2016). Evaluating the efficiency of urban activity chains. *Transportation Research Procedia*, 12, 132 – 141. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.053>

Kawamura, K., y Sriraj, P. (2016). Building freight-friendly environment. *Transportation Research Procedia*, 12, 119 – 131. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.052>

- Kijewska, K., y Iwan, S. (2016). Analysis of the functioning of urban deliveries in the city center and its environmental impact based on Szczecin example. *Transportation Research Procedia*, 12, 739 – 749. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.028>
- Kin, B., Spoor, J., Verlinde, S., Macharis, C., y Woensel, T. v. (2018). Modelling alternative distribution set-ups for fragmented last mile transport: towards more efficient and sustainable urban freight transport. *Case studies on Transport Policy*. DOI: 10.1016/j.cstp.2017.11.009
- Lindholm, M. (2012). How local authority decision makers address freight transport in the urban area. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 134 – 145. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.096>
- Muñuzuri, J., Grosso, R., Escudero, A., y Cortés, P. (2017). Distribución de mercancías y desarrollo urbano sostenible. *Revista Transporte y Territorio* (17), 34-58. <https://doi.org/10.34096/rtt.i17.3866>.
- Nolmark, H., Browne, M., Giulano, G., y Holguín-Veras, J. (2016). La importancia del transporte de carga. Estrategias para transportar bienes en áreas metropolitanas. Nueva York: RPA-VREF.
- Rendón, L. y Godínez, J. (2016). Evolución y cambio industrial en las Zonas Metropolitanas del Valle de México y de Toluca, 1993-2008. *Revista Análisis Económico*. Vol. XXXI, No. 77. Universidad Autónoma de México, Unidad Azcapotzalco, México.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., y Slack, B. (2006). *The Geography of Transport Systems*. Abingdon, Oxon: Routledge.
- Russo, F., y Comi, A. (2010). A modelling system to simulate goods movements at an urban scale. *Transportation*, 1-23. DOI: 10.1007/s11116-010-9276-y
- Sánchez-Díaz, I., Holguín-Veras, J. & Wang, X. An exploratory analysis of spatial effects on freight trip attraction. *Transportation* 43, 177–196 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9570-1>
- Tavasszy, L. (2008). Freight Modeling, An Overview of International Experiences. In *Freight Demand Modeling: Tools for Public-sector Decision Making*. *Transportation Research Board.*, 40, 27.
- Toilier, F., Gardrat, M., Routhier, J., y Bonnafous, A. (2018). Freight transport modelling in urban areas: the French case of the FRETURB. *Case Studies on Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.09.009>
- Zapotitla, J. (Sin fecha). Análisis de componentes principales. Instituto de Ingeniería, UNAM.