

Artículos

Patrones de viajes por motivo de trabajo, escuela y compras en la Zona Metropolitana de Querétaro

Work, study and shopping trip patterns in the Queretaro Metropolitan Area

Saúl Antonio Obregón Biosca*

Resumen

Las zonas metropolitanas concentran población y atraen actividades económicas, induciendo la necesidad de realizar viajes dentro de su territorio. Por ello, la presente investigación analiza las características y distribución espacial de los viajes por motivos tanto obligados como opcionales en los principales medios de transporte, y se emplea la encuesta Origen Destino para analizar el modelo clásico de la movilidad. Los resultados muestran que el autobús es el principal medio para realizar desplazamientos por motivo educativos, mientras el automóvil es mayormente utilizado con propósitos de compras y de trabajo, además que la centralidad de la residencia se relaciona directamente con la del empleo.

Palabras clave: movilidad obligada, movilidad opcional, transporte, patrones de viaje.

* Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería. Dirección: Cerro de las Campanas s/n, Las Campanas, 76010, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. Correo: saul.obregon@uaq.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6915-4671>

Agradecimientos: La presente investigación contó con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México a través del contrato CB-2015-257525-S. Se reconoce y agradece a Gabriel Álvarez por su apoyo en el procesamiento de los datos, y a Jehovanny Pérez por el apoyo gráfico.

Abstract

The population and the economic activities in a region are attracted to the metropolitan areas, inducing travel needs. This research analyzes the characteristics and spatial distribution of the mandatory and optional trips by transport means, using an Origin Destination Survey for the classic transport model. The results show that the bus is used for school mobility, while the car is mostly used for shopping and work; and that the centrality level of residence is directly related to the job centrality.

Keywords: *mandatory mobility, optional trips, transportation, travel patterns.*

1. Introducción

En coincidencia con Obregón y Betanzo (2015) y Amézquita, Durán y Fajardo (2016), la movilidad es importante porque permite a los individuos desplazarse de un punto a otro para realizar las actividades cotidianas. Para ello, en las ciudades es imprescindible contar con un sistema de transporte e infraestructura adecuados que posibiliten a la población la movilidad y la accesibilidad a los servicios (Jiménez, de Hoyos y Álvarez, 2014). Para lograr una planificación integral de la movilidad, Aón, Giglio y Cola (2017) sostienen que es necesario analizar las características y el comportamiento de los desplazamientos en las urbes.

En el sentido de la movilidad obligada, Villarreal (2009) percibe en la Ciudad de México que la concentración del empleo formal se presenta en la zona central, obligando a la población de las periferias a desplazarse, incrementando la circulación vehicular, la contaminación ambiental, el tiempo y el costo del traslado, lo que afecta a la población y a la economía en su conjunto. Aunado a lo anterior, los viajes por motivo de escuela representan una proporción cercana al 20%, lo que contribuye significativamente a la congestión vehicular en las horas pico (Cairns et al., 2004).

Los desplazamientos ligados a las mercancías, incluyendo la distribución, y los que realiza la población para realizar las compras, representan al menos 20% de la circulación urbana (CERTU, 2007).

Autores como Betanzo (2015), Vahí y Hurtado (2017) y Hani (2009) coinciden en que los centros de compras concentran grandes flujos de personas, por lo que es de interés conocer las características de dichos desplazamientos para lograr, así, la planificación integral expuesta en Aón, Giglio y Cola (2017).

Para analizar los patrones y las características de los desplazamientos, es necesaria la recopilación de datos a través de las encuestas Origen Destino (Teixeira, 2016). A partir de dicha información, Obregón y Bueno (2015) destacan la necesidad de estudiar los flujos de los desplazamientos por motivo de viajes mediante el análisis detallado de las gravitaciones entre zonas. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo analizar las características de los patrones de viaje por motivos obligados y opcionales en los principales medios de transporte, considerando su distribución espacial y la ubicación de la residencia del viajero. Dicho análisis permitirá responder los siguientes supuestos: el primero, ¿qué coincidencias y diferencias se observan entre las características de los viajes obligados y los opcionales?; y el segundo, ¿cuanto mayor sea el nivel de centralidad de la residencia, mayor será el nivel de centralidad del lugar de trabajo?

2. Marco teórico

Las zonas metropolitanas, de acuerdo con López (2011), son polos de atracción para trabajadores, estudiantes y consumidores de bienes y servicios, ya que es donde se concentra la actividad económica de una región. En cuanto a su estructura territorial interna, Sobrino (2007) considera que son producto de una compleja mezcla de atributos y flujos, destacándose los lugares de residencia, de estudio y de empleo.

En el desarrollo urbano las implicaciones de la dispersión de los centros de trabajo limitan la atracción de los centros comerciales locales, favoreciendo la instalación de comercio en los derroteros de los viajes. En la dinámica urbana de una ciudad, la habitabilidad y la calidad de vida en los distintos sectores dependen de la disponibilidad de los servicios y del grado de accesibilidad (Vahí y Hurtado,

2017), y los grandes centros comerciales funcionan como elementos articuladores del territorio al armonizar la función urbana. Rial, Lamas y Varela (2009) mencionan que el factor que influye o condiciona su atracción es la distancia entre la residencia del cliente y el centro comercial.

En la Zona Metropolitana de Querétaro, de acuerdo con Obregón, Romero y Betanzo (2015), el principal motivo de viaje es por trabajo, con el 44.52% de los desplazamientos en las localidades urbanas y el 49.64% en las localidades periféricas. Las obras viales y los proyectos de transporte público favorecen el traslado cotidiano de los trabajadores a sus centros de empleo. Sin embargo, Villareal (2009) destaca que, si no se crean nuevos polos de empleo en las periferias, se inducirá la pérdida de tiempo, afectando a los trabajadores y al sistema económico en su conjunto, tal como sostiene Sultana (2000) haciendo referencia a que un patrón de localización de empleos espacialmente disperso conduce a viajes más cortos, a diferencia de una ubicación de empleos centralizada. De igual forma, la ubicación de las unidades escolares condiciona la longitud de los desplazamientos, siendo los niveles educativos medio y superior donde se presentan mayores distancias y tasas de movilidad, mientras que en las periferias los desplazamientos son escasos por la mayor distancia y la menor población estudiantil (Donoso y Arias, 2013).

La disponibilidad de información cuantitativa y fiable sobre las características de la demanda de transporte, en coincidencia con Ibéas et al. (2007), es necesaria para tomar decisiones con respecto a la gestión, planificación y expansión de los sistemas de transporte, preferentemente urbanos. El tipo de encuesta dependerá del ámbito de referencia del estudio, y ante todo es necesario definir el área de interés. En una encuesta domiciliada (de la cual parten los datos del presente artículo), Ortúzar y Willumsen (2008) mencionan que ésta debe obtener los desplazamientos efectuados por todos los miembros de la familia en todos los modos de transporte (dentro del área de estudio, como hacia fuera de ella), además de información socioeconómica, la cual es necesaria para la estimación de los modelos de generación de viajes, así como de la elección modal. Ibéas et al. (2007) recomiendan que la información recolectada por la encuesta reúna

las siguientes características: *i*) considere las diferentes etapas del viaje (modos, horarios y longitudes); *ii*) incluya todos los modos de viaje, incluso los no motorizados; *iii*) presente el propósito del viaje a nivel altamente desagregado; *iv*) contemple el periodo temporal más amplio posible; *v*) incluya la información relevante de todos los miembros de la familia; y *vi*) obtenga datos de elevada calidad para poder ser empleados a nivel desagregado.

Una de las formas de analizar el comportamiento de los desplazamientos y los motivos que los generan es mediante el modelado de viajes, el cual consiste en una herramienta de análisis con un marco sistemático para la representación de la forma en que se viaja, los cambios de la demanda y la respuesta a diferentes suposiciones de entrada (Castiglione, Bradley y Gliebe, 2014). Asimismo, este recurso es empleado mayormente en la planeación del transporte. Washington, Karlaftis y Mannering (2011) exponen que los modelos explicativos o “causales” se basan en datos obtenidos de experimentos controlados, mientras los predictivos se fundamentan en datos obtenidos a partir de estudios observacionales. Hay numerosos supuestos (o requisitos) en un modelo de regresión lineal, y cuando no se cumple alguno de éstos, se deben tomar medidas correctivas y, en algunos casos, se adoptan métodos alternativos de modelización (dichas técnicas pueden ser consultadas en Ortúzar y Willumsen, 2008 y en Washington, Karlaftis y Mannering, 2011). En el transporte, la aplicación de este tipo de modelos consiste en encontrar una relación lineal entre el número de viajes generados o atraídos en cada zona y el valor medio de algunas características socioeconómicas de los habitantes de dicha zona (Molinero y Sánchez, 2003).

De acuerdo con Ortúzar y Willumsen (2008), la modelización del reparto modal ha tenido un gran auge desde sus inicios, cuando los primeros modelos incluían usualmente, como característica del viaje, el tiempo (en vehículo), de donde observaron que una curva de forma de *S* representaba mejor el comportamiento. Existen transformaciones matemáticas, como *logit*, *probit* y *gompit*, que se caracterizan por ser graficables en curvas con forma de *S*; sin embargo, por la facilidad en su estimación, la transformación *logit* es una de las más empleadas en los estudios de transporte. Ben-Akiva y Lerman (1985) exponen que el objetivo de estimar un modelo *logit* multinomial es

obtener una función que determine las probabilidades como resultados en el caso de un conjunto de más de dos alternativas. Dicho modelo no permite variaciones en los gustos, es decir, que cada individuo tenga diferentes parámetros. Greene (2012) detalla la evaluación estadística y especificación de errores de estos modelos.

González y Sarmiento (2009) mencionan que el objetivo primordial de la modelación de los viajes es la adecuada identificación y cuantificación de viajes entre las zonas en que está dividida el área de estudio, así como la representación de los enlaces de los viajes entre los orígenes y destinos; es decir, cómo se distribuyen los viajes entre las diferentes zonas y en qué medios de transporte se realizan. Teniendo en cuenta que el modelo se centra en los viajes, Stopher y Jones (2003) destacan que es vital recoger información adecuada, así como realizar un debido procesamiento e interpretación, puesto que minimizar los errores en el modelo representará de mejor manera la realidad.

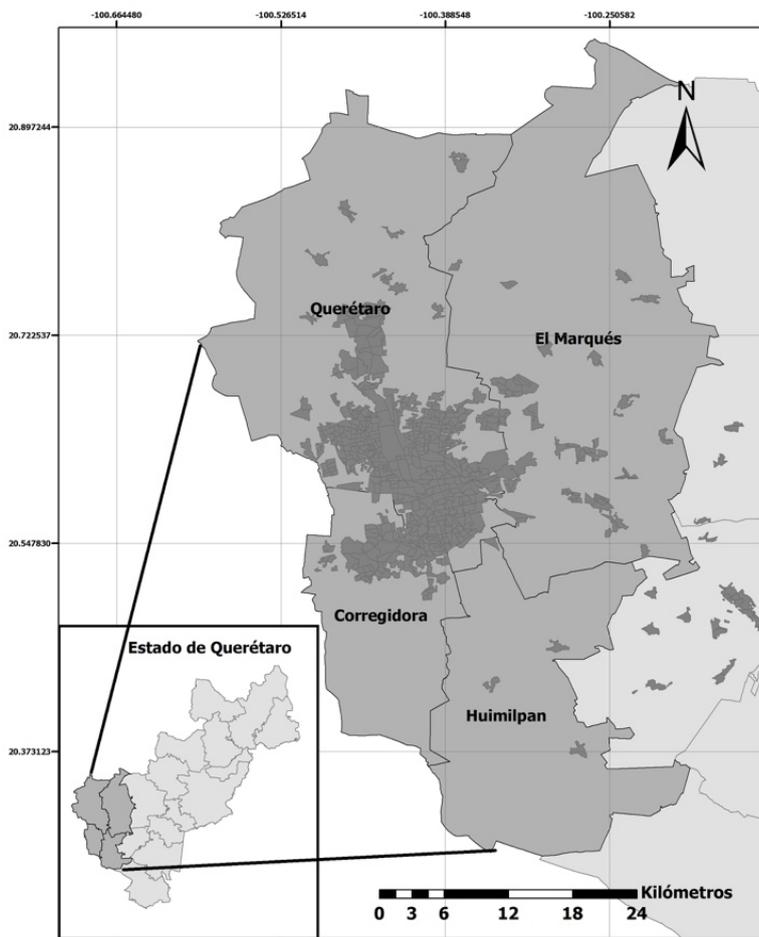
3. Diseño de la investigación

La Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ) se conforma por cuatro municipios –Querétaro, Corregidora, Huimilpan y El Marqués (Mapa 1)–, con una población total al año 2020 de 1 530 820 habitantes (INEGI, 2020). Para el análisis de los desplazamientos se emplea la base de datos de Obregón (2018), la cual conjunta el resultado de la aplicación en el año 2017 de 3 177 encuestas origen destino domiciliadas en la ZMQ, y su proceso de muestreo se reporta en Obregón (2020).

Los viajes se analizan separadamente por el propósito del mismo. Ortúzar y Willumsen (2008) mencionan que el objetivo del viaje está compuesto por dos elementos: base y motivo. Como *base* se entiende el lugar en el que comienza o termina un viaje, distinguiendo entre los basados en el hogar (BH) y los no basados en el hogar (NBH), siendo los BH los que tienen un extremo en el hogar de la persona que efectúa el viaje, independientemente de si éste es el origen o el destino del viaje. Los NBH son los viajes en los que ni el origen ni el destino del viaje es el hogar. Como *motivo*, en el caso de

Mapa 1

Zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

los viajes BH, se distinguen las siguientes categorías: trabajo, estudio, compras y otros motivos. Los dos primeros generalmente se denominan viajes obligados, mientras que todos los demás se nombran como viajes opcionales. En particular, la última categoría encierra todos los viajes efectuados por motivos menos rutinarios, por ejemplo: sociales, recreativos, salud, trámites, entre otros. Los propósitos de viaje empleados en esta investigación son: *i*) basados en el hogar por motivo de trabajo (BHT); *ii*) basados en el hogar por motivo de estudio (BHE); y *iii*) basados en el hogar por motivo de compras (BHC).

3.1. Métodos

Para alcanzar el objetivo de la presente investigación, se emplea el Modelo Clásico de Transporte, respecto al cual Ortúzar y Willumsen (2008) exponen que es una secuencia de cuatro etapas o submodelos, siendo éstos: *i*) generación de viajes, *ii*) distribución, *iii*) reparto modal, y *iv*) asignación. En este estudio se abordarán las tres primeras etapas, que se describen a continuación.

3.1.1. Etapa de generación de viajes

Los modelos de transporte en la fase de generación de viajes tienen por objetivo predecir el número total de viajes producidos y atraídos por cada zona del área de estudio, considerando los atributos socioeconómicos de los hogares. Existen diferentes técnicas de modelación, siendo los modelos de regresión lineal múltiple una de las técnicas más empleadas. El modelo de regresión fue seleccionado como el método central en el análisis de generación de viajes de la FHWA (1967), y consiste en encontrar una relación lineal entre el número de viajes producidos o atraídos por cada zona y el valor medio de las características socioeconómicas de los hogares que residen en cada una de ellas, el cual tiene la forma funcional mostrada en la Ecuación 1.

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 X_{1i} + \theta_2 X_{2i} + \dots + \theta_k X_{ki} + E_i \quad [1]$$

3.1.2. Etapa de distribución de viajes

La segunda etapa tiene por objetivo distribuir los viajes generados y atraídos de cada una de las zonas del área de estudio a los diferentes destinos. En otras palabras, su distribución en el espacio es representada en una matriz de viajes origen destino. Para ello, generalmente se emplea el denominado modelo gravitacional, el cual estima el número de viajes en cada celda de la matriz origen destino, sin emplear directamente la estructura de viajes observada, y por ello, a menudo se denomina modelo sintético, en contraposición a los modelos que emplean un factor de crecimiento. El modelo puede estar restringido individualmente a producciones y atracciones, y el flujo entre zonas se calcula empleando la Ecuación 2 para la producción de viajes, y la Ecuación 3 para la atracción.

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j f(c_{ij})}{\sum_{\forall k} A_k f(c_{ik})} \quad \forall i, j \quad [2]$$

$$T_{ij} = A_j \frac{P_i f(c_{ij})}{\sum_{\forall k} P_k f(c_{kj})} \quad \forall i, j \quad [3]$$

donde: T_{ij} : viajes realizados entre el origen i y el destino j ; P_i : viajes producidos en la zona i ; A_j : viajes atraídos en la zona j ; c_{ij} : medida de separación (distancia, tiempo, costo, entre otros) entre la zona i y la zona j ; y $f(c_{ij})$: función de impedancia entre la zona i y la zona j .

Cuando se aplica el modelo gravitacional doblemente restringido, se utiliza un proceso iterativo que equilibra alternativamente las filas (producciones) evaluando la Ecuación 2, y luego equilibra las columnas (atracciones) evaluando la Ecuación 3, hasta que se cumpla un criterio predefinido de convergencia o se alcance un número máximo de iteraciones. La función de impedancia representa la resistencia a desplazarse cuando se incrementa la distancia, el tiempo

o costo del viaje, y generalmente son empleadas tres funciones: *i*) la función exponencial (Ecuación 4), *ii*) la función potencial inversa (Ecuación 5), y *iii*) la función gamma (Ecuación 6).

$$f(C_{ij}) = e^{-c(C_{ij})} \quad [4]$$

$$f(C_{ij}) = C_{ij}^{-b} \quad [5]$$

$$f(C_{ij}) = aC_{ij}^{-b} e^{-c(C_{ij})} \quad [6]$$

donde: a , b y c son parámetros que deben calibrarse y C_{ij} es el valor de la impedancia en términos de la distancia, el tiempo de viaje o el costo de viaje entre la zona i y la zona j .

3.1.3. Etapa de reparto modal

La etapa de reparto modal consiste en modelar la elección del medio de transporte, obteniendo el reparto o distribución modal. Para lograrlo, los modelos logísticos son comúnmente empleados, siendo de tipo agregado o desagregado. En los primeros, se consideran las elecciones observadas para grupos de individuos o relaciones promedio a nivel zonal; mientras en los segundos se consideran las elecciones observadas por cada uno de los individuos que se desplazan, por lo que dicho enfoque se considera más apegado a la realidad. El modelo logit multinomial estima la probabilidad de elección entre los diferentes medios de viaje, y dicha probabilidad depende de la utilidad sistemática (V_{iq}) y del factor de escala (β), como se muestra en la Ecuación 7.

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \quad [7]$$

Respecto al factor de escala, existe un número infinito de combinaciones de β y V_{iq} que arrojan el mismo valor, por lo que β no es identificable y se le supone igual a uno. Mientras la utilidad sistemática depende de los atributos de las alternativas (X) y las características del individuo (Z), como lo muestra la Ecuación 8.

$$V_{iq} = \sum_k \theta_{ik} * X_{ikq} + \sum_r \theta_{ir} * Z_{rq} \quad [8]$$

Las variables comúnmente empleadas en los atributos de las alternativas del transporte son tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de caminata, costo de viaje, entre otros. Mientras que en las características del individuo se utilizan variables como edad, género, ingreso, grado de educación, si cuentan con licencia de conducir, entre otros. Dichas variables pueden ser genéricas o específicas, es decir, las genéricas comparten el mismo coeficiente en todas las alternativas; en cambio, las específicas aparecen en una alternativa o tienen un coeficiente diferente en cada una de ellas.

3.1.4. Estimación del nivel de centralidad

Para responder el segundo supuesto de la presente investigación, es necesario definir parámetros que permitan determinar el nivel de centralidad geográfica. Para ello, se empleó la función de centralidad por cercanía propuesta por Freeman (1979), la cual determina el grado de centralidad a partir de la jerarquización de los nodos de una red. La cercanía $C_G(x)$ de un nodo x a la red G es el promedio de la separación (definida como el inverso de la distancia entre ellos) de x a cada uno de los nodos de la red, donde n es el total. La Ecuación 9 muestra su forma funcional.

$$C_G(x) = \frac{1}{n} * \frac{1}{\sum_{y \neq x} d(x,y)} \quad [9]$$

4. Resultados y discusión

Los resultados se presentan en cuatro apartados considerando el orden metodológico para responder las dos cuestiones abordadas en la presente investigación. Los primeros tres puntos abordan el modelo clásico de transporte, y el cuarto es el cálculo de la centralidad.

4.1. Modelos de producción y atracción de viajes

Para estimar los modelos de regresión lineal cuyo resultado es la producción de viajes, generalmente se utilizan como variables explicativas las características socioeconómicas de la población. Para ello, se proyecta al año 2017 la población (*POBTOT_2017*) y el total de viviendas particulares habitadas (*TVIVPARHAB_2017*), a partir de la información del Censo 2010 (INEGI, 2010) y de la Encuesta Inter-censal 2015 (INEGI, 2015).

En el Cuadro 1 se muestran los modelos estimados de producción de viajes basados en el hogar por motivo de trabajo (BHT), divididos en la zona conurbada (ZC) y en la zona periférica (ZP) de la

Cuadro 1

Modelos estimados para la producción de viajes BHT

	<i>ZC1</i>	<i>ZC2</i>	<i>ZP1</i>	<i>ZP2</i>
Constante	95.1** (42.6)	89.1** (38.9)	159* (101)	163.4* (98.8)
POBTOT_2017	0.7259*** (0.0122)		0.6021*** (0.0347)	
TVIVPARHAB_2017		3.3802*** (0.0517)		98.8*** (0.134)
R ²	0.891	0.908	0.779	0.787

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

* Significación al 10%.

** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

ZMQ. Ambas variables son estadísticamente significativas y es congruente el signo de sus coeficientes. Se eligen los modelos ZC1 y ZP2 para su posterior estimación por presentar mayor coeficiente de determinación.

El Cuadro 2 muestra los modelos estimados para representar la producción de viajes basados en el hogar por motivo escolar en la ZC y la ZP. Los modelos presentan significación para las variables *POBTOT_2017* y *TVIVPARHAB_2017*. Sin embargo, el signo negativo en la constante de los modelos ZC1 y ZP1 afecta la estimación en áreas con poca población. Por lo anterior, se emplean los modelos ZC2 y ZP2 para estimar la producción de viajes BHE.

Los modelos para la producción de viajes basados en el hogar por motivo de compras se muestran en el Cuadro 3. Por un lado, los dos modelos estimados para la ZC reflejan buena predicción; sin embargo, el signo negativo en la constante del modelo ZC1 afecta la estimación en localidades con poca población, por lo que se emplea el modelo ZC2. Por otro lado, los modelos estimados para la ZP presentan signo negativo en su constante. Por ello, se considera una nueva variable que es la población ocupada (*POCUPADA*), mostrándose estadísticamente

Cuadro 2

Modelos estimados para la producción de viajes BHE

	ZC1	ZC2	ZP1	ZP2
Constante	-32.5 (38.6)	45.4 (47.1)	-37.5 (89.6)	1.3 (93.1)
POBTOT_2017	0.5538*** (0.0111)		0.3543*** (0.0298)	
TVIVPARHAB_2017		2.4406*** (0.0626)		1.35*** (0.123)
R ²	0.853	0.779	0.648	0.612

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

* Significación al 10%.

** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3

Modelos estimados para la producción de viajes BHC

	ZC1	ZC2	ZP1	ZP2	ZP3
Constante	-5.22 (6.87)	1.7 (7.7)	-45.3 (90.5)	-23.6 (91)	47.6 (91.1)
POBTOT_2017	0.14391*** (0.00197)		0.3652*** (0.0297)		
TVIVPARHAB_2017		0.6565*** (0.0102)		1.419*** (0.118)	
POCUPADA					1.147*** (0.102)
R ²	0.925	0.905	0.665	0.653	0.623

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

* Significación al 10%.

** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

significativa y con consistencia en su signo, por lo que se emplea el modelo ZP3 para estimar la producción de viajes BHC.

Para estimar la atracción de viajes generalmente se emplean variables que corresponden a las características zonales de las áreas de destino, como son el uso de suelo, la densidad poblacional, la accesibilidad, entre otras. En el Cuadro 4 se exponen las variables explicativas que se utilizaron en la estimación de los modelos.

Los modelos que representan la atracción de viajes basados en el hogar por motivo de trabajo (BHT) se muestran en el Cuadro 5. Para la ZC y ZP las variables son estadísticamente significativas y con consistencia en sus signos. Se emplea el modelo ZC1 y ZP2 por su mayor nivel de predicción.

El Cuadro 6 muestra los modelos estimados de atracción de viajes basados en el hogar por motivo de escuela. Los modelos que contienen la variable “alumnos totales” (*ALUTOT*) presentan mayor predicción respecto a los modelos con la variable “alumnos de nivel bachillerato y superior” (*ALUBS*). Los primeros muestran

Cuadro 4

Variables para estimar los modelos de atracción de viajes

<i>Variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
<i>CT_31YMAS</i>	Centros de trabajo con 31 y más trabajadores	INEGI, 2019
<i>TRATOT</i>	Trabajadores totales	INEGI, 2019
<i>TCOMERCIOS</i>	Total de comercios	INEGI, 2019
<i>TCPMAY</i>	Total de comercios al por mayor	INEGI, 2019
<i>TCPMEN</i>	Total de comercios al por menor	INEGI, 2019
<i>TRABCOM</i>	Trabajadores en comercio	INEGI, 2019
<i>ALUTOT</i>	Alumnos totales	USEBEQ, 2018
<i>ALUBIE</i>	Alumnos de nivel básico, inicial y especial	USEBEQ, 2018
<i>ALUBS</i>	Alumnos de nivel bachillerato y superior	USEBEQ, 2018

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5

Modelos estimados para la atracción de viajes BHT

	<i>ZC1</i>	<i>ZC2</i>	<i>ZP1</i>	<i>ZP2</i>
Constante	718 (1 365)	1652 (1 933)	385 (448)	271 (434)
TRATOT	2.105*** (0.14)		2.022*** (0.073)	1.704*** (0.112)
TRABCOM		6.761*** (0.707)		
CT_31YMAS				897*** (246)
R ²	0.789	0.601	0.818	0.83

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

* Significación al 10%.

** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6

Modelos estimados para la atracción de viajes BHE

	<i>ZC1</i>	<i>ZC2</i>	<i>ZC3</i>	<i>ZP1</i>	<i>ZP2</i>	<i>ZP3</i>
Constante	-1 135 (1 201)	5 063*** (1 325)		-1 017*** (371)	1 630*** (490)	
ALUTOT	2.418*** (0.169)		2.307 6753 ^a			2.248 4259 ^a
ALUBS		3.358*** (0.365)		2.368*** (0.0861)	3.639*** (0.222)	
R ²	0.772	0.582	0.854	0.816	0.613	0.838

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

^a Desviación estándar *S*.

* Significación al 10%.

** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

signo negativo en su constante, lo cual afecta la estimación en localidades con pocos alumnos; mientras los modelos que incluyen la variable *ALUBS* como predictor, presentan un valor alto en la constante. Por lo anterior, se estiman modelos excluyendo la constante y considerando la variable *ALUTOT*, siendo éstos los modelos *ZC3* y *ZP3*, que muestran una buena predicción, sin embargo, baja la significación de su variable.

Para determinar el ajuste en la respuesta de los modelos, se evalúa su desviación estándar. Se realizan regresiones ponderadas, que consisten en encontrar la ponderación adecuada a ensayo y error. Para estos modelos se realizaron ponderaciones con la recíproca del predictor y con el predictor elevado al cuadrado. El resultado se muestra en el Cuadro 7, presentando una menor desviación estándar entre los datos y el ajuste. Por ello, para representar la atracción de viajes BHE se emplean los modelos *ZC4* y *ZP4*.

En el Cuadro 8 se presentan los modelos estimados para representar la atracción de viajes basados en el hogar por motivo de compras. Los modelos muestran una predicción considerable y las variables empleadas son significativas; sin embargo, la constante en todos

Cuadro 7

Regresiones ponderadas sin constante para estimar la atracción de viajes BHE

<i>Modelo</i>	<i>Ponderación</i>	<i>S</i>	<i>R</i> ²	<i>Variable</i>	<i>β</i>
ZC4	Recíproca del predictor	102.774	70.98%	ALUTOT	2.165
ZC5	Cuadrado del predictor	72 351 338	96.41%	ALUTOT	2.7198
ZP4	Recíproca del predictor	71.595	64.34%	ALUTOT	1.873

Fuente: Elaboración propia.

los modelos presenta signo negativo, por lo que se sigue el proceso anterior en los modelos ZC3 y ZP3.

El Cuadro 9 presenta las regresiones ponderadas, observándose una menor desviación estándar entre los valores de datos y los valores ajustados en los modelos ponderados con la recíproca del predictor. Por tanto, se emplean los modelos ZC4 y ZP4.

Ya aplicados los modelos de producción y atracción de viajes, se procede a su balanceo, de tal forma que la sumatoria de los viajes

Cuadro 8

Modelos estimados para la atracción de viajes BHC

	<i>ZC1</i>	<i>ZC2</i>	<i>ZC3</i>	<i>ZP1</i>	<i>ZP2</i>	<i>ZP3</i>
Constante	-680*** (389)	-701*** (409)		-34 (123)	-30 (125)	
TCPMEN	12.829*** (0.939)			11.724*** (0.478)		
TCOMERCIOS		11.432*** (0.862)	10.39 2 302 ^a		10.417*** (0.437)	10.36 1 434 ^a
R ²	0.756	0.745	0.821	0.779	0.77	0.811

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

^a Desviación estándar *S*.

* Significación al 10%.

** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9

Regresiones ponderadas sin constante para modelar la atracción de viajes BHC

<i>Modelo</i>	<i>Ponderación</i>	<i>S</i>	<i>R²</i>	<i>Variable</i>	<i>β</i>
ZC4	Recíproca del predictor	117.1	68.24	TCOMERCIOS	9.338
ZC5	Cuadrado del predictor	1 477 172	95.62	TCOMERCIOS	11.281
ZP4	Recíproca del predictor	142.629	47.97	TCOMERCIOS	9.467
ZP5	Cuadrado del predictor	1 082 904	95.65	TCOMERCIOS	11.281

Fuente: Elaboración propia.

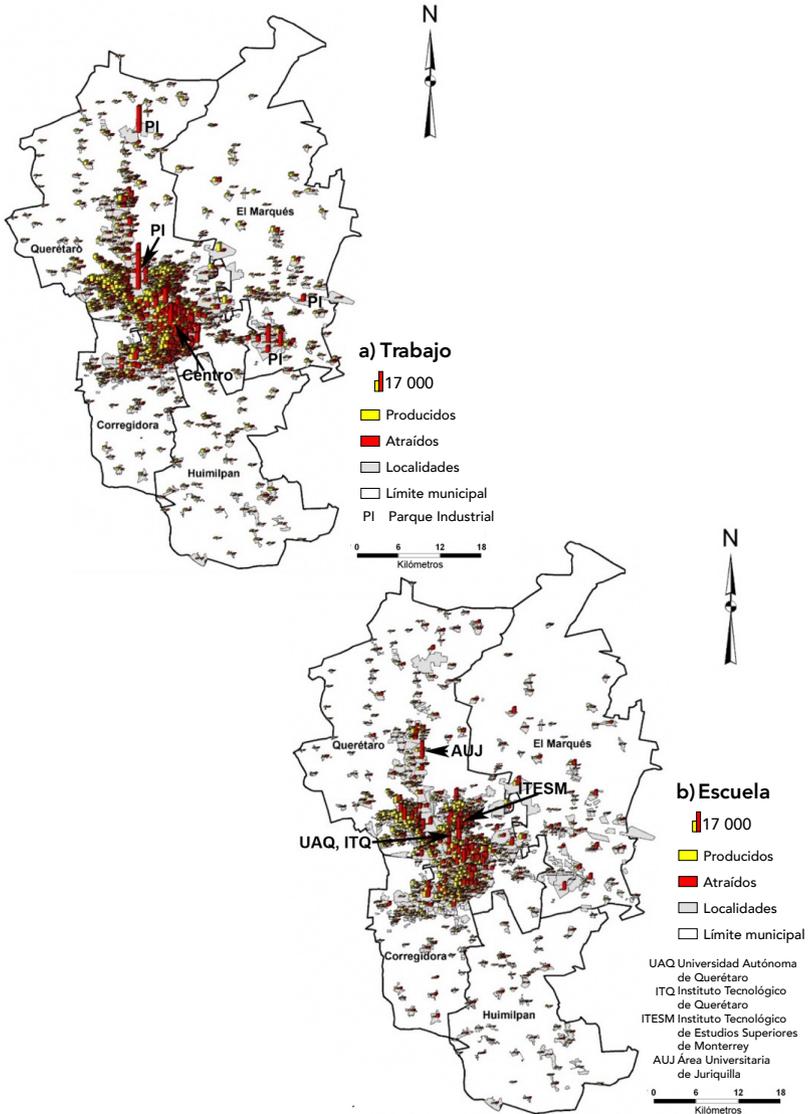
producidos sea igual a la sumatoria de los viajes atraídos. Se emplea el *software* TransCAD, versión 7, aplicando el método de producción constante y ajuste de atracciones, debido a que los modelos estimados para representar la producción de viajes muestran mayor bondad predictiva respecto a los de atracción.

Los resultados de la aplicación de los modelos estimados para la producción y atracción de viajes basados en el hogar por motivo de trabajo se muestran en el Mapa 2, parte *a*, en donde se distingue homogeneidad en la producción de viajes en la ZC, siendo las áreas con mayor atracción de viajes los parques industriales y el área central de la ciudad, pues en ella se concentran comercios y servicios.

El resultado de la producción y atracción de viajes basados en el hogar por motivo de escuela se presenta en el Mapa 2, parte *b*, distinguiéndose que las áreas con mayor atracción de viajes se ubican en el centro de la ciudad, debido a que ahí se encuentran escuelas y universidades, como la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), el Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro (ITESM). Fuera de dicha área se destaca el área universitaria de Juriquilla (AUJ), que alberga tres campus de universidades.

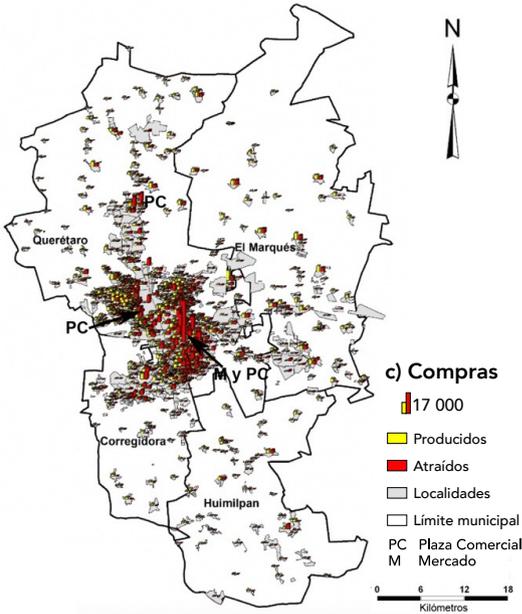
La producción y atracción de viajes basados en el hogar por motivos de compras se muestra en el Mapa 2, parte *c*. Se distingue que el área con mayor atracción de viajes es el centro de la ciudad por su propia actividad comercial, donde además se concentran cuatro mercados municipales (M) y cuatro grandes plazas comerciales (PC) construidas antes de 1990.

Mapa 2
Producción y atracción de viajes



(continúa)

Mapa 2 (concluye)



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Distribución de los viajes

La presente etapa distribuye los viajes en el espacio, es decir, la obtención de las matrices origen-destino (O-D) para cada propósito de viaje mediante el denominado modelo gravitacional. Se inicia con la calibración de las funciones de impedancia por medio de un proceso iterativo, que estima los coeficientes de dichas funciones hasta aproximarse a replicar las producciones y atracciones. Se emplea la herramienta computacional TransCAD, versión 7, para calibrar las funciones de impedancia exponencial, potencial inversa y gamma, restringiendo doblemente el proceso.

Cuadro 10

Parámetros de las variables en las funciones de impedancia

<i>Modelo</i>	<i>Gamma</i>			<i>Potencial inversa b</i>	<i>Exponencial c</i>
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
BHT	8 068.9543	1.3216	0.0597	1.8126	0.1944
BHE	728 627.283	3.2969	0	3.7239	0.4221
BHC	221 763.897	3.0064	0	5.7333	0.4313

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de viajes se genera directamente con los viajes obtenidos de las encuestas O-D, y como matriz de impedancia se emplea el tiempo de viaje entre todos los pares O-D. El Cuadro 10 presenta los resultados de la calibración y, con ello, se aplica el modelo gravitacional para estimar las matrices origen destino para cada propósito de viaje.

Con las matrices O-D estimadas para cada propósito de viaje y con cada una de las funciones de impedancia, se analiza la frecuencia de las distancias para cada propósito de viaje con la finalidad de determinar la función de impedancia que mejor se ajusta a su distribución. En el Cuadro 11 se muestra para cada función y propósito la correlación entre los viajes estimados y los viajes observados.

La función de impedancia gamma presenta el mejor ajuste en los propósitos de viaje modelados. Al analizar la relación entre viajes y distancia por motivo de trabajo, el intervalo de 0 a 2 km representa el 25% del total; por motivo de escuela, el 55%; y por razones de com-

Cuadro 11Coeficientes de correlación (R^2) entre los viajes observados versus los viajes modelados (porcentajes)

<i>Propósito</i>	<i>Exponencial</i>	<i>Gamma</i>	<i>Potencial inversa</i>
BHT	88.915	98.569	93.576
BHE	87.406	99.776	99.569
BHC	86.535	98.969	97.475

Fuente: Elaboración propia.

pras, el 50% de los viajes. Lo anterior indica que la mayoría de los estudiantes asiste a la escuela cerca de su domicilio y, de igual manera, la mayor parte de los viajes por compras se realiza a corta distancia.

En el Mapa 3 se presentan las líneas de deseo estimadas empleando la función gamma. La parte *a* ilustra las líneas de deseo de los viajes mayores a 200 por motivo de trabajo. Los principales destinos son los parques industriales y la zona centro de la ciudad. Se observa que la mayoría de los viajes que llegan a los parques industriales se producen de forma radial desde las localidades a su alrededor, así como una distribución de la periferia hacia la conurbación.

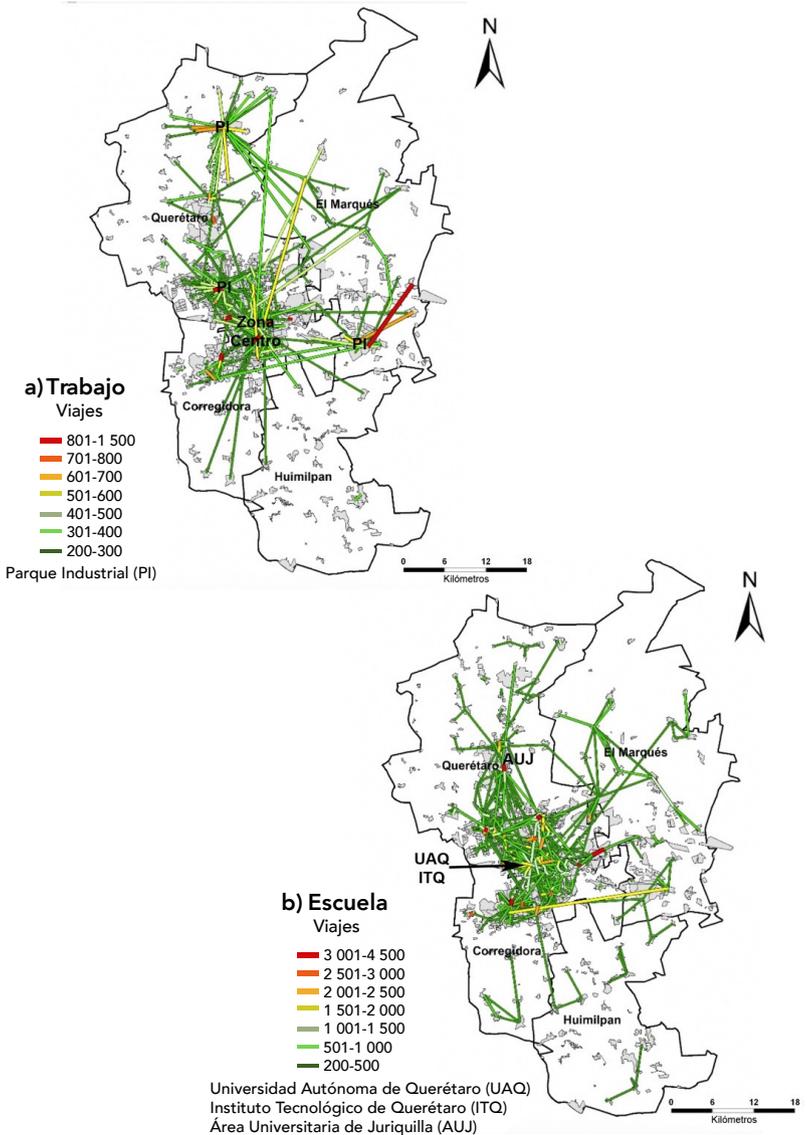
En la parte *b* del Mapa 3 se representan las líneas de deseo mayores a 200 viajes por motivo de escuela, en donde destacan los viajes hacia los campus universitarios, y la longitud reflejada en las líneas de deseo indica que la mayoría de los viajes por motivo de escuela se realizan a corta distancia.

Las líneas de deseo de los viajes mayores a 100 por motivo de compras se muestran en el Mapa 3, parte *c*. Destaca la concentración de viajes en la zona centro de la ciudad (aglutina importantes mercados y establecimientos comerciales) y la atracción de viajes en la zona de Santa Rosa Jáuregui (SRJ), provenientes de las localidades periféricas a su alrededor.

4.3. Reparto modal

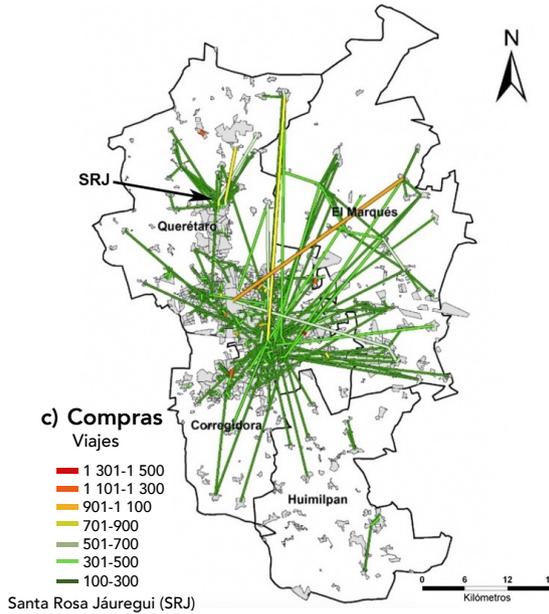
Esta etapa realiza la repartición modal de las matrices O-D a los medios de transporte existentes. Para ello se utiliza el logit multinomial, estimado y aplicado mediante la herramienta computacional TransCAD, versión 7. Debido a la disponibilidad de información censal, los modelos se estiman a nivel de AGEB en su agregación, y los medios de transporte considerados son automóvil, transporte público en autobús y caminar. El tiempo (*TIEMPO*) y el costo generalizado del viaje (*CG*) son los atributos en los medios de transporte; y la característica socioeconómica es el ingreso medio por hogar (*INGHOG*), el cual se estima mediante el análisis de componentes principales empleando los datos del INEGI (2010).

Mapa 3 Líneas de deseo por motivo de viaje



(continúa)

Mapa 3 (concluye)



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los atributos del medio, el costo generalizado del viaje es la suma de los costos monetarios y no monetarios. Para el transporte público, el costo monetario considera la tarifa del viaje (de ocho pesos con tarjeta de prepago general y de cuatro pesos preferente en el año 2017); y para el automóvil se compone de la sumatoria de los costos por combustible, uso, desgaste y estacionamiento, siguiendo la metodología propuesta en Arroyo et al. (2016), para un vehículo Nissan Versa (el más vendido en los últimos años), obteniendo un costo de operación vehicular de 3.275 pesos/kilómetro.

El costo no monetario se refiere al valor en términos económicos del tiempo gastado para realizar el viaje. Se sigue la metodología propuesta en Gwilliam (1997) y Torres, Hernández y González (2016) por motivos laborales y no laborales, obteniendo 53.11 pesos/hora y 31.86 pesos/hora, respectivamente.

El Cuadro 12 muestra los parámetros de los modelos de elección discreta estimados. Se observa que el modelo para viajes BHT presenta un buen ajuste según el parámetro rho cuadrada (ρ^2), del cual Ortúzar y Willumsen (2008) sugieren que valores cercanos a 0.4 pueden constituir un ajuste excelente.

Empleando los modelos del Cuadro 12 se estiman las matrices O-D para cada propósito y medio de viaje, y la dimensión por propósito y medio se muestra en la Gráfica 1. El automóvil es el medio de transporte mayormente utilizado para realizar viajes por motivo de trabajo y compras con 49.01 y 39.42% de uso, respectivamente. Mientras que el autobús es el principal medio para realizar viajes por motivo de escuela, con 47.20% de empleo.

El Mapa 4 ilustra las líneas de deseo para viajes BHT y BHE en automóvil y autobús. Los viajes en automóvil se concentran en los

Cuadro 12

Modelo de elección estimados para la distribución de viajes

	<i>BHT</i>	<i>BHE</i>	<i>BHC</i>
Constante 1	0.777741*** (0.053596)	1.240321*** (0.083768)	0.835644*** (0.12652)
Constante 2	0.529002*** (0.112827)***	1.859885*** (0.126306)	1.291929*** (0.183933)
TIEMPO	-0.021949*** (0.001982)	-0.033675*** (0.002576)	-0.019461*** (0.002592)
CG	-0.013673*** (0.001132)	-0.013633*** (0.002442)	-0.00837*** (0.00256)
INGHOG	-0.099211*** (0.00531)	-0.051845*** (0.006753)	-0.107756*** (0.013302)
ρ^2	0.292448	0.203167	0.186082

Nota: EE del coeficiente entre paréntesis.

* Significación al 10%.

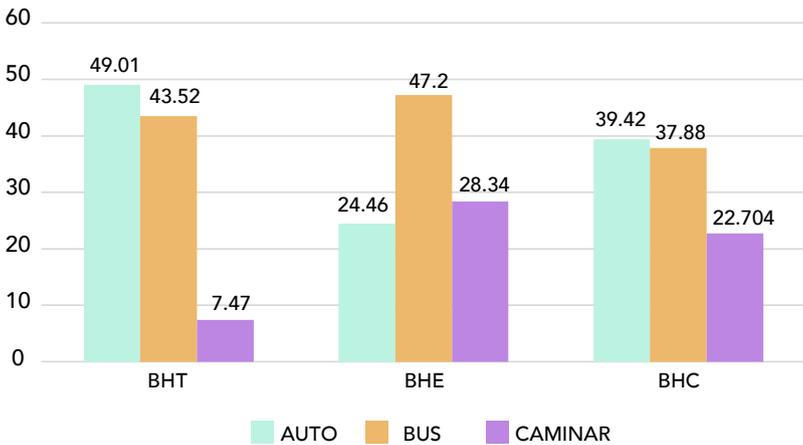
** Significación al 5%.

*** Significación al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1

Partición modal por propósito del viaje



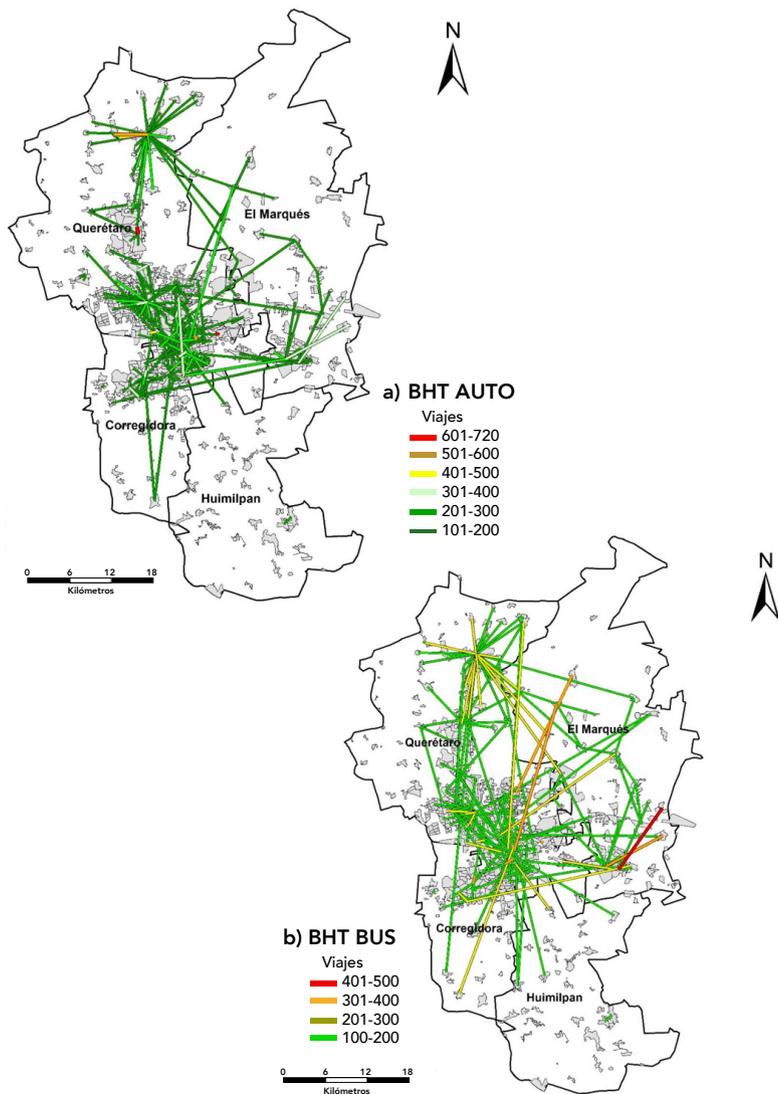
Fuente: Elaboración propia.

parques industriales y en la zona centro de la metrópoli. Adicionalmente, otros puntos con alta concentración de viajes son el municipio de Corregidora para viajes en automóvil, y la localidad de Santa Rosa Jáuregui para viajes en autobús. Otra característica que se observa es la longitud de los viajes, siendo mayores en autobús respecto al automóvil, y se producen principalmente en las localidades de la periferia. Los viajes BHE se concentran en los puntos donde se ubican los centros de educación superior y media superior (en la zona centro y en la zona universitaria de Juriquilla), además se observan longitudes cortas de viajes, lo que indica que los alumnos asisten a la escuela cerca de su domicilio.

El Mapa 5 presenta las líneas de deseo para viajes BHC y BHO en automóvil y autobús. Los viajes BHC se concentran en la localidad de Santa Rosa Jáuregui y en el centro de la ciudad, principalmente por los mercados municipales. La dispersión de la ciudad induce la generación de viajes largos con origen en la periferia. Los viajes BHO se concentran en el centro de la ciudad, Santa Rosa Jáuregui y Corregidora, con una mayor longitud en autobús respecto al automóvil.

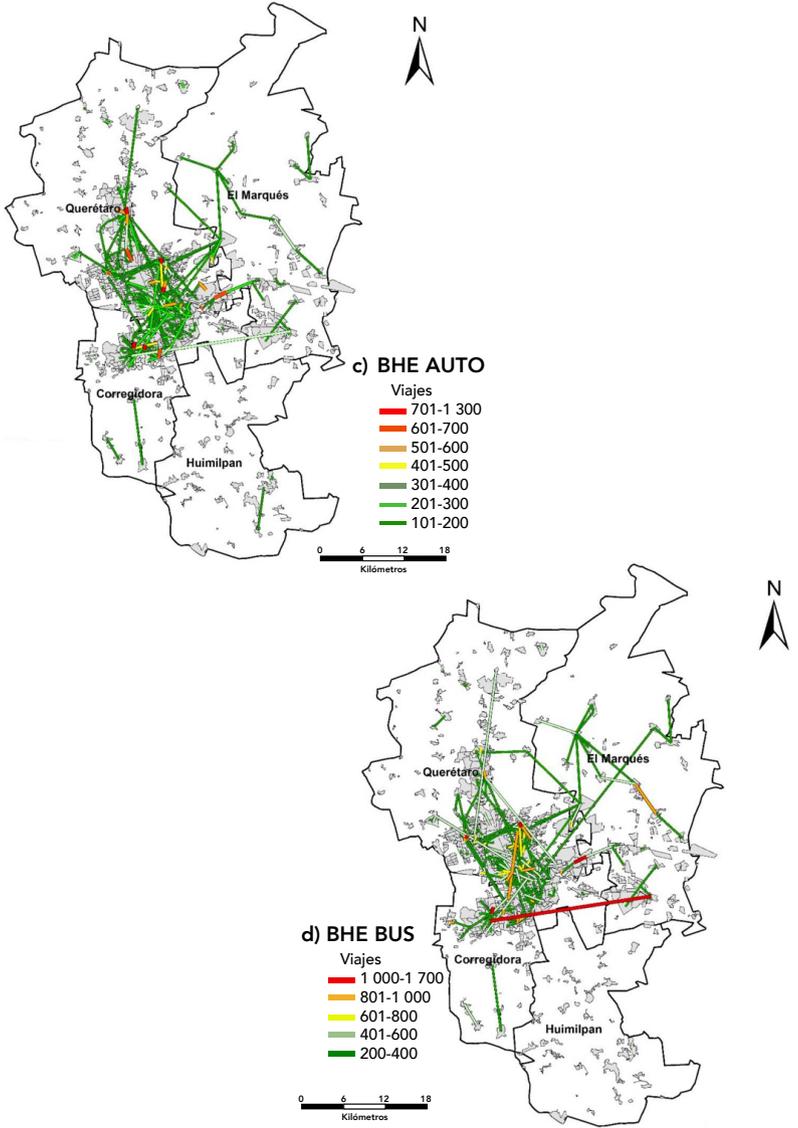
Mapa 4

Líneas de deseo para viajes BHT y BHE en automóvil y autobús



(continúa)

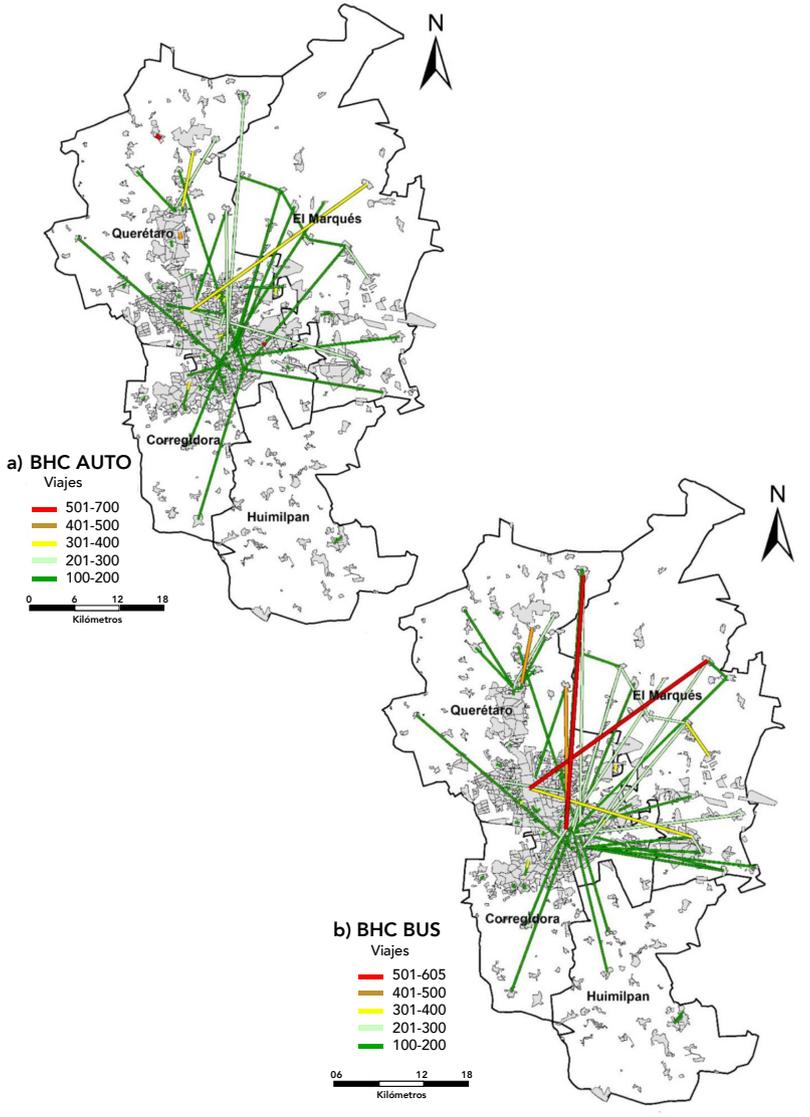
Mapa 4 (concluye)



Fuente: Elaboración propia.

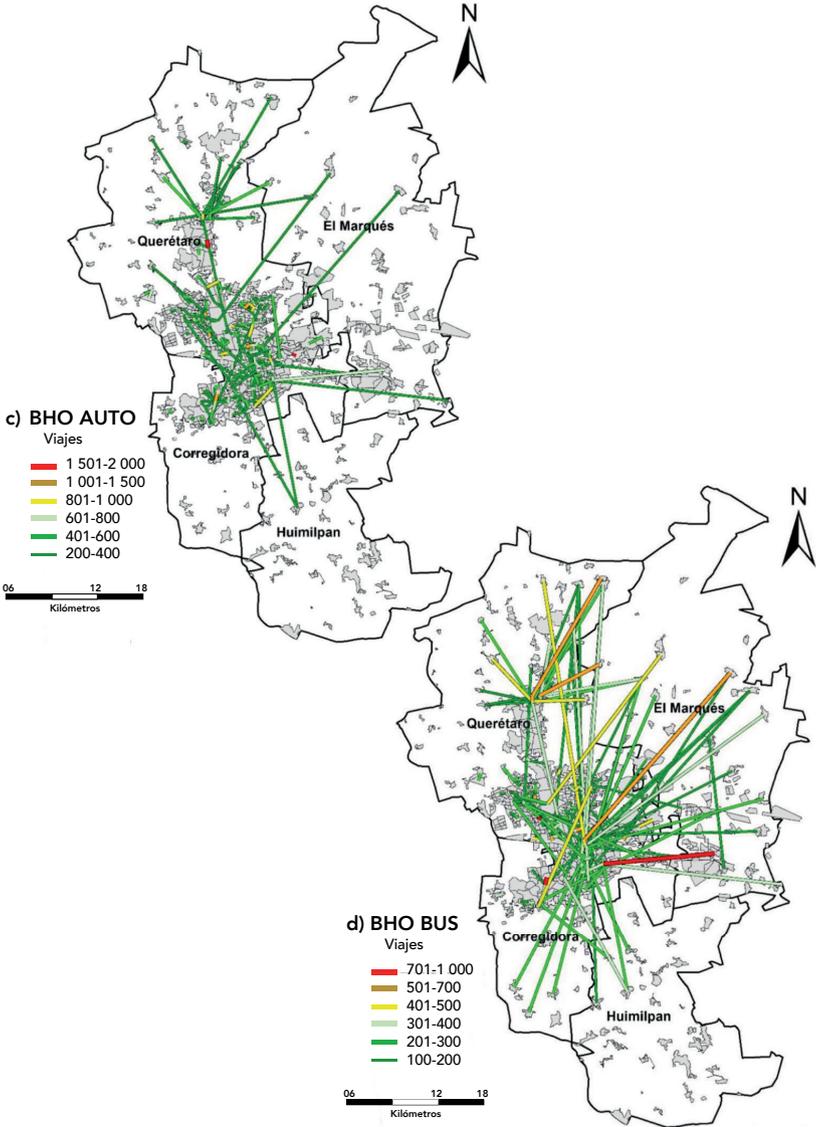
Mapa 5

Líneas de deseo para viajes BHC y BHO en automóvil y autobús



(continúa)

Mapa 5 (concluye)



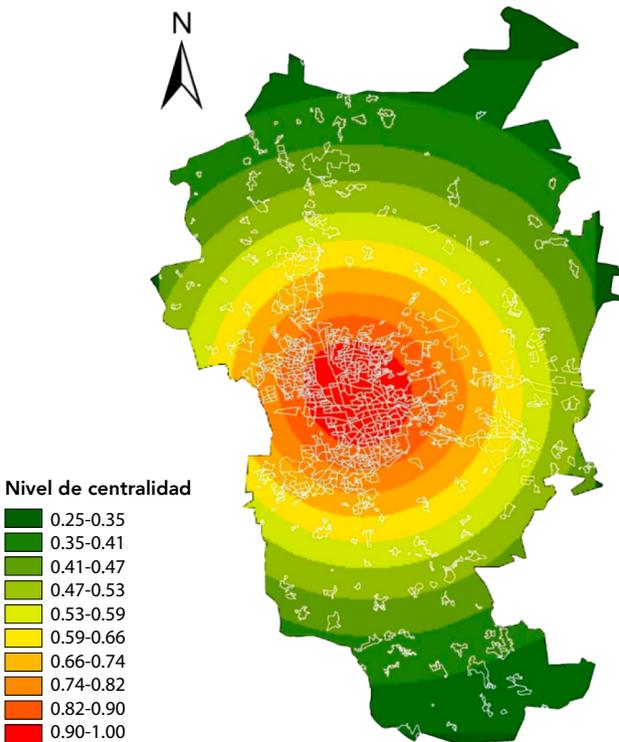
Fuente: Elaboración propia.

4.4. La centralidad

Para conocer el nivel de centralidad (NC) del origen y destino de los viajes BHT, se emplea la Ecuación 9 y la red vial. Mediante la herramienta computacional TransCAD, versión 7, se generaron isocurvas del NC (Mapa 6) para la ZMQ.

Empleando la matriz origen destino de los viajes BHT y con las isocurvas se determina el nivel de centralidad, y posteriormente se calcula la media del NC del destino en cada intervalo del NC del ori-

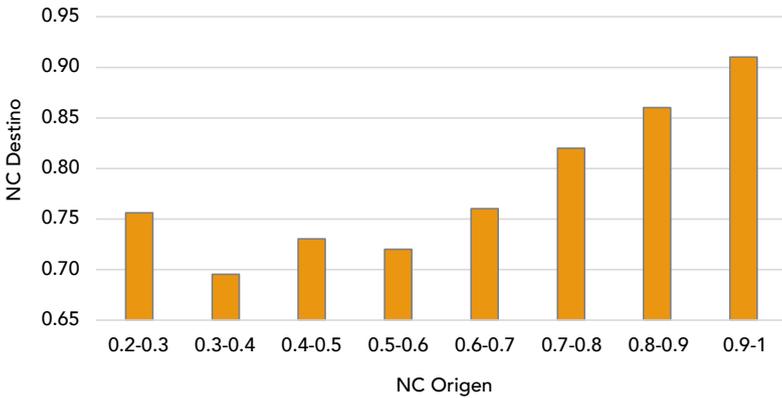
Mapa 6
Isocurvas del nivel de centralidad



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2

Nivel de centralidad para los viajes BHT



Fuente: Elaboración propia.

gen de los viajes. Los resultados se exponen en la Gráfica 2, en donde en las abscisas corresponde el nivel de centralidad del origen del viaje (NC_O), y en las ordenadas el nivel de centralidad del destino del mismo (NC_D). La media del NC del destino de los viajes que se producen en zonas con un intervalo de 0.2 a 0.3 del NC es de aproximadamente 0.75 del NC. Esto indica que algunos de los viajes que se producen por trabajo en la periferia llegan al centro, o cerca del centro de la ciudad. Sin embargo, a medida que se incrementa el nivel de centralidad del origen de los viajes, también aumenta el nivel de centralidad del destino de los viajes.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante la encuesta Origen Destino y la modelación de sus datos revelan las coincidencias y diferencias entre la movilidad obligada y opcional, destacando que la mayoría de los viajes por motivo de estudio y de compras (55 y 50%, respectivamente) se realizan a distancias menores de dos kilómetros, y el

75% de los viajes por trabajo superan dicha longitud. Respecto al medio de transporte, la mayor tasa de viajes por estudio se realiza en autobús, y por compras la tasa es similar tanto en automóvil como en autobús; mientras que por trabajo los viajes se realizan principalmente en automóvil, debido a su longitud. En este sentido, dichos viajes se distribuyen de forma radial hacia los parques industriales y se focalizan en la zona centro de la metrópoli, observándose un patrón policéntrico en la localización de los empleos, más no disperso, lo que direcciona a analizar los niveles de centralidad, reflejando que cuanto mayor es el nivel de centralidad de la residencia, mayor es el nivel de centralidad del lugar de trabajo, dando respuesta afirmativa al segundo supuesto de la presente investigación.

Las líneas de deseo para viajes por motivo de escuela demuestran que las distancias más largas de viaje se atribuyen a los centros de educación superior y media superior; mientras que los viajes por motivo de compras en su mayoría se realizan a pequeños comercios cercanos al hogar, y además se distingue la atracción de los mercados municipales.

En cuanto a las tasas de viajes, en la zona conurbada se produce una cantidad más grande de viajes por motivos de trabajo y estudio que en la zona periférica; sin embargo, en esta última se observa una mayor cantidad de viajes para realizar compras. En la modelación de los viajes se obtiene que la población y el número de viviendas son variables de importancia en la modelación de la producción de viajes, mientras que, para estimar la atracción de viajes, el número de trabajadores y la cantidad de centros de trabajo son variables significativas para modelar la atracción por motivo de trabajo. El número de estudiantes es relevante para modelar la atracción por razón de estudio, y la cantidad de centros dedicados a la actividad comercial es significativa para modelar la atracción de viajes con objetivo de realizar compras.

Los modelos de elección discreta logit multinomiales demuestran que el ingreso por hogar, el tiempo y el costo generalizado del viaje son significativos en la elección del modo de transporte para todos los propósitos de viaje definidos. El medio de transporte mayormente utilizado para realizar viajes por motivo de trabajo es el automóvil, con 49.01%; seguido del autobús, con 43.42% de los

trayectos. Para el caso de los viajes con objeto de asistir a la escuela, el transporte mayormente utilizado es el autobús, con 47.2% de los viajes; seguido de caminar, con 28.34%. Finalmente, el medio mayormente utilizado para realizar viajes por motivo de compras es el automóvil, con 39.42%; seguido del autobús, con 37.88% de los viajes.

Como línea de investigación futura se sugiere el análisis de la variación temporal de los desplazamientos por motivo de trabajo, escuela y opcional, considerando las preferencias de movilidad y la localización de la residencia, estudiado por estrato de edad. Así, el considerar varios periodos temporales de análisis permitirá responder cómo ha evolucionado la dinámica urbana de la ciudad y las preferencias de los residentes en distintos periodos de tiempo.

Bibliografía

- Amézquita, L., Durán, D. y Fajardo, D. (2016). Matriz origen-destino y eficiencia en modos de transporte urbano: un análisis de la movilidad de Bogotá. *Semestre Económico*, 19(39), 91-111. <https://doi.org/10.22395/seec.v19n39a4>
- Aón, L., Giglio, M. y Cola, C. (2017). Patrones modales de movilidad y desarrollo urbano no planificado en la ciudad de La Plata. *Revista Transporte y Territorio*, 17, 117-144. <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/3870>
- Arroyo, J., Torres, G., González, J. y Hernández, S. (2016). *Costos de operación base de vehículos representativos del transporte interurbano 2016*. (Publicación Técnica, núm. 471). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Transporte / Secretaría de Comunicaciones y Transportes. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt471.pdf>
- Ben-Akiva, M. y Lerman, S. (1985). *Discrete choice analysis. Theory and application to travel demand*. Estados Unidos: MIT.
- Betanzo, E. (2015). Perspectivas del crecimiento urbano, la actividad comercial minorista y el transporte de bienes en la Zona Metropolitana de Querétaro (México). *Ciencia Ergo-Sum*, 22(1), 1-12. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7847>

- Cairns, S., Sloman, L., Newson, C., Anable, J., Kirkbride, A. y Goodwin, P. (coords.). (2004). *Smarter choices. Changing the way we travel*. Londres: Department for Transport. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1224/1/1224/pdf>
- Castiglione, J., Bradley, M. y Gliebe J. (2014). *Activity-based travel demand models: A primer*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22357>
- Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques (CERTU). (2007). *Dix ans d'expérimentation en matière de livraisons en ville*. Francia: Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques. <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02162441/document>
- Donoso, S. y Arias, O. (2013). Desplazamiento cotidiano de estudiantes entre comunas de Chile: evidencia y recomendaciones de política para la nueva institucionalidad de la educación pública. *Eure, Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales*, 39 (116), 39-73. <http://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/230>
- Federal Highway Administration (FHWA) (1967). *Guidelines for trip generation analysis*. Washington, DC: Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
- Freeman, L.C. (1979). Centrality in networks. Conceptual clarification. *Social Networks*, 1, 215-239.
- Greene, W. (2012). *Econometric analysis*. Estados Unidos: Prentice Hall.
- González, C. y Sarmiento, I. (2009). Modelación de la distribución de viajes en el valle de Aburrá utilizando el modelo gravitatorio. *DYNA, Revista de la Facultad Nacional de Minas*, 76(158), 199-208. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a19v76n158.pdf>
- Gwilliam, K. (1997). *The value of time in economic evaluation of transport projects* (Infrastructure Notes, OT-5). Estados Unidos: Transport Sector World Bank. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/759371468153286766/pdf/816020BRI0Infr00Box379840B00PUBLIC0.pdf>
- Hani, M. (2009). Chaînage des déplacements et pratiques d'achats des familles. Le cas de l'agglomération du Havre. *Géocarrefour*, 84(1-2), 113-121. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.7261>

- Ibéas, A., González, F., Dell-Olio, L. y Moura, J. (2007). *Manual de encuestas de movilidad (preferencias reveladas)*. Santander: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Microdatos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/#Documentacion>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). *Directorio estadístico nacional de unidades económicas 2019*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de población y vivienda 2020*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Jiménez, J., de Hoyos, J. y Álvarez, A. (2014). Transporte urbano y movilidad. Hacia una dinámica urbana sustentable y competitiva. *Quivera*, 16(1), 39-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40132130003>
- López, R. (2011). La metrópoli meridana, principales tendencias socioespaciales. *Península*, 6(1), 47-81. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/peninsula/article/view/44431>
- Molineró, Á. y Sánchez, I. (2003). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. Ciudad de México: Quinta del Agua.
- Obregón, S. (2018). *Base de datos de los desplazamientos en la Zona Metropolitana de Querétaro en el año 2017*. México: Registro Público de Derecho de Autor, núm. 03-2018-090410551400-01.
- Obregón, S. (2020). Indicador para evaluar el atributo de la comodidad en el transporte público, para la estimación de modelos de elección discreta. *Nova Scientia*, 12(25), 00021. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2470>

- Obregón, S. y Betanzo, E. (2015). Análisis de la movilidad urbana de una ciudad media mexicana. Caso de estudio: Santiago de Querétaro. *Economía, Sociedad y Territorio*, 15(47), 61-98. <https://doi.org/10.22136/est002015554>
- Obregón, S. y Bueno, C. (2015). Dispersión urbana e integración funcional al núcleo central. Caso de estudio: Zona Metropolitana de Querétaro, México. *Gestión y Política Pública*, 24(2), 491-531. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792015000200006
- Obregón, S., Romero, J. y Betanzo, E. (2015). La movilidad en una zona metropolitana mexicana. Caso de estudio: Querétaro, México. *Revista Transporte y Territorio*, 12, 167-197. <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/1228>
- Ortúzar, J. y Willumsen, L. (coords.) (2008). *Modelos de transporte*. España: Universidad de Cantabria.
- Rial, A., Lamas, L. y Varela, J. (2009). Aplicación de los modelos de ecuaciones estructurales a la identificación de las variables predictoras de la fidelidad a un centro comercial. *Anales de Psicología*, 25(1), 134-141. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/71591>
- Sobrinho, J. (2007). Patrones de dispersión intrametropolitana en México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 22(3), 583-617. <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/educ/article/view/1272/2063>
- Stopher, P. y Jones, P. (2003). Developing standards of transport survey quality. En P. Stopher y P. Jones (coords.), *Transport Survey Quality and Innovation* (pp. 1- 38). Amsterdam: Pergamon.
- Sultana, S. (2000). Some effects of employment centers on commuting times in the Atlanta Metropolitan Area, 1990. *Southeastern Geographer*, 40(2), 225-233. <https://doi.org/10.1353/sgo.2000.0020>
- Teixeira, J. (2016). *Gestão da mobilidade escolar. Caso prático: Colégio Alemão do Porto (Deutsche Schule Zu Porto)*. (Tesis de maestría, Universidad de Porto, Portugal). <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/84590/2/138771.pdf>
- Torres, G., Hernández, S. y González J. (2016). *Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la*

- red carretera de México, 2016* (Notas, núm. 158) Ciudad de México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Unidad de Servicios para la Educación Básica del Estado de Querétaro (USEBEQ). (2018). *Alumnos por unidad académica de nivel básico a superior*. Página web de la USEBEQ. <http://www2.usebeq.edu.mx/saga/portesc/escuelasusebeq.cfm>
- Vahí, A. y Hurtado, C. (2017). Centros comerciales y dinámica urbana en el contexto metropolitano español. *Investigaciones Geográficas*, 68, 27-45. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.02>
- Villarreal, D. (2009). Sistema de transporte público y desplazamientos al trabajo en la zona metropolitana del Valle de México 1994-2007. *Revista Transporte y Territorio*, 1. <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/224>
- Whashington, S., Karlaftis, M. y Mannering, F. (2011). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Estados Unidos: CRC Press.

Acerca del autor

Saúl Antonio Obregón-Biosca es ingeniero civil por la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Asimismo, posee suficiencia investigadora en Urbanística, maestría en Ingeniería, y doctorado en Ingeniería, todo por el Departamento de Infraestructura del Transporte y Ordenación del Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña. Actualmente es profesor investigador en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UAQ. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel II. Obtuvo el Premio Nacional “José Carreño Romani” en 2016. Su línea de investigación actual se centra en el análisis de la movilidad metropolitana, la seguridad vial y las externalidades del transporte. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6915-4671>

Entre sus publicaciones destacan:

- Obregón S. (2020). Speed humps and speed tables: Externalities on vehicle speed, pollutant emissions and fuel consumption. *Results in Engineering*, 5(100089).

- Obregón S. (2020). Indicador para evaluar el atributo de la comodidad en el transporte público, para la estimación de modelos de elección discreta. *Nova Scientia*, 12(25), 00021. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2470>
- Obregón S. (2020). College student mobility in emerging countries: Case study on Universidad Autónoma de Querétaro, México. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 6(100155). <http://dx.doi.org/10.1016/j.trip.2020.100155>

Recepción: 31 de mayo de 2021.
Aceptación: 6 de octubre de 2021.