



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LAS POSIBLES RELACIONES ENTRE ESTRUCTURA URBANA, EL  
VOLUMEN DE VIAJES REALIZADOS Y SU DISTRIBUCIÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JUAN PABLO OLEA PADILLA

PROFESOR GUÍA:

SERGIO JARA DÍAZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ANTONIO GSCHWENDER KRAUSE

RICARDO HURTUBIA GONZÁLEZ

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por proyecto Fondecyt 1160410

SANTIAGO DE CHILE

2020

## **ANÁLISIS DE LAS POSIBLES RELACIONES ENTRE ESTRUCTURA URBANA, EL VOLUMEN DE VIAJES REALIZADOS Y SU DISTRIBUCIÓN**

Las áreas urbanas generalmente comienzan siendo ciudades monocéntricas, con las actividades principalmente concentradas en el distrito central de negocios (CBD). Sin embargo, la estructura de muchas ciudades ha ido evolucionando hacia escenarios que tienen mayor tendencia a ser descritos por un modelo policéntrico - que supone la existencia de múltiples centros que determinan la estructura de la ciudad - o una ciudad dispersa, en la cual es difícil encontrar zonas atractivas, asociándose a un patrón de viajes uniforme.

En esta memoria se indaga en las posibles relaciones entre parámetros que caracterizan la estructura urbana y el volumen de viajes en el interior de las ciudades. Se estudian diez ciudades en el continente americano a partir de su distribución de viajes y se describen a partir del modelo basado en centros propuesto por Fielbaum et al. (2017), en el cual la urbe está compuesta por múltiples macrozonas, cada una constituida por su respectiva periferia y un subcentro, más un CBD, que es común a todas las macrozonas. La descripción se construye en dos etapas; en la primera se define si las zonificaciones base pertenecen al CBD, subcentros o periferias, lo que se realiza según criterios de homogeneidad de la atractividad de viajes de las zonas y adyacencia entre zonas, siendo el CBD el conjunto de zonas base de mayor atractividad y los subcentros el siguiente grupo de mayor atracción de viajes que cumple con ser adyacente al CBD y contiguo entre sí. La segunda etapa corresponde a la definición de macrozonas, entendidas como pares subcentro – periferia construidos a partir de los límites obtenidos en la etapa 1 y de la aplicación conjunta de cuatro criterios: tamaños comparables de macrozonas; adyacencia entre subcentro y periferia; consideración de accidentes geográficos que pueden dificultar el acceso entre periferias y subcentros; consideración de pertenencia administrativa de las zonas EOD.

Para las ciudades representadas se calculan indicadores de estructura urbana en base a los coeficientes definidos por Hajrasouliha y Hamidi (2017), pero considerando la cantidad de viajes atraídos como variable principal, a diferencia de estos autores que consideran variables asociados a empleo. Los resultados de estos índices a partir de los datos de panel muestran que los índices de monocentrismo tienen una tendencia al decrecimiento a medida que aumenta el número de viajes y que ocurre lo contrario con los índices de policentrismo, ya que presentan una tendencia al alza con los viajes.

Al utilizar los parámetros de Fielbaum et al. (2017) se obtiene que  $\alpha$  (parámetro asociado a monocentrismo) decrece de manera discreta en función de los viajes en dos niveles, el primer nivel para un nivel de viajes pequeño en torno a  $\alpha = 0.5$  y luego para un nivel de viajes mayor en torno a 0.4. Al considerar  $\beta$  (parámetro asociado a policentrismo) tiene una tendencia al crecimiento con los viajes totales y  $\gamma$  (asociado a dispersión) sigue una curva decreciente a partir de un umbral de viajes. Además, se encontró que existe una relación entre  $\gamma$  y  $\beta$ , donde  $\gamma$  decrece con  $\beta$  de manera lineal. Esta relación sumada a que  $\alpha + \beta + \gamma = 1$  permite caracterizar los tres parámetros principales ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) a partir de tan solo  $\alpha$  y, por lo tanto, sería posible obtener la solución de estructuras de líneas más adecuadas en función de tan solo  $\alpha$  y el volumen de viajes ( $Y$ ).

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a mis padres por guiarme y brindarme su apoyo desde el principio, por estar siempre que los necesito, por su cariño y por enseñarme a enfrentar los desafíos con fortaleza y dedicación, a mis hermanos por su cariño, apoyo y por haber sido un ejemplo para seguir, a mis sobrinos, por su contagiosa alegría que brinda energía cuando el cansancio aparece, a mi novia Viviana, por acompañarme a lo largo de esta travesía, por darme amor, dedicación, levantarme en los momentos difíciles y ayudarme a terminar este trabajo, a mis tíos, por su preocupación y cariño, a mis amigos que han hecho muy grata la estadía en la universidad, por su compañía, apoyo, ayuda y risas.

Agradezco a los profesores de la Universidad, por los conocimientos y exigencia que me han dado las herramientas para formarme como ingeniero. En particular, quisiera agradecer al profesor Sergio Jara Díaz, por la paciencia, dedicación y constante guía entregada y a Antonio Gschwender, por los comentarios y correcciones de este trabajo.

# Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo general	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Herramientas computacionales, ciudades estudiadas y datos utilizados	3
1.4	Estructura de la memoria	4
<b>2</b>	<b>Revisión bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1	Estructura urbana en las ciudades	5
2.2	Modelos de estructura urbana y transporte	8
2.3	Modelo basado en centros	12
2.4	Síntesis	15
<b>3</b>	<b>Descripción de ciudades y fuentes de información</b>	<b>16</b>
3.1	Ciudades utilizadas, características principales y descripción de las fuentes de información	16
3.1.1	Santiago	19
3.1.2	Ciudad de México	20
3.1.3	Gran Buenos Aires	22
3.1.4	São Paulo	23
3.1.5	Córdoba	25
3.1.6	Belo Horizonte	26
3.1.7	Bogotá	27
3.1.8	Ottawa	29
3.1.9	Montreal	30
3.1.10	Gran Valparaíso	31
3.2	Síntesis	33
<b>4</b>	<b>Descripción sintética de las ciudades sobre la base de centros</b>	<b>34</b>
4.1	Metodología aplicada para la definición de zonas (Modelo basado en centros)	34
4.2	Zonificación y matrices de viajes para cada ciudad (Modelo basado en centros)	38
4.2.1	Santiago	38
4.2.2	Ciudad de México	42
4.2.3	Buenos Aires	45
4.2.4	Sao Paulo	47
4.2.5	Córdoba	54
4.2.6	Belo Horizonte	56
4.2.7	Bogotá	58
4.2.8	Ottawa	65
4.2.9	Montreal	66
4.2.10	Gran Valparaíso	70
4.3	Síntesis	71
<b>5</b>	<b>Estructura urbana y análisis paramétrico de las ciudades</b>	<b>73</b>
5.1	Variables descriptivas de estructura urbana y viajes de la ciudad	74



5.2	Índices de monocentrismo y policentrismo de las ciudades.....	77
5.2.1	Índices de monocentrismo.....	77
5.2.2	Índices de policentrismo.....	81
5.2.3	Índices agregados sin considerar viajes intrazonales .....	85
5.3	Parámetros del modelo basado en centros de Fielbaum et al. (2017).....	88
5.4	Síntesis.....	98
<b>6</b>	<b>Síntesis, conclusiones y trabajo futuro. ....</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>101</b>

# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

Las áreas urbanas generalmente comienzan siendo monocéntricas, con las actividades principalmente concentradas en el distrito central de negocios (CBD), atrayendo este una alta proporción de los viajes generados en la ciudad. Sin embargo, la estructura de muchas ciudades ha ido evolucionado hacia escenarios que tienen mayor tendencia a ser descritos por un modelo policéntrico, que supone la existencia de muchos centros que determinan la estructura de la ciudad o una ciudad dispersa, en la cual es difícil encontrar zonas atractivas, asociándose a un patrón de viajes uniforme.

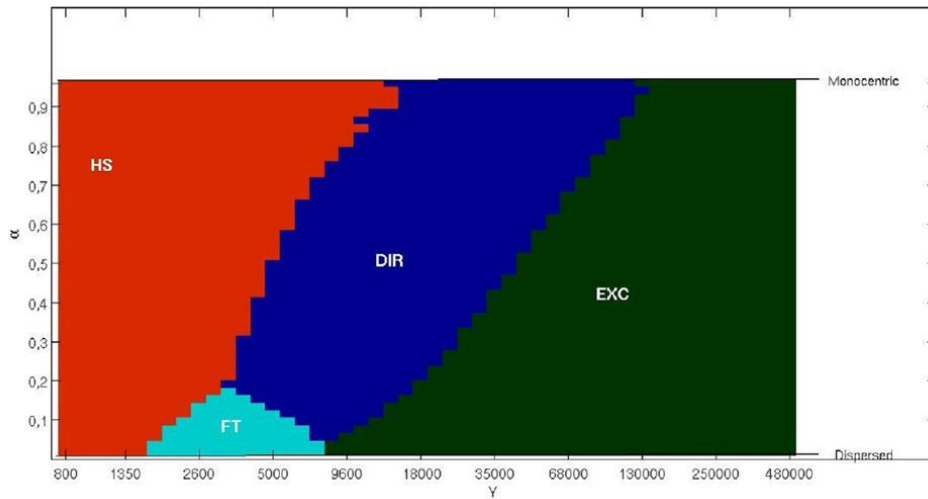
La evolución de la estructura urbana induce modificaciones en los patrones de viaje. En este sentido, estudios de transporte actuales actuales, como Daganzo (2010), Badia (2020), Tirachini et al. (2010), Saidi et al. (2016) y Fielbaum et al. (2016) han mostrado la dependencia existente entre la estructura urbana, la estructura de viajes y las estructuras de servicio de transporte público más adecuadas en las ciudades.

En esta memoria se indaga en las posibles relaciones entre la estructura urbana y el volumen de viajes y su distribución en el interior de las ciudades. Para lo anterior se estudian diez ciudades de distintos países en el continente americano a partir de su distribución de viajes. Esta distribución se obtiene a partir de trabajar con los datos de las encuestas origen destino de cada ciudad. Las metrópolis se describen a partir del modelo basado en centros propuesto por Fielbaum et al. (2017), en el cual la urbe está compuesta por múltiples zonas, cada una constituida por su respectiva periferia, un subcentro y CBD, que es común a todas las zonas.

A partir de la definición de índices asociados a estructura urbana basados en los considerados por Hajrasouliha y Hamidi (2017), pero con la diferencia en que los coeficientes de estos autores consideran variables asociados a empleo y los índices de este trabajo consideran la cantidad de viajes atraídos como variable principal, se analiza qué sucede con la atracción del CBD y subcentros a medida que aumentan los viajes. Lo anterior, para desprender una relación entre el volumen de viajes y cuan concentrada está una ciudad en el centro (monocentrismo) o a los subcentros (policentrismo). Además, se buscan las posibles relaciones entre los parámetros definidos por Fielbaum et al. (2017) para modelar la distribución de flujos de pasajeros en la ciudad, donde principalmente se estudian los parámetros  $\alpha$  (asociado a monocentrismo),  $\beta$  (asociado a policentrismo) y  $\gamma$  asociado a dispersión, que le permiten comparar diferentes estructuras de líneas de transporte (hub&spoke, troncal-alimentador, directas y exclusivas) para diferentes volúmenes de viajes considerando o no la penalidad por transbordo.

En Fielbaum et al. (2016) se cubre todo el espacio de combinaciones posibles entre  $(\alpha, \beta, \gamma)$  que definen el patrón de viajes en la ciudad e  $Y$  definido como el volumen de viajes por hora para encontrar la estructura de líneas de transporte más adecuado en la ciudad. En la Figura 1.1 se muestra el espacio anteriormente mencionado para una relación dada entre los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$ , donde en el eje de las ordenadas se considera el valor del parámetro  $\alpha$  asociado a monocentrismo y en el eje de las abscisas el volumen total de viajes por hora. Esta figura, que representa el espacio de combinaciones posibles, muestra como resultado que, en el caso de considerar la penalidad por transbordo equivalente a 24 veces un minuto de viaje a bordo de un vehículo, las estructuras

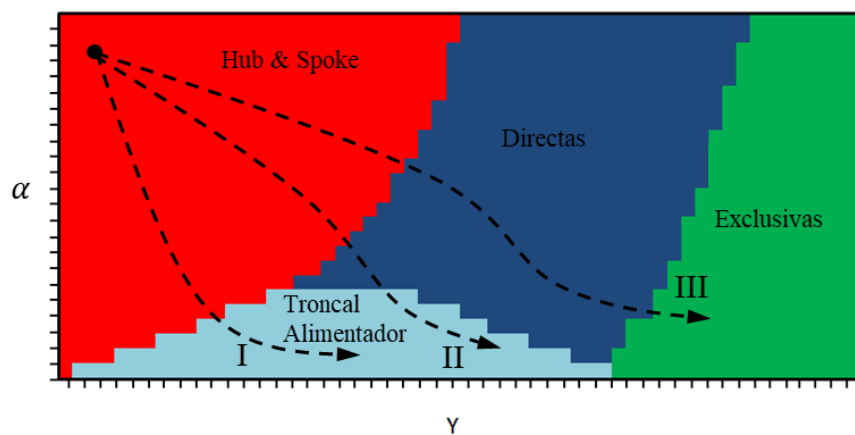
convenientes son para  $Y$  bajo las Hub and Spoke, para  $Y$  medio las directas y para  $Y$  alto las exclusivas. En el caso en que la demanda de viajes es relativamente pequeña y el parámetro  $\alpha$  es muy pequeño, pueden ser mejores las estructuras de líneas Troncal Alimentador.



**Figura 1.1: Estructuras óptimas en el espacio  $(\alpha, Y)$  para un bajo grado de dominio relativo de subcentros propios sobre ajenos. Fuente: Fielbaum et al. (2016).**

En base a lo anterior la pregunta que surge es ¿habrá alguna relación entre estos parámetros? En particular, cabe preguntarse si  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  evolucionan de cierta manera con  $Y$ .

Se trata de obtener idealmente patrones de evolución de las ciudades como se presenta en la Figura 1.2 que relaciona el parámetro  $\alpha$  con  $Y$  y muestra las áreas en que cada estructura de líneas es óptima, donde el camino I representa una evolución rápida del nivel de monocentrismo a medida que aumenta la cantidad de viajes, pasando de una estructura conveniente original de Hub and Spoke a una estructura de troncal alimentador, el camino II una evolución rápida pero menos brusca que I, tendiendo a una solución de estructura directa a medida que crece  $Y$  y que luego cambia a troncal alimentador, y el camino III en que el valor de  $\alpha$  disminuye lentamente a medida que aumenta el volumen de viajes, pasando de Hub and Spoke a directas y luego a exclusivas.



**Figura 1.2: Tres Posibles evoluciones de la estructura urbana en el espacio  $(\alpha, Y)$ .**

Este estudio implica describir empíricamente la estructura urbana y transporte de las ciudades, por lo tanto, busca tener un impacto con relación a planificación urbana y sustentabilidad. En la línea anterior, se espera que el conocimiento generado a partir de este trabajo sea de utilidad para planificar la mejor estrategia de servicio de un sistema de transporte urbano en base a la demanda total de una ciudad.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Estudiar la estructura urbana de diversas ciudades y buscar relaciones entre parámetros que caracterizan esta estructura y la cantidad de viajes registrada en la ciudad.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Hallar y procesar fuentes de información con datos de movilidad en el interior de las ciudades para formular matrices origen destino entre zonas base.
2. Representar las ciudades en base al modelo basado en centros, propuesto por Fielbaum et al. (2017).
3. Calcular índices de estructura urbana generales y parámetros de Fielbaum et al. (2017).
4. Analizar las posibles relaciones entre los parámetros relacionados a estructura urbana y el volumen de viajes.

## 1.3 Herramientas computacionales, ciudades estudiadas y datos utilizados

Para determinar la matriz origen destino de cada ciudad se obtiene la metadata de encuestas origen destino de cada ciudad estudiada, considerando los viajes generados en el periodo punta mañana (PM). Estos datos se procesan según sea necesario en Excel, Access o Python.

Las fuentes de esta información son las siguientes:

- **Santiago:** La información se obtiene de la página web del Programa de Vialidad y Transporte Urbano SECTRA, de la Subsecretaría de Transportes del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), en el proyecto “Encuesta Origen Destino Santiago 2001”, “Encuesta Origen Destino 2012”. Fuente: SECTRA (2019).
- **Ciudad de México:** La información se encuentra disponible en la página web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el proyecto “Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD) 2017”. Fuente: INEGI (2019).
- **Buenos Aires:** Los datos están disponibles en la página web del gobierno de Argentina, en el proyecto “Encuesta de Movilidad Domiciliaria 2009-2010: Movilidad en el Área Metropolitana de Buenos Aires”. Fuente: Argentina.gob.ar (2019).
- **São Paulo:** La información se encuentra en la página web del metro de São Paulo, donde están disponibles las encuestas Origen Destino realizadas en los últimos 50 años. Para este trabajo se utilizaron las realizadas en los proyectos “Pesquisas Origem e Destino 1977”, “Pesquisas Origem e Destino 1987”, “Pesquisas Origem e Destino 2007” y “Pesquisas Origem e Destino 2017”. Fuente: Metro de Sao Paulo (2019).
- **Córdoba:** Los datos están disponibles en la página web del gobierno de Argentina, en el proyecto “Encuesta de Origen / Destino 2009: Movilidad en el Área Metropolitana de Córdoba”. Fuente: Argentina.gob.ar (2019).

- **Belo Horizonte:** Los datos son obtenidos de la página web de la prefectura de Belo Horizonte, en el proyecto “Pesquisa Origem Destino 2012”. Fuente: Prefeitura Belo Horizonte (2019). Fuente: Prefeitura Belo Horizonte (2019).
- **Bogotá:** La información se encuentra disponible en la página web de Prudencia Bogotá, que es el sistema integrado que facilita la comunicación y el intercambio de información entre los actores y los componentes de la movilidad, en los proyectos “Encuestas de movilidad 2005”, Encuestas de movilidad 2011”, “Encuestas de movilidad 2015”, “Encuestas de movilidad 2019”. Fuente: Prudencia Bogotá (2020).
- **Ottawa:** La información se encuentra disponible en la página web de Trans, un comité conjunto de planificación del transporte al servicio de la región de la capital de Canadá, en los proyectos “2011 NCR Household Origin-Destination Survey” y “2005 Origin-Destination Survey”. Fuente: TRANS Committee (2019).
- **Montreal:** Los datos se obtienen de la página web de la Autoridad Regional de Transporte Metropolitano de Quebec, en los proyectos “Enquête Origine-Destination 2013”, “Enquête Origine-Destination 2008” y “Enquête Origine-Destination 1998”. Fuente: ARTM (2019).
- **Valparaíso:** La información está disponible en la página de la Secretaria de Planificación de Transporte (SECTRA), en el proyecto “Encuesta de Origen y Destino de Viajes del Gran Valparaíso 2014”. Fuente: SECTRA (2019).

Además, se hizo uso del software QGIS (un sistema de información geográfica) para visualizar y clasificar las zonas EOD según su nivel de atracción y realizar la representación de las ciudades asignando cada zona base a una zona del modelo basado en centros.

Finalmente, con la construcción de las zonas del modelo para cada ciudad se generan las matrices origen-destino por medio de Excel, software mediante el cual también se obtienen los parámetros de cada ciudad y el análisis gráfico.

#### **1.4 Estructura de la memoria**

La memoria se estructura en seis capítulos, donde en el Capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica, que presenta antecedentes sobre estructura urbana de distintas ciudades alrededor del mundo y sus principales conclusiones disponibles en la literatura. Se presenta además modelos de estructura urbana y se define las características principales del modelo empleado en esta memoria. Luego, en el Capítulo 3 se presenta características de las ciudades utilizadas y se realiza una breve descripción de la información contenida en la data utilizada (Encuestas Origen-Destino). El capítulo 4 corresponde a la representación de las ciudades a partir del modelo basado en centros y de la presentación de las matrices origen-destino obtenidas a partir de esta definición de zonas. En el Capítulo 5 se definen y presentan los valores de índices y parámetros asociados a estructura urbana y se realiza el análisis de las posibles relaciones entre estos y el volumen de viajes realizados. Finalmente, en el Capítulo 6 se exponen las principales conclusiones obtenidas y se presenta posibles extensiones del trabajo.

## 2 Revisión bibliográfica

Esta memoria busca estudiar la estructura urbana de las ciudades en función del volumen de viajes y su distribución. Este es un tema que ha sido motivo de estudio en diversos trabajos, donde algunos de ellos buscan, por medio de modelos, representar el comportamiento de las áreas urbanas.

El modelo básico en esta perspectiva de estructura urbana es el modelo monocéntrico, originalmente presentado por Alonso (1964) y complementado por Muth (1969). Este modelo tiene sus fundamentos en la teoría de la Economía Neoclásica, en que los agentes económicos racionales maximizan sus utilidades en la elección de la localización de viviendas y empresas. Anas et al. (1998) señalan que en este modelo la ciudad está conformada por un área residencial circular, rodeando al distrito central de negocios (CBD), en el cual se ubican todos los empleos. Sin embargo, las ciudades no están presentando este comportamiento o están evolucionando hacia un comportamiento distinto, en este sentido Anas y Kim (1996), además de Giuliano y Small (1991), sugieren que el modelo monocéntrico es insuficiente para explicar las ciudades actuales.

El modelo policéntrico se sustenta en el concepto de subcentro que complementa el poder atractivo del CBD. McMillen (2001) define un subcentro como cualquier sector cuya densidad de empleo es considerablemente mayor que la densidad de sectores vecinos. Según Lee (2007), cuando no es posible evidenciar alguno de los modelos anteriores, la ciudad se describe mejor como dispersa. En las ciudades dispersas la distribución de viajes es homogéneo, por lo tanto, no hay centros de empleo significativos.

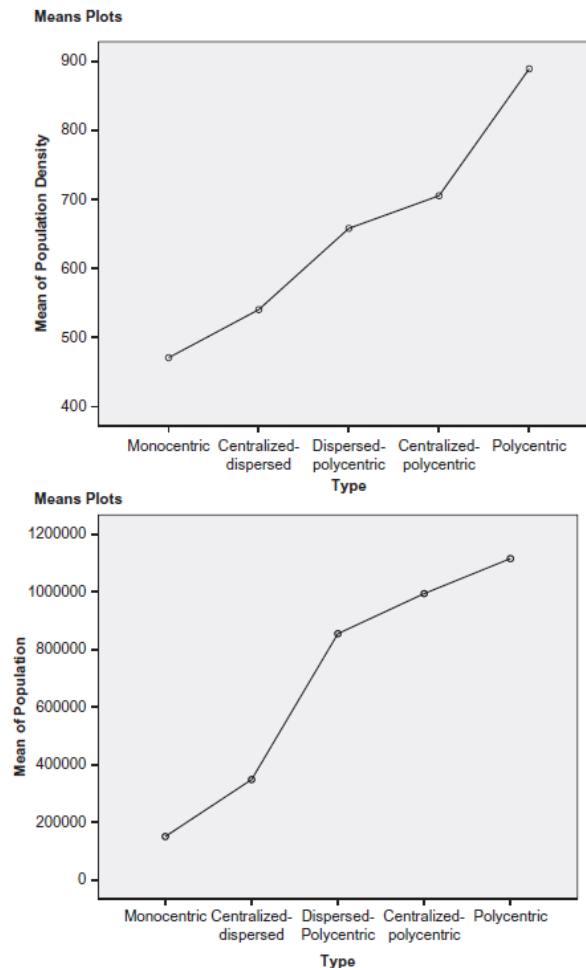
A continuación, se presentan algunos estudios y sus principales conclusiones referente a estructura urbana y su evolución en las ciudades.

### 2.1 Estructura urbana en las ciudades

En la literatura se usa mayoritariamente información referente a la ubicación y densificación del empleo para describir la estructura urbana. Un estudio que abarca un gran número de ciudades es el realizado por Hajrasouliha y Hamidi (2017), en el cual se investiga cuantitativamente la estructura espacial del empleo en el año 2010 en 356 áreas estadísticas metropolitanas (MSA) de EE. UU. A partir de la localización de los principales centros de trabajo, encuentran el CBD y los subcentros de la ciudad para calcular índices de centralización y policentrismo (a partir de 12 variables medidas). Realizan una clasificación de las ciudades en las categorías de dispersa-monocéntrica, monocéntrica, centralizada-policéntrica, policéntrica, dispersa-policéntrica y dispersa. Esto debido a que consideran que las ciudades tienen un comportamiento mixto entre tipos de estructura (no son completamente monocéntricas, policéntricas o dispersas). En términos de esta tipología, la dispersa-monocéntrica es el tipo más frecuente, con 130 MSA, seguido de dispersa-policéntrica, con 113 MSA.

Los resultados de Hajrasouliha y Hamidi (2017) muestran que las MSA policéntricas tienen una población y densidad de población significativamente más altas que las MSA monocéntricas y dispersas-monocéntricas. Además, tienen una densidad de población significativamente mayor que las MSA dispersas-policéntricas. Las MSA dispersas-monocéntricas tienen una población y densidad significativamente mayores que las MSA dispersas-policéntricas y centralizadas-policéntricas. Finalmente, las MSA monocéntricas tienen un tamaño de población y densidad significativamente más bajos que las MSA centralizadas-policéntricas (ver Figura 2.1).

Este resultado es un punto de partida que sugiere la idea de que es esperable encontrar que ciudades con mayor volumen de viajes totales presenten menores parámetros relacionados al monocentrismo.



**Figura 2.1: Tipos de ciudades por promedio de densidad de población y promedio de población.**  
**Fuente: Hajrasouliha y Hamidi (2017)**

Continuando en EE. UU., Lee (2007) a partir de 6 ciudades encuentra tres patrones distintivos de desarrollo espacial. La dispersión laboral fue predominante en Portland y Filadelfia, mientras que la estructura policéntrica de Los Ángeles y San Francisco se reforzó aún más. Nueva York y Boston con CBD grandes y de larga data fueron menos propensos a la descentralización. Esto evidencia que no existe un patrón único de evolución y que existe un gran abanico de tipos de ciudades y de factores que definen la estructura urbana de las ciudades.

Existen estudios que se enfocan en analizar la estructura urbana de ciudades individuales. Aguilar y Hernandez (2016) concluyen que la Ciudad de México es un ejemplo de una megaciudad que ha evolucionado desde una forma monocéntrica hacia una estructura policéntrica muy restringida. La dinámica de la globalización y el cambio en las actividades económicas para favorecer los servicios, han intensificado un patrón de "desconcentración" expandiéndose a las afueras de la ciudad central, particularmente hacia el oeste.

Gallo y Garrido (2012) identifican características de policentrismo y dispersión en la ciudad de Madrid en España, ya que se evidencia la existencia de subcentros metropolitanos que continúan consolidándose como auténticos nodos de influencia y referencia para los territorios de su alrededor. Lo anterior se desprende del análisis de los flujos de movilidad laboral que permiten captar la interacción entre éstos y sus áreas de influencia.

Gordon y Richardson (1996) examinan la distribución del empleo entre los subcentros en la región metropolitana de Los Ángeles en 1970, 1980 y 1990, definida en términos de tasas de generación de viajes en lugar de densidades de empleo. Los resultados muestran que el número de subcentros disminuyó de cada año de análisis al siguiente, y que la proporción de trabajos regionales en todos los subcentros es pequeña y cayó de año en año, incluso cuando el número de subcentros se mantiene constante. Debido a este resultado sugieren que la región de Los Ángeles puede describirse con mayor precisión como una metrópoli dispersa que como una metrópoli policéntrica.

Moghadam et al. (2018) examinan los patrones de crecimiento y cambio en Sydney durante el período de 1981 a 2006, tomando la densidad de empleo como una dimensión estructural a partir de la modelación de los efectos lineales e interactivos de esta dimensión, mediante el uso de la estimación de los modelos exponenciales negativos tradicionales de monocentrismo y policentrismo. Esta estimación concluye que la ciudad presenta un patrón policéntrico al comienzo y al final del período de estudio.

Truffello e Hidalgo (2015) por medio de modelos paramétricos caracterizan a Santiago como una estructura policéntrica, desde la perspectiva comercial. Dicha estructura tiene matices de corte monocéntrico, ya que aún se encuentra mayoritariamente dominada por el CBD. Observando la evolución de la estructura urbana de Santiago, constatan que entre los años 2001 y 2009, se registra una disminución de la influencia del CBD y la estructura urbana evoluciona hacia un modelo cada vez más policéntrico hablando desde la perspectiva comercial. Esto se explica por la aparición, consolidación y evolución de numerosos subcentros comerciales, en especial los que basan su poder comercial en los malls y en entornos de gran potencia demográfica (o, en su defecto, socioeconómica).

Huang et al. (2015) exploran la distribución de densidad de empleo de la ciudad de Beijing e investigan posibles subcentros de empleo. A partir de la estimación de modelos estadísticos de monocentrismo y policentrismo, obtienen que un modelo policéntrico que incluye subcentros además del CBD, solo tiene un 4% más de poder explicativo que un modelo monocéntrico simple, lo cual se considera un valor pequeño debido a que abarca una mayor cantidad de zonas atractivas. Por lo anterior concluyen que Beijing todavía tiene fuertes características monocéntricas, pero puede estar en transición a un patrón policéntrico.

Fernández-Maldonado et al. (2014) al estudiar Ciudad de México (México), Lima (Perú) y Fortaleza (Brasil) indican que las metrópolis latinoamericanas están evolucionando hacia estructuras policéntricas. Además, indican que los subcentros de empleo identificados se encuentran principalmente en o cerca del núcleo metropolitano, lo que prácticamente excluye la formación de nodos policéntricos en la periferia metropolitana.

Es importante tener en consideración distintos tipos de factores que afectan la estructura urbana. En este sentido, Liu y Wang (2016) formularon hipótesis respecto a la relación entre las ciudades policéntricas y factores físicos, económicos y políticos, considerando 318 ciudades chinas. Los resultados revelaron que existen mayores niveles de policentrismo en ciudades montañosas, por lo que los factores geográficos deben ser considerados para hacerse una idea de



la estructura urbana, además revelan que, en las ciudades del este, mientras mayor PIB per cápita más policéntrica es la ciudad.

Como se ha identificado en la revisión de la literatura, la tendencia general es la evolución desde comportamientos monocéntricos a policéntricos y dispersos.

## **2.2 Modelos de estructura urbana y transporte**

Es importante conocer los modelos que buscan representar la estructura urbana. Algunos de los más destacados son los que surgen desde la ecología urbana, donde el modelo de anillos concéntricos de Burgess (1925) es el propulsor original. Este fue continuado por el modelo de los sectores de Hoyt (1939) y el modelo de núcleos múltiples de Harris y Ullman (1945).

El modelo de crecimiento urbano de Burgess (1925) se basa en la idea de que las entidades de una sociedad urbana compiten por las mejores ubicaciones dentro de la ciudad. La competencia por el centro urbano provoca una sucesiva expansión de los usos del suelo hacia la periferia de la ciudad, formando una serie de áreas concéntricas que rodean el centro.

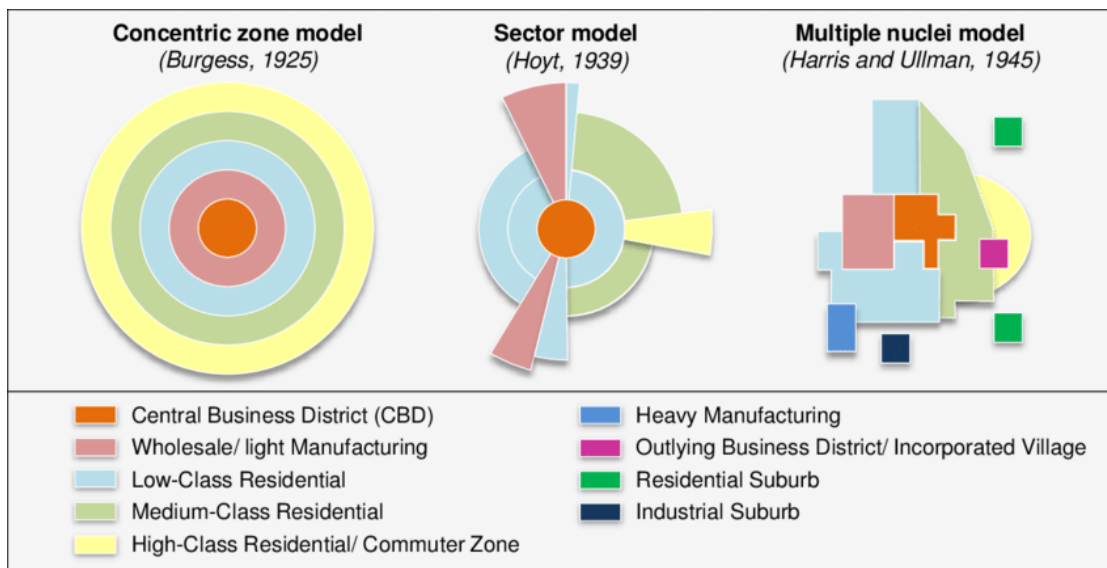
El modelo de Burgess (1925) muestra la tendencia que tendría la ciudad a expandirse a partir de su CBD (Zona I). Luego rodeando el centro de la ciudad, normalmente hay un área en transición, que está siendo invadida por los negocios y la industria ligera (Zona II). Una tercera área (Zona III) está habitada por trabajadores en industrias que han escapado del área de deterioro (Zona II) pero que desean vivir con fácil acceso a su trabajo. Más allá de esta zona se encuentra el "área residencial" (Zona IV) de edificios de apartamentos de clase alta o de distritos exclusivos "restringidos" de viviendas unifamiliares. Aún más lejos, más allá de los límites de la ciudad, se encuentra la zona de viajeros (áreas suburbanas o ciudades satélites) dentro de un trayecto de treinta a sesenta minutos del distrito central de negocios.

Linares (2016) expone que, aunque el modelo de Burgess describe un patrón ideal de crecimiento urbano, no tuvo en cuenta diversos factores como las redes de transporte o la topografía, que pueden causar alteraciones en el patrón ideal. Sin embargo, su propuesta sirvió de base para la postulación de otros modelos de estructura y crecimiento urbano.

Hoyt (1939) complementó el modelo de Burgess resaltando la importancia de las vías de transporte. De esta forma define sectores orientados a lo largo de importantes arterias de transporte, como ferrocarriles y carreteras, además considera efectos geográficos y de uso de suelo adyacente y cercano. Los grupos de altos ingresos ocupan las áreas más codiciadas y, los demás, van situándose gradualmente en torno a las zonas de mejores características. En este modelo las áreas residenciales de clase alta se extienden a lo largo de vías de transporte con buena accesibilidad y también en terrenos altos o a lo largo de frentes de agua.

Harris y Ullman (1945) argumentan que la estructura urbana y desarrollo no se centra en un solo distrito central de negocios (CBD), sino que en varios puntos de crecimiento denominados núcleos, definiendo así el modelo de núcleos múltiple. Los núcleos se basan en antiguas aldeas que se convierten en núcleos debido al crecimiento de la ciudad, de esta manera consideran que la forma de la ciudad se debe a la acción de fuerzas económicas y sociales.

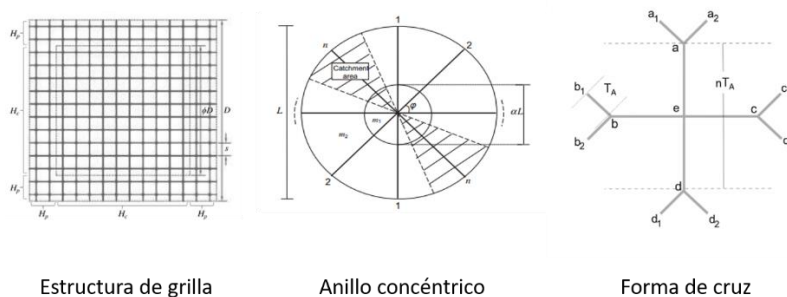
La forma urbana que presentan los modelos de Burgess (1925), Hoyt (1939) y Harris y Ullman (1945) se puede ver en la Figura 2.2.



**Figura 2.2: Modelos clásicos de morfología urbana basados en Burgess (1925), Hoyt (1939) y Harris y Ullman (1945). Fuente: Schlesinger (2013).**

Otro tipo de modelos de ciudades a considerar son los utilizados para hacer análisis de problemas de transporte. Daganzo (2010) utiliza un modelo en que la ciudad se representa por un cuadrado de lado  $D$  y cuyo trazado de calles forma una grilla, donde la demanda está distribuida uniformemente. Una de las limitaciones de esta modelación es que dado que la demanda es uniforme no se considera la existencia de un punto más importante que otro en cuanto a atracción de viajes, como sería el distrito central de negocios (CBD). Otro tipo de modelos son los concéntricos como por ejemplo los aplicados por Tirachini et al. (2010), Badia (2020) y Saidi et al. (2016). En este tipo de modelos se utilizan un conjunto de línea radiales rectas espaciadas uniformemente sobre un área circular de diámetro  $L$ , como una rueda de bicicleta (ver Figura 2.3).

Otras investigaciones consideran redes pequeñas para representar aspectos específicos. Jara-Díaz y Gschwender (2003) representan una estructura en forma de cruz y Gschwender et al. (2016) emplean una red con forma de Y, donde los flujos que se originan en las calles locales y en la avenida interactúan en su viaje. Ambas representaciones se diseñan para analizar si son convenientes las líneas directas o las líneas basadas en transbordos. Estas configuraciones son aplicables al examen de aspectos específicos, pero no logran la representación correcta de un sistema urbano subyacente.



**Figura 2.3: Modelos de estructura urbana empleados para análisis de transporte. fuente: De izquierda a derecha Daganzo (2010), Tirachini et al. (2010), Jara-Díaz y Gschwender (2003).**

Uno de los esfuerzos más recientes en el estudio de características urbanas es el realizado por Oke et al. (2019). Los autores destacan que la movilidad urbana contribuye significativamente a las emisiones globales de dióxido de carbono y que, dada la rápida expansión y el crecimiento en las zonas urbanas, las ciudades requieren políticas innovadoras para garantizar que la movilidad sea eficiente y sostenible. En este sentido proponen tipologías urbanas que pueden servir como vehículo para comprender la dinámica de las ciudades, que exhiben altas variabilidad en la forma, producción económica, comportamiento de movilidad, entre otros. Este estudio abarca 331 ciudades en 124 países que, mediante un enfoque de agrupamiento analítico y aglomerado de factores, identifican 9 factores urbanos y 12 tipologías de ciudades. Los factores junto a los indicadores que los definen se presentan en la Tabla 2.1, y las tipologías de ciudades definidas se presentan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.1: Factores considerados por Oke et al. (2019).**

Factor	Key indicators
Metro propensity	Urban rail/ metro (demand, supply, age)
BRT propensity	Bus rapid transit(demand, supply, fares)
Bikeshare propensity	Bikeshare (demand, supply), low cost of living
Development	Wealth, cost of living indices, innovation
Population	Growth, population change
Congestion	Congestion (various metrics), public transit mode share, low car mode share
Sustainability	Bike mode share, street length, safety, efficiency, low congestion
Sprawl	Road deaths, high car mode share, low gas price, CO <sub>2</sub> emissions, street length
Network density	High intersection density, high street density, low street length average, low circuitry

Cada tipología definida captura resultados urbanos distintos y sirve como un banco de pruebas potencial para implementaciones de movilidad sostenible. Es posible nombrar algunos resultados interesantes de las tipologías de ciudades obtenidos, por ejemplo, las ciudades clasificadas como MetroBike en China son las de mayor crecimiento, junto con la mayor proporción de carreteras. La tipología de Congested Boomer también es notable por su gran densidad de población y problemas de congestión, pero relativamente bajas emisiones de CO<sub>2</sub>. Predominantemente en América del Norte, las ciudades automotrices son excepcionales en el uso del automóvil, la riqueza y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las tipologías Mass Transit Heavyweight y Mass Transit Moderate representan resultados potencialmente deseables en movilidad sostenible.

**Tabla 2.2:Tipologías urbanas y sus ciudades representativas. Fuente: Oke et al. (2019)**

Typology	No. cities	Features; major locations	Key example cities
Auto Innovative	14	Auto-dependent, wealthy, higher transit mode share, metro & population density; U.S., Canada	Washington DC, Boston, Chicago, San Francisco, Toronto
Auto Sprawl	51	Auto-dependent, wealthy, sprawling, lowest transit mode share; U.S., Canada, Middle East	Baltimore, Tampa, Raleigh, Kuwait City
BusTransit Dense	16	Large population, high BRT, fairly congested; South America	Bogota, Rio de Janeiro, Jakarta, Sao Paulo, Tehran
BusTransit Sprawl	47	Lower population, sprawling, fair public transit ; Latin America, Central Asia/Middle East	Mecca, Shiraz, Santa Cruz, Tripoli, Caracas
Congested Boomer	17	Rapid growth, congestion, moderate car mode share; Indian Subcontinent, Africa	Bangalore, Chennai, Delhi, Lagos, Manila
Congested Emerging	59	High growth, lower population, developing; Africa, S. Asia	Kumasi, Phnom-Penh, Port-au-Prince, Lucknow
Hybrid Giant	26	Mix of mode choices, dense networks, high population density; S./E. Europe, E. Asia	Busan, Lisbon, Sapporo, Santiago, Warsaw
Hybrid Moderate	20	Mix of mode choices, lower population; Central America, Middle East	Havana, Johannesburg, Montevideo, Panama City
MetroBike Emerging	27	Metro & bikeshare dominant, highway development, fairly wealthy; China	Ningbo, Zhengzhou, Shenyang, Harbin
MetroBike Giant	5	Metro & bikeshare dominant, large population; wealthy; China	Shenzhen, Guangzhou, Chongqing, Beijing
MassTransit Heavyweight	19	High mass transit usage and metro availability, high bike-share; fairly high CO <sub>2</sub> emissions; Europe, S.E. Asia	Singapore, Madrid, Seoul, Berlin, London
MassTransit Moderate	30	Equitable, high bikeshare, moderate metro and BRT, low congestion; W. Europe, Israel	Antwerp, Tel Aviv, Turin, Liverpool

El último trabajo que relaciona estructura urbana y transporte es el realizado por Fielbaum et al. (2016), quienes construyen un modelo simple de ciudad basado en una estructura de centros que les permite identificar las estructuras de transporte óptimas dependiendo de la demanda total por viajes y de indicadores de niveles de monocentrismo, policentrismo o dispersión de la ciudad. Esta representación propone una descripción de la estructura de las ciudades y sus flujos basado en parámetros, de tal manera que el sistema de transporte público puede ser estudiado a partir del análisis de la red subyacente, las áreas involucradas y el patrón espacial de la demanda de transporte. Este modelo de ciudad es lo suficientemente simple como para desarrollos analíticos y es lo suficientemente complejo como para desarrollar diferentes fenómenos urbanos.

Por los motivos anteriores se utiliza el modelo de Fielbaum et al. (2016) para la representación de las ciudades. Este se presenta en la siguiente sección.

### 2.3 Modelo basado en centros

El trabajo realizado en esta memoria utiliza la descripción paramétrica de una estructura urbana basada en centros, propuesta por Fielbaum et al. (2017) la cual es una profundización de lo realizado por Fielbaum et al. (2016), donde se realiza una optimización de la estructura de líneas de transporte, logrando obtener la mejor alternativa entre hub&spoke, troncal-alimentador, directas y exclusivas para diferentes volúmenes de viajes y su distribución, considerando o no la penalidad por transbordo, en periodo punta de la mañana.

Esta representación propone una descripción de la estructura de las ciudades y sus flujos basada en parámetros, tales que el sistema de transporte público puede ser estudiado a partir del análisis de la red subyacente, las áreas involucradas y el patrón espacial de la demanda de transporte.

El modelo de Fielbaum et al. (2017) considera que la periferia solo genera viajes, los subcentros generan y atraen viajes de los otros subcentros y el CBD solo atrae. Los parámetros principales se definen como sigue:

$\alpha$ : proporción de viajes generados en las periferias que van al CBD, de manera que, si está cerca de 1, la ciudad es altamente monocéntrica.

$\beta$ : fracción de viajes generados en cualquier periferia que va a su propio subcentro, de modo que un valor alto para este parámetro significa policentrismo.

$\gamma$ : viajes restantes a los subcentros extranjeros, de modo que un valor alto representa una ciudad dispersa.

La suma de estos parámetros cumple:  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ .

La representación de red que utilizan los autores está compuesta de  $n$  zonas, donde cada una incluye un subcentro y un nodo periférico, y el CBD, que hace  $2n + 1$  nodos en total. Los subcentros están conectados al CBD, a sus subcentros vecinos y a su propia periferia, por lo que el número de arcos es  $3n$ . La representación de una ciudad simétrica para  $n=5$  se presenta en la Figura 2.4.

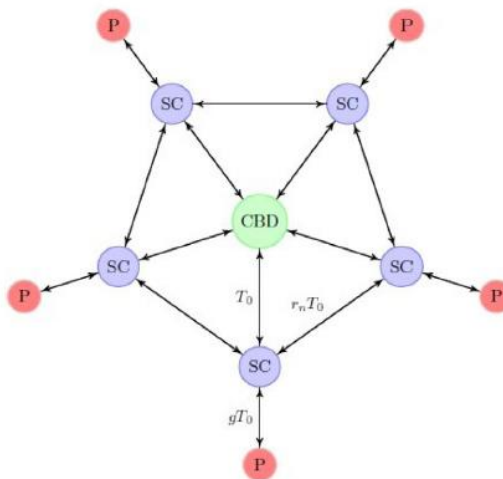
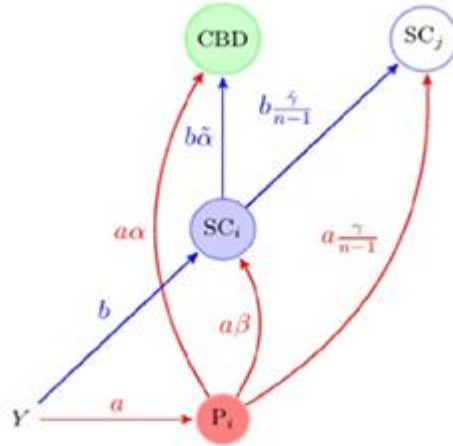


Figura 2.4: Modelo de ciudad para  $n=5$ , versión simétrica. Fuente: Fielbaum et al. (2017)

En la Figura 2.5 se representa la distribución de viajes según los parámetros descritos anteriormente. En este modelo se considera que los viajes son originados en las periferias y los subcentros, y que las zonas atrayentes de viajes son los subcentros y el CBD. Los viajes totales son representados por  $Y$ , de los cuales  $a$  viajes son originados en la periferia y  $b$  en los subcentros. A partir de los viajes originados en los subcentros se define  $\tilde{\alpha}$  como la proporción de viajes originados en los subcentros con destino el CBD y  $\tilde{\gamma}$  como la proporción de viajes originados en los subcentros con destino a otros subcentros, tal que  $\tilde{\alpha} + \tilde{\gamma} = 1$ . Además, para preservar la idea de que  $\alpha$  representa monocentrismo y  $\gamma$  dispersión, se impone la relación  $\frac{\tilde{\alpha}}{\alpha} = \frac{\tilde{\gamma}}{\gamma}$  (lo cual implica que  $\tilde{\alpha} = \frac{\alpha}{1-\beta}$  y  $\tilde{\gamma} = \frac{\gamma}{1-\beta}$ ).



**Figura 2.5: Distribución de viajes por par o-d. Fuente: Fielbaum et al. (2017)**

Las estructuras de servicio consideradas por los autores como alternativas a elegir son de líneas directas, exclusivas, hub&spoke y troncal alimentador, las cuales se definen a continuación:

- **Líneas Directas:** cada pasajero tiene una línea que conecta su origen y destino sin transferencias, pero cada línea puede servir diferentes pares O-D.
- **Líneas Exclusivas:** Unen a todos los pares origen-destino sin realizar paradas en nodos intermedios, por lo que no hay transbordos, existiendo un servicio único para cada par de nodos.
- **Troncal-Alimentador:** Los pasajeros de la periferia toman buses alimentadores hasta el subcentro de la misma zona. Desde allí hay líneas directas (troncales) para todos los subcentros, realizando paradas en el CBD. Además, se añaden líneas circulares que unen a los subcentros.
- **Hub&Spoke:** El CBD se convierte en el punto más relevante de transbordo, ya que la mayoría de los viajes van hacia el CBD y luego transbordan para llegar a su destino. No se trata de una estructura “pura” de hub&spoke, debido a que se añaden líneas circulares que unen a los subcentros, generándose transbordos en los subcentros cuando sea conveniente para los usuarios.

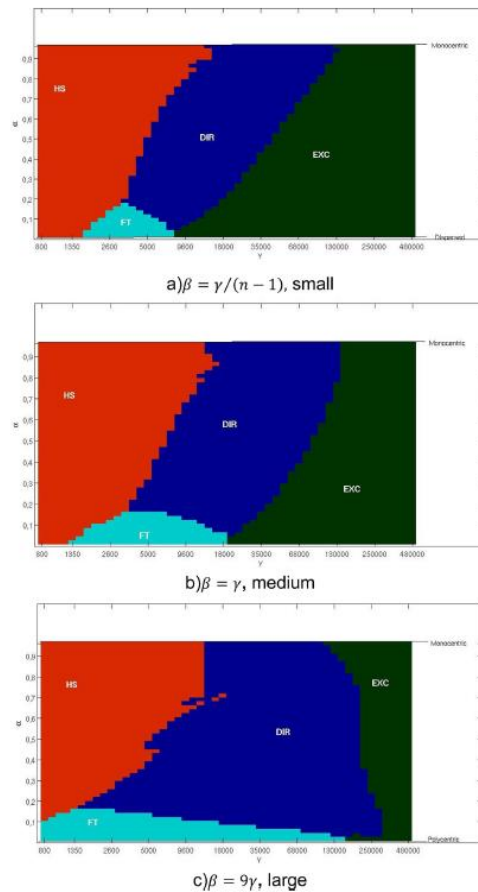
La estructura óptima es la que minimiza el costo social definido según la expresión:

$$VRC = C_O + C_U = \sum_{l \in L} B_l(c_0 + c_1 K_l) + Y(p_v \bar{t}_v + p_w \bar{t}_w) + p_R R$$

Donde  $L$  corresponde al conjunto de líneas,  $B_l$  representa la flota total de la línea  $l$ ,  $K_l$  la capacidad de sus vehículos,  $\bar{t}_v$  y  $\bar{t}_w$  es el tiempo promedio en vehículo y el tiempo de espera respectivamente,  $R$  el número total de transferencias en el sistema, y  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $p_v$ ,  $p_w$  y  $p_R$  son valores constantes que representan los diferentes costos unitarios.

Fielbaum et al. (2016) encuentran las estructuras de servicio óptimas obtenidas en base a una combinación de los parámetros  $(\alpha, \beta, \gamma)$  e  $Y$  (cantidad de viajes realizados), con y sin considerar penalización por transferencias. Donde los valores asignados a los valores constantes son basados en datos de Santiago.

Como resultado de la optimización se obtiene que, al no considerar costo por transbordo, las mejores estructuras son las basadas en transbordo, como los son el sistema hub & spoke y el troncal alimentador. En el caso de considerar la penalidad por transbordo equivalente a 24 veces un minuto de viaje a borde de un vehículo, las estructuras convenientes son las directas y exclusivas, exceptuando el caso en que la demanda de viajes es pequeña y pueden ser mejores las otras dos estructuras, dependiendo de los parámetros de distribución de viajes. Los resultados para una relación dada de  $\beta$  y  $\gamma$  en el espacio  $(\alpha, Y)$  se ven en la Figura 2.6.



**Figura 2.6: Estructuras óptimas en el espacio  $(\alpha, Y)$  para diferentes grados de dominio relativo entre subcentros propios y ajenos. considerando una penalidad promedio por transbordo. Fuente: Fielbaum et al. (2016)**

## **2.4 Síntesis**

A partir de la revisión de la literatura se evidencia que los trabajos relacionados a estructura urbana consideran en su mayoría a la distribución de empleo y sus derivados como principal variable de estudio, concluyendo en general en que la influencia total relativa del CBD se pierde a medida que la ciudad crece. Esta evolución puede ser hacia estructuras policéntricas, como también hacia ciudades dispersas. Además, se destaca la relación existente entre el tamaño de la población con la estructura urbana, siendo las ciudades de menor población más monocéntricas y las más pobladas más policéntricas. También se encuentra que la influencia geográfica impacta en la distribución de viajes en la ciudad, siendo las ciudades más montañosas o con mayores diferencias topográficas las más policéntricas. Por último, se introdujeron los modelos básicos de estructura urbana y los modelos de transporte utilizados para obtener las mejores estructuras de líneas en una ciudad, concluyendo que el modelo de Fielbaum et al. (2017) es el más adecuado para realizar el objetivo principal de esta memoria.



### **3 Descripción de ciudades y fuentes de información**

La Real Academia Española define el concepto de ciudad como un “conjunto de edificios y calles, regidos por un ayuntamiento, cuya población densa y numerosa se dedica por lo común a actividades no agrícolas”. Terán (1964) define a la ciudad como una agrupación más o menos grande de hombres sobre un espacio relativamente pequeño, que ocupan densamente, que utilizan y organizan para habitar y hacer su vida, de acuerdo con su estructura social y su actividad económica y cultural.

En esta memoria se han escogido diferentes ciudades de América como objetivo de estudio. Las ciudades escogidas presentan características variadas de población, superficie, actividad económica y geografía entre otras.

Además, para caracterizar la movilidad de las ciudades se utiliza la información de Encuestas de Origen-Destino (EOD). Estas encuestas son una fuente de información sobre la movilidad que se registra en las ciudades. En ellas se recopila información del volumen y dirección de los flujos diarios de población y también incorporan información del modo de transporte utilizado, motivos de viaje, horarios e incluso características socioeconómicas de los habitantes de la ciudad. Por lo tanto, a partir de estas encuestas es posible formular una imagen detallada de los patrones de viajes realizados por la población.

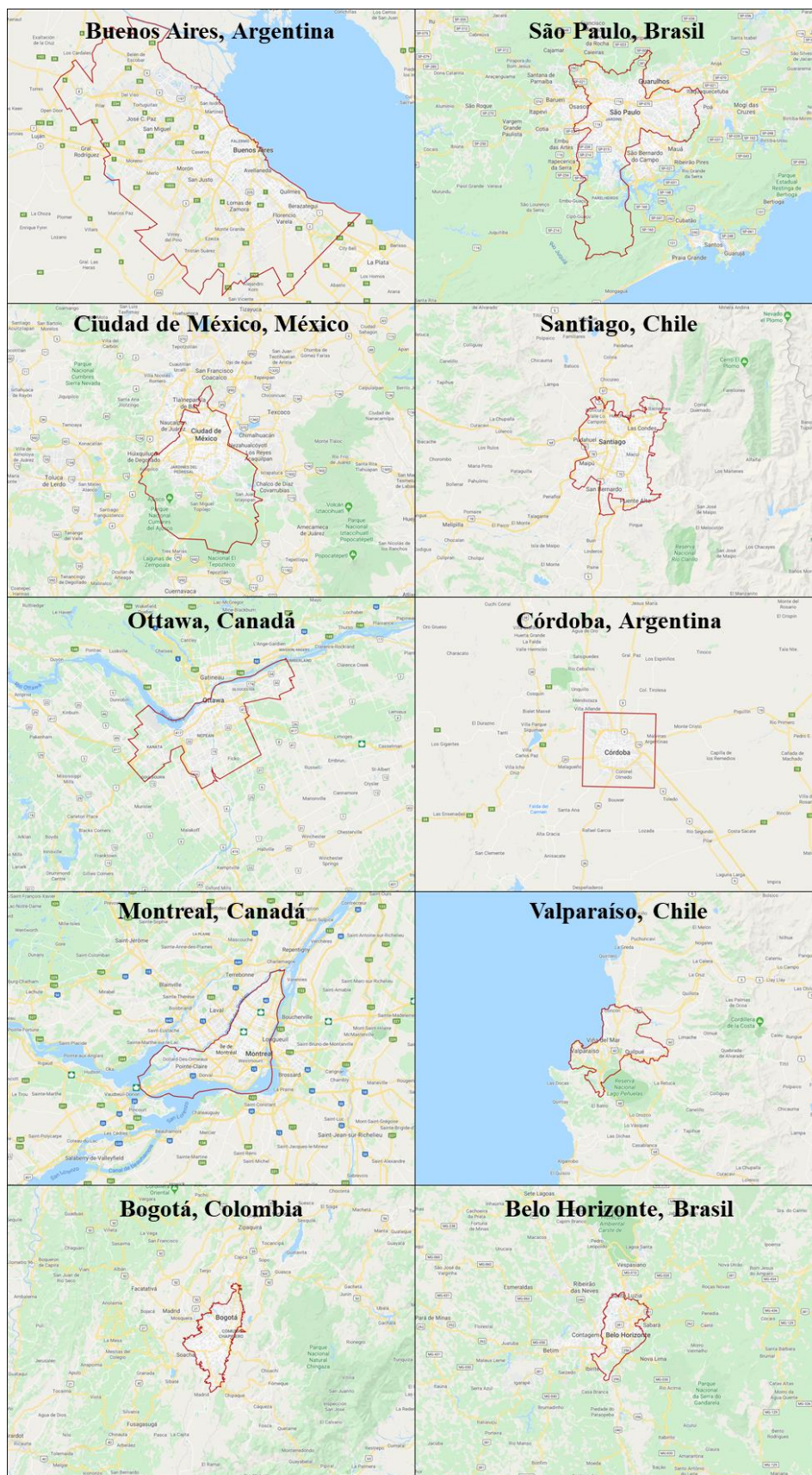
Estas encuestas son la base de la planificación en transporte y son utilizados como fuentes de información para modelos de transporte. En este trabajo se utilizarán los datos para caracterizar la estructura urbana de las ciudades y estudiar su relación con el volumen de viajes registrados en la ciudad.

A continuación, se presenta una descripción de las características de las ciudades utilizadas, de sus encuestas origen destino y de la zonificación empleada para describir la estructura urbana de cada una de las ciudades.

#### **3.1 Ciudades utilizadas, características principales y descripción de las fuentes de información**

En la Figura 3.1 se muestra la ubicación de las ciudades utilizadas en este estudio en el continente americano. Se utilizaron tres ciudades de América del Norte y siete ciudades de América del Sur, de las cuales cuatro son capitales. En la Figura 3.2 se presentan las ciudades a una misma escala, definiendo los límites considerados en este estudio. Esta figura permite apreciar las considerables diferencias de tamaño entre las ciudades seleccionadas, siendo el Gran Buenos Aires la más grande y Belo Horizonte la más pequeña.





**Figura 3.2: Límites de ciudades estudiadas, comparativa de tamaños.**

### 3.1.1 Santiago

#### a) Descripción general

Santiago es la capital de Chile y cuenta con la mayor actividad económica, administrativa, cultural, comercial, industrial y política del país. Posee una superficie de 837.89 km<sup>2</sup>. Está ubicada en la llamada “cuenca de Santiago”, parte de la depresión intermedia, y es atravesada por el río Maipo. Está delimitada por el cordón de Chacabuco en el norte, con la angostura de Paine por el sur y con la Cordillera de los Andes al este.

Según el censo realizado en el 2017, la ciudad posee una población de 6.257.516 habitantes, correspondiente a un tercio de la población del país. La mayor cantidad de habitantes se encuentran en las comunas de Puente Alto, Maipú y Santiago. El PIB per cápita es de 23.929 dólares. En temas socioeconómicos, existe una gran diferencia en ingresos entre comunas, siendo el sector Oriente donde se encuentran los hogares con mayor ingreso y el sector Sur-Poniente el que presenta los menores ingresos.

La ciudad cuenta con un Sistema de Transporte Público que integra los buses de transporte público urbano llamado Red (anterior Transantiago), al Metro de Santiago y al sistema MetroTren Nos, que abarcan 34 comunas. El sistema se complementa con taxis colectivos y taxis básicos y además buses rurales que unen las zonas periféricas con la ciudad. Además, la ciudad cuenta con buses regionales y vuelos nacionales que la conectan con otras ciudades del país.

#### b) Encuesta Origen Destino

En el estudio de Santiago se consideran dos encuestas origen destino (2001 y 2012). La primera encargada a la Pontificia Universidad Católica de Chile, a través de su Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUC) por el Ministerio de Planificación y Cooperación (MIDEPLAN), asesorado por la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte (SECTRA). Mientras que la encuesta del año 2012 fue encargada a la Universidad Alberto Hurtado, a través de su Observatorio Social (OSUAH), por solicitud del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través de la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA).

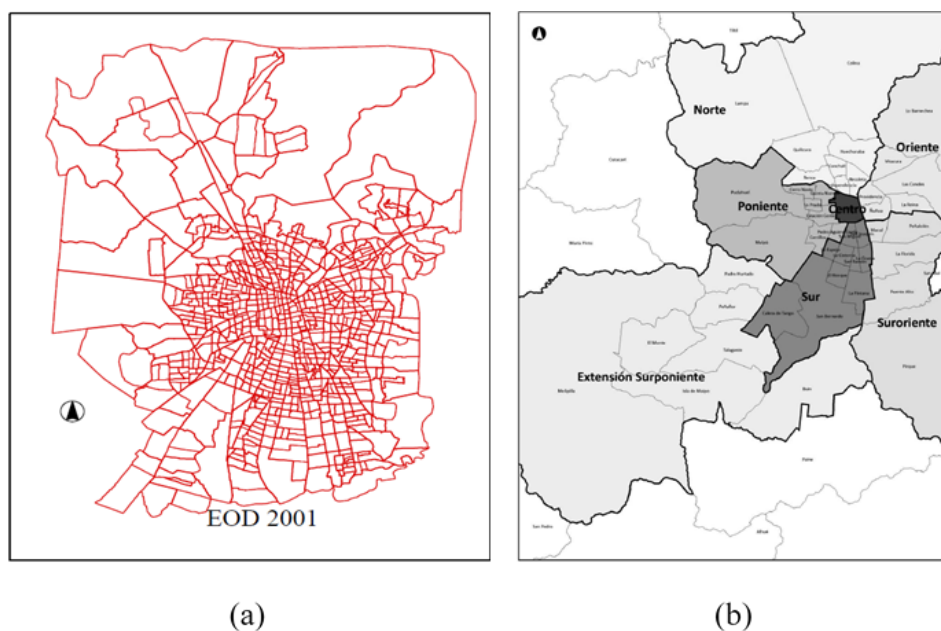
Ambas encuestas consideraron el procesamiento y análisis de resultados de:

- Encuesta a hogares
- Encuesta de interceptación en cordón externo
- Medición de niveles de servicio

Además, como complemento a la encuesta del año 2012 se desarrolló el estudio "Mediciones de Aforos de Tráfico y Perfiles de Carga en Servicios Troncales en el Gran Santiago", que tuvo por fin recopilar información complementaria del sistema de transporte urbano.

El área de estudio de la EOD 2001 es la presentada en la Figura 3.3 (a). La zonificación que utiliza esta encuesta es la basada en zonales censales, y es la misma zonificación que se utiliza en la EOD 2012, al menos dentro de los límites de la ciudad de Santiago; que es el territorio de importancia con motivo del presente trabajo. El área total de estudio de la EOD 2012 considera un mayor territorio y se presenta en la Figura 3.3 (b).





**Figura 3.3: Sectores del área de estudio (a) 2001, (b) 2012. Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, DICTUC (2003), Observatorio Social Universidad Alberto Hurtado (2014).**

### 3.1.2 Ciudad de México

#### a) Descripción general

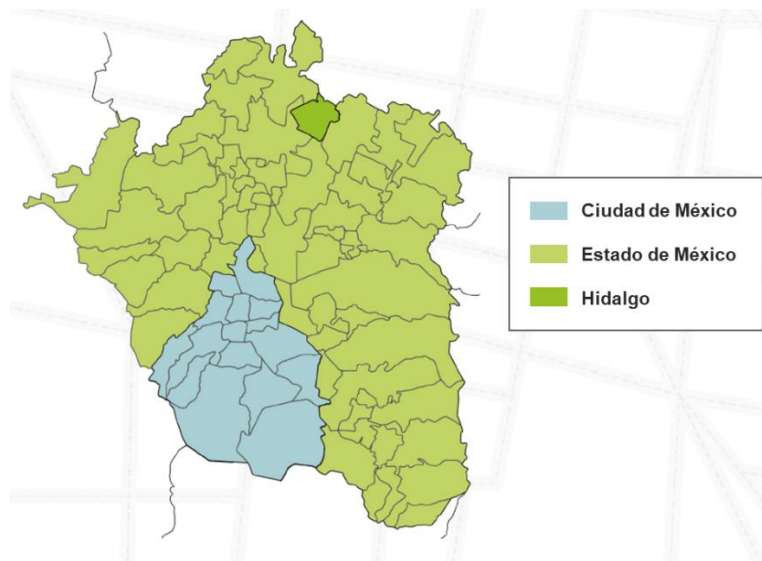
Ciudad de México es la capital de México y es el principal núcleo urbano, social, político, académico, económico, turístico, artístico, empresarial y cultural de la nación mexicana. Su PIB per cápita es de 19.239 dólares. Posee una superficie de 1.495 km<sup>2</sup>. Está localizada en la zona central del país, en la parte sur del Valle de México y en un altiplano rodeado de montañas volcánicas, antiguamente ocupado por el lago Texcoco.

La ciudad posee una población de 8.918.653 habitantes, siendo una de las entidades federales con mayor número de habitantes del país. Esto es producto del gran flujo de migrantes nacionales que existió por muchos años en esta ciudad.

El sistema de transporte público está integrado por una amplia red de metro, un sistema de autobuses urbanos que posee un importante número de empresas que cubren el servicio, dentro de las más importante se puede mencionar La Red de Transporte de Pasajeros (RTP), que es un organismo público gestionado por el Gobierno de la Ciudad de México. El Grupo Metropolitano de Transporte (GMT) que es una empresa privada. Además, la ciudad cuenta con taxis y un sistema de transportes eléctricos como Trolebús y el Tren Ligero.

#### b) Encuesta Origen Destino

La encuesta origen destino de viajes utilizada fue realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI) de México, junto con expertos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La información se obtuvo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), donde se consideró la Ciudad de México, el Estado de México e Hidalgo (Ver Figura 3.4). Para fines de este trabajo, solo se consideraron los datos correspondientes a la Ciudad de México, donde se consideraron 86 distritos en las 16 delegaciones, las zonificaciones consideradas para este trabajo corresponden a los 86 distritos (Ver Figura 3.5).



**Figura 3.4: Área de estudio para EOD de la ZMVM. Fuente: INEGI (2017)**

La población objetivo fue personas de 6 años o más y residentes habituales de las viviendas particulares de la ZMVM. Se realizó entre el 23 de enero y el 3 de marzo del 2017 y se consideraron dos días de la semana, uno entre semana (martes, miércoles o jueves) y el sábado. La información fue obtenida por medio de cuestionarios, cuya información se obtuvo mediante entrevista directa y las tarjetas de viajes.

Por medio de los cuestionarios se obtuvo información de las características sociodemográficas de los integrantes de cada uno de los hogares y se les entregó una tarjeta de viajes que debían llevar consigo durante los viajes realizados para ingresar la información correspondiente. En una segunda entrevista, se recopiló información de los viajes con apoyo de las tarjetas de viajes entregadas.



**Figura 3.5: Zonificación empleada en este estudio para Ciudad de México.**

### 3.1.3 Gran Buenos Aires

#### a) Descripción general

El Gran Buenos Aires (GBA) es la denominación que recibe la megaciudad argentina que comprende la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (capital de Argentina) y su conurbación sobre la provincia de Buenos Aires. Es una de las metrópolis de mayor importancia en América. Su PIB per cápita es de 23.606 dólares. El Gran Buenos Aires (GBA) comprende una superficie de 3.833 km<sup>2</sup> integrados por la ciudad autónoma de Buenos Aires más 24 partidos que la rodean. Posee como frontera natural al río de La Plata al este de la ciudad.

En el año 2010 la población del Gran Buenos Aires ascendía a 12.806.866 habitantes, de los cuales 2.890.151 habitan en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 9.916.715 en los 24 partidos, según el censo realizado el 2010. Posee una baja tasa de natalidad y de fecundidad, debido a que se presenta la población más envejecida del país.

El transporte de la ciudad es extenso y complejo. Cuenta con una red de subterráneos (Subte), la cual está conectada con las principales avenidas y estaciones de trenes y ómnibus. Junto con ello, cuenta con taxis, combis y bicicletas gratuitas. El Puerto de Buenos Aires posee puntos de conexión que recibe cruceros, aliscafos y ferries. Además, cuenta con tres aeropuertos comerciales, cinco militares y dos privados.

#### b) Encuesta Origen Destino

Para el estudio de la ciudad de Buenos Aires se utilizó la Encuesta de Movilidad Domiciliaria (ENMODO) realizada por la Secretaría de Transporte de la Nación de Argentina. El área definida para la encuesta fue parte de la Región Metropolitana de Buenos Aires, abarcando el territorio de la Ciudad de Buenos Aires y de la Provincia de Buenos Aires (ver Figura 3.6).



**Figura 3.6: Área de Estudio para ENMODO de la RMBA. Fuente: Secretaría de Transporte de Argentina (2010).**

La encuesta tenía como objetivo caracterizar, cualitativa y cuantitativamente, los patrones de movilidad de la población, enfocándose en recolectar información sobre la demanda de viajes a nivel de cada zona, en función del nivel socioeconómico, modo de transporte, periodo y motivos de viajes, junto con la demografía y rutinas de viajes.

Los datos obtenidos fueron tomados a finales del año 2009 y principio del 2010. La encuesta realizada en cada hogar se dirigió a todos los habitantes que hubieran realizado viajes el día anterior, teniendo que ser este un día hábil normal.

Para este trabajo se trabaja con el área completa de la encuesta y la zonificación utilizada es la presentada en la Figura 3.7. Donde se dividió la ciudad autónoma en distritos electorales y el partido de La Matanza en dos zonas.



**Figura 3.7: Zonificación empleada en este estudio para el Gran Buenos Aires.**

### **3.1.4 São Paulo**

#### **a) Descripción general**

São Paulo es la capital y centro financiera de Brasil, considerada como uno de los grandes centros de cultura, entretenimiento, moda y negocios a nivel mundial. Es una de las ciudades más pobladas del mundo, con una población de 12.106.920 habitantes. Su PIB per cápita es de 20.650 dólares.

Se localiza en el sureste de Brasil y se extiende en un área de 1.522 km<sup>2</sup>. Está rodeada de valles y estribaciones. El terreno más alto constituye las áreas residenciales preferidas; las partes más bajas están en tierras aluviales a lo largo de las orillas de tres ríos: el Tietê, el Pinheiros y el Tamanduateí, y estos están ocupados por residencias de clase trabajadora, fábricas y empresas comerciales.

La red de transporte público de la ciudad es administrada tanto por el estado como por empresas privadas, y cuenta con autobuses, trenes de cercanía y metro. La ciudad cuenta además con cuatro aeropuertos, nacionales e internacionales.

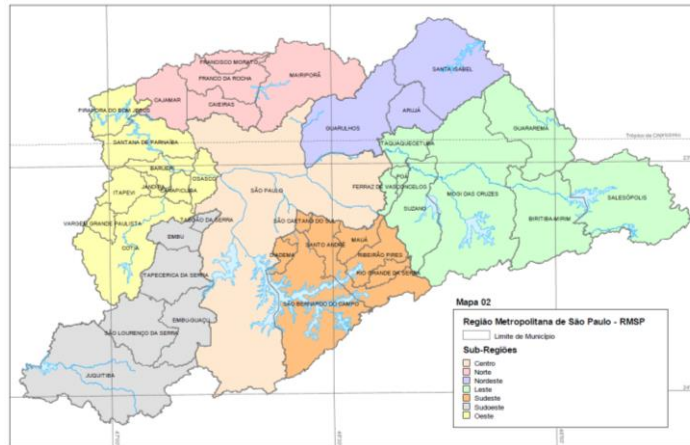
#### **b) Encuesta Origen Destino**

En la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP) se realiza una Encuesta Origen Destino cada 10 años, con el fin de obtener una herramienta efectiva para la planificación de la movilidad, lo cual se ha prolongado por 50 años, siendo en el 2017 la última realizada. Para este estudio se



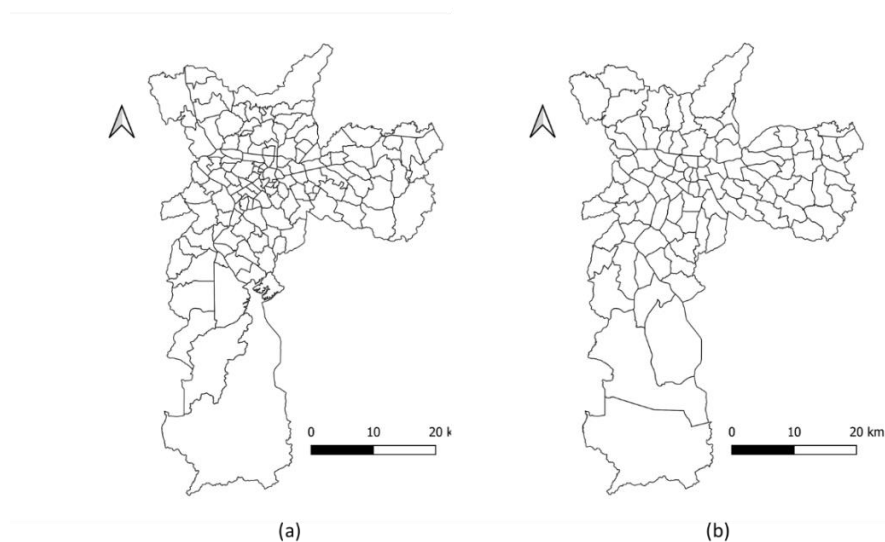
utilizó las Encuestas Origen Destino realizadas por el Metro de São Paulo en los años 1977, 1987, 2007 y 2017.

El área de estudio de las encuestas se observa en la Figura 3.8, que considera 39 municipios de la Región Metropolitana de São Paulo y 96 distritos del municipio de São Paulo. Para fines de este estudio solo se consideraron los datos de este último. Las zonificaciones base consideradas esta ciudad. En la Figura 3.9 (a) se presenta la zonificación para los años 1977 y 1987, mientras que en la Figura 3.9 (b) la zonificación por distritos para los años 2007 y 2017.



**Figura 3.8: Área de estudio para la EOD de la RMSP. Fuente: Metro de São Paulo (2008).**

La investigación realizada por medio de estas encuestas consta de dos partes. Por un lado, estudia los viajes realizados al interior de la región y por otro, los viajes realizados fuera de la zona de estudio. En ambos casos se investiga los desplazamientos diarios que realizan las personas, sus orígenes y destinos, los medios utilizados y el motivo del viaje. Junto con ello, se recolecta información sobre otras variables, principalmente datos socioeconómicos.



**Figura 3.9: Zonificación empleada en este estudio para Sao Paulo (a) 1977-1987 (b) 2007-2017.**

### 3.1.5 Córdoba

#### a) Descripción general

Córdoba es una de las ciudades más grandes de Argentina. Es centro de actividad educativa, cultural y social. Posee una superficie de 576 km<sup>2</sup>, donde se destaca la presencia del río Suquía que atraviesa la ciudad en sentido noroeste a este y el arroyo La Cañada que transcurre de suroeste a norte desemboca en el río Suquía. Según el censo del 2010, posee una población de 1.329.604 habitantes, siendo una de las ciudades más pobladas, superada solo por la ciudad de Buenos Aires.

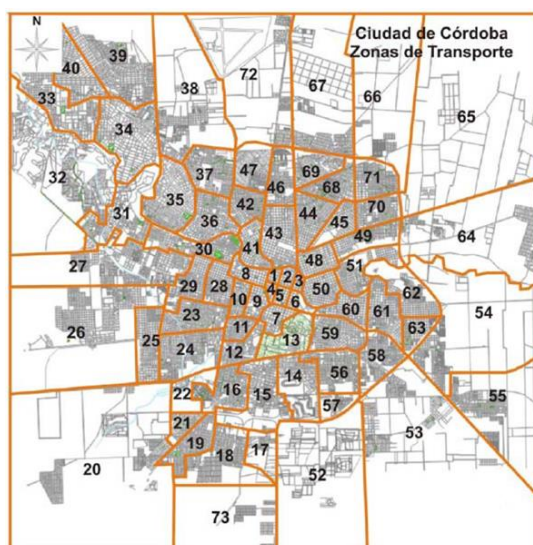
El sistema de transporte es extenso y complejo. Las líneas de autobuses (conocidos como colectivos en la ciudad) es el principal medio de transporte de la ciudad, seguido por los trolebuses, taxis y remises. Este último consiste en un servicio de transporte con conductor que debe requerirse telefónicamente o concurriendo a las bases de las empresas habilitadas. También cuentan con ciclovías que incentivan el uso de bicicletas en la ciudad.

#### b) Encuesta Origen Destino

La Encuesta Origen Destino utilizada en este estudio fue realizada por la Secretaría de Transporte de Argentina. Esta fue realizada en la ciudad de Córdoba, cuya área de estudio se muestra en la Figura 3.10, esta área de estudio y su zonificación es la misma utilizada en el presente trabajo.

Los objetivos de la realización de la encuesta fueron, en primer lugar, recolectar información detallada acerca de los viajes que se realizan en Córdoba y las personas que lo efectúan. En segundo lugar, satisfacer los requerimientos de información para la estimación de modelos de transporte de la región.

El trabajo de campo de esta encuesta se realizó a fines del año 2008 y en los meses junio y julio del 2009. En ella se obtuvo la información sobre viajes y sus principales características (modalidad, horario, motivo, itinerario, duración) realizados en el día anterior a la entrevista.



**Figura 3.10: Área de estudio para EOD de la ciudad de Córdoba. Fuente: Secretaría de Transporte de Argentina (2009).**

### 3.1.6 Belo Horizonte

#### a) Descripción general

Belo Horizonte es una ciudad brasileña y capital del estado de Minas Gerais. Posee una superficie de 330,95 km<sup>2</sup> y se ubica en el sureste de Brasil y en la ladera occidental de la Sierra del Espinhaço. Según el censo del 2010, la población es de 2.513.451 habitantes, convirtiéndola en la sexta ciudad más poblada de Brasil. Su PIB per cápita es de 15.134 dólares.

A pesar de ser un eje económico principal de Brasil, en el territorio existe una gran desigualdad socioeconómica, existiendo gran diferencia de los niveles de índice de desarrollo humano entre los sectores de la ciudad. Los sectores más pobres son las denominadas favelas, que corresponden a un tipo de vecindario de barrios marginales.

El transporte público está conformado con un sistema de buses que atraviesan toda la ciudad y un sistema de metro integrado. Ambos se encuentran actualmente en expansión debido a la gran necesidad por la gran población que posee la ciudad.

#### b) Encuesta Origen Destino

Para este estudio se utilizó la encuesta Origen y Destino realizada por la Agencia de Desarrollo de la Región Metropolitana de Belo Horizonte, y se aplicó en los 34 municipios de la Región Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) (ver Figura 3.11).

El Objetivo principal de esta encuesta fue identificar las necesidades de movilidad de la población en la metrópoli y combinar estas necesidades con las características de esta población.

La entrevista se llevó a cabo en un periodo de dieciocho semanas consecutivas, entre martes y sábado, exceptuando feriados, entre los meses de agosto y noviembre del 2012, donde se consultó por los viajes del día anterior, teniendo una muestra de solo días hábiles típicos.

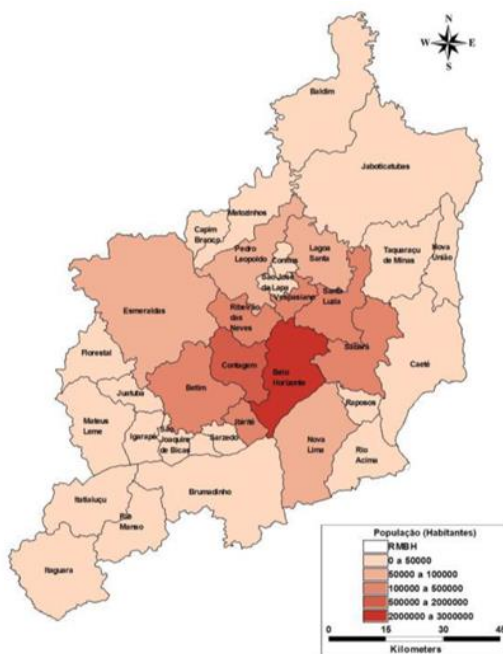
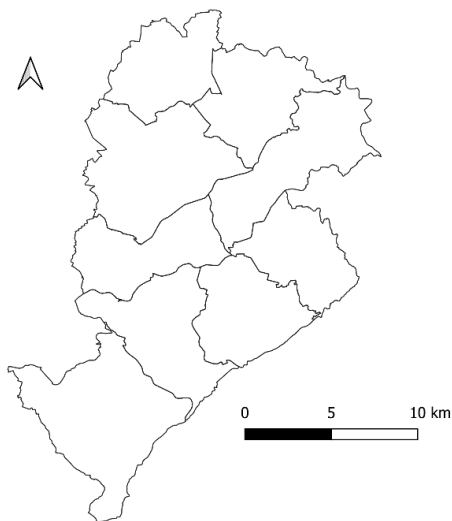


Figura 3.11: Área de estudio para EOD de RMBH. Fuente: Agência de Desenvolvimento da região metropolitana de Belo Horizonte. (2013).

En este trabajo se considera la ciudad de Belo Horizonte con la zonificación presentada en la Figura 3.12, donde cada zonificación corresponde a las nueve administraciones regionales (Barreiro, Centro-Sur, Este, Nordeste, Noroeste, Norte, Oeste, Pampulha y Venda Nova).



**Figura 3.12: Zonificación empleada en este estudio para Belo Horizonte.**

### **3.1.7 Bogotá**

#### **a) Descripción general**

Bogotá es la capital de Colombia, se ubica sobre el altiplano cundiboyacense en la Cordillera Oriental de los Andes, a una altitud promedio de 2630 msnm. Tiene un área total de 1776 km<sup>2</sup> y un área urbana de 307 km<sup>2</sup>. Según el censo de 2018, posee una población de 7.412.566 habitantes. Su PIB per cápita es de 17.497 dólares. Se destaca la presencia del río Bogotá el cual atraviesa la ciudad capital.

Está delimitada por un sistema montañoso en el que se destacan los cerros de Monserrate (3152 msnm) y Guadalupe (3250 msnm) al oriente de la ciudad. Se encuentra comunicada con el cerro de Monserrate a través de los servicios de transporte de teleférico y funicular.

La mayoría de los viajes se llevan a cabo en transporte público colectivo (autobuses), que se complementa con el Sistema metropolitano de transporte masivo Transmilenio, el cual es, un sistema de autobuses articulados de alta capacidad que imita el funcionamiento del metro, pero a nivel de superficie a partir de corredores. Además, existen taxis y un sistema de ciclovías que es uno de los más extensos de América con 532 km de longitud. En transporte privado, el automóvil y la motocicleta componen una importante fracción dentro de la partición modal.

#### **b) Encuesta Origen Destino**

En este trabajo se analizaron las Encuestas de movilidad de los años 2005, 2011, 2015 y 2019 del área urbana de Bogotá y municipios vecinos (18 para el 2019 y 17 para anteriores), el área de estudio para la encuesta más actual se presenta en la Figura 3.13.



**Figura 3.13: Área de estudio para EODH de Bogotá. Fuente: Unión Temporal Steer - CNC (2019).**

Estas encuestas se realizaron con el objeto de caracterizar la movilidad urbana de la población con 5 o más años y con residencia en el área urbana de la ciudad de Bogotá o de los municipios vecinos de su área de influencia. La encuesta de movilidad comprende la Encuesta Origen – Destino de Hogares (EODH) y la Encuesta Origen – Destino de Interceptación (EODI) para Bogotá y los municipios vecinos de su área de influencia.

En el presente trabajo se considera el área urbana de Bogotá y su zonificación en UTAMs, estas zonificaciones se presentan en la Figura 3.14.



**Figura 3.14: Zonificación empleada en este estudio para Bogotá.**

### 3.1.8 Ottawa

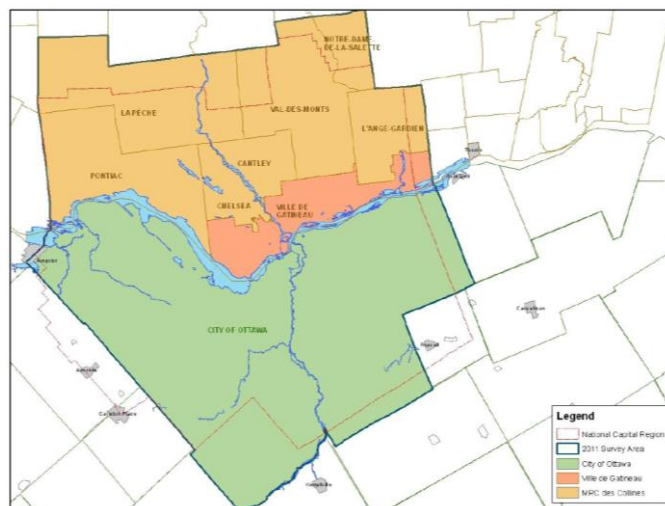
#### a) Descripción general

Ottawa es la capital de Canadá. Su superficie es de 2.778,64 km<sup>2</sup> y se encuentra en la orilla sur del río Ottawa. Posee una población de 1.083.391 habitantes, según el censo del 2011, siendo la cuarta ciudad más poblada del país. Su PIB per cápita es de 44.149 dólares.

El transporte público es un sistema completamente integrado de autobuses y un sistema de tren ligero. Además, cuenta con un extenso servicio de trenes, tanto de pasajeros como para carga. Por otro lado, la ciudad cuenta un aeropuerto internacional, que es el principal centro neurálgico de las aerolíneas del país, y dos aeropuertos regionales.

#### b) Encuesta Origen Destino

Para este estudio se consideraron las Encuestas Origen Destino de los años 2005 y 2011 realizadas por el TRANS Committee. El área de estudio considera gran parte de la Región de la Capital Nacional de Canadá, donde se incluye la ciudad de Ottawa (ver Figura 3.15). Tanto para la encuesta del año 2005 como la del año 2011 consideraron la misma área. Para fines de este estudio, solo se consideró la información obtenida de la ciudad de Ottawa.



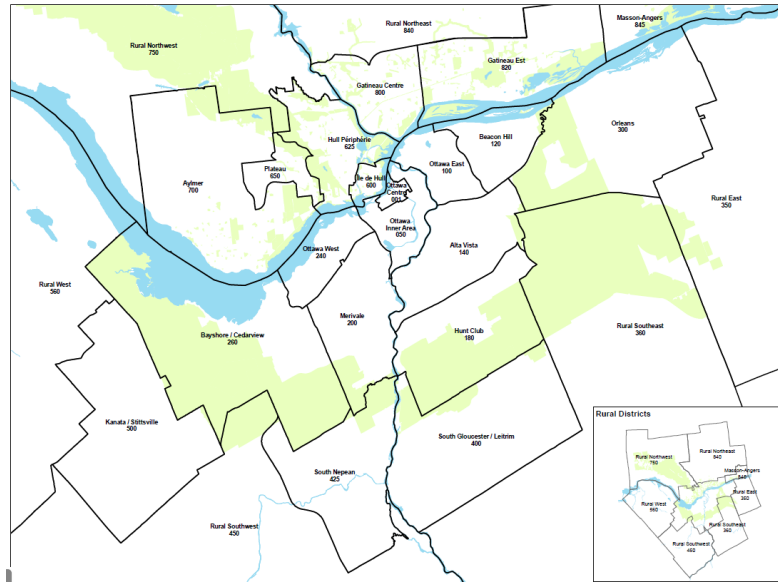
**Figura 3.15: Área de estudio para EOD de la región de la capital nacional de Canadá. Fuente: TRANS Committee (2013).**

Esta encuesta tuvo como principal propósito proporcionar información para el desarrollo, pronóstico y planificación del modelo de demanda de viajes para las necesidades y servicios de infraestructura de transporte en toda el área, y monitorear el progreso de la implementación de políticas de transporte.

La EOD realizada en el 2005 se realizó en un periodo de diez semanas en otoño del 2005, a través de entrevistas telefónicas asistidas por computadora. En el año 2011 se utilizó el mismo método de encuesta, aplicándose desde el 20 de septiembre del 2011 y el 10 de diciembre del 2011. La entrevista se realizó en cada integrante del hogar seleccionado con 5 años o más y se consideraron días hábiles laborales.

En este trabajo se considera la ciudad de Ottawa con la zonificación presentada en la Figura 3.16 (Sector bajo el río Ottawa). Con motivos de este trabajo no se consideran las zonas consideradas rurales ya que presentan una generación y atracción de viajes muy pequeña respecto al resto de la ciudad.





**Figura 3.16: Zonificación empleada en este estudio para Ottawa.**

### 3.1.9 Montreal

#### a) Descripción general

Montreal es una ciudad canadiense. Cubre gran parte de la isla de Montreal, extendiéndose en una superficie de 365,13 km<sup>2</sup>. Al sur limita con el río Saint Lawrence y al norte con el Rivière des Prairies.

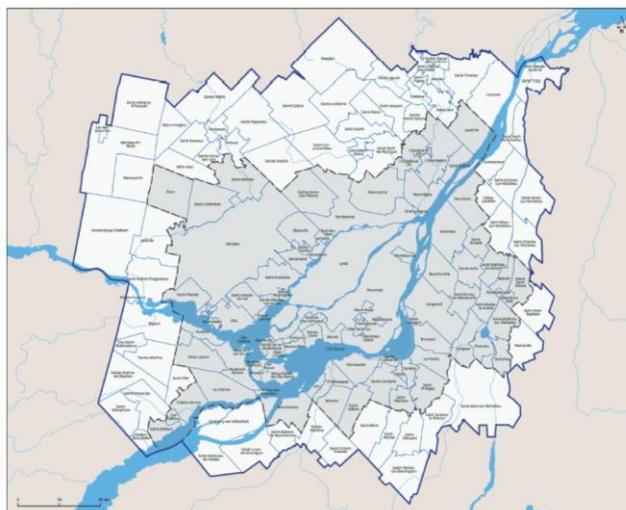
Es la segunda ciudad más poblada del país, con una población de 1.704.694 de habitantes. Su PIB per cápita es de 38.867 dólares. Está conformado por 19 distritos, donde algunos de ellos, antes de pertenecer a la ciudad de Montreal, tenían administración independiente. Si bien en un principio se intentó unir todas las ciudades de la isla en una sola, años después de la unificación algunos territorios volvieron a ser independientes. En este estudio como motivo de la fuerte interacción entre los distintos distritos de la isla de Montreal se decide incorporar la isla completa de Montreal como área considerada.

El transporte público está conformado por una red de autobuses, metro y trenes de cercanías, las cuales se extienden dentro de la isla y fuera de ella. Montreal cuenta con dos aeropuertos internacionales, uno para pasajeros y otro para carga.

#### b) Encuesta Origen Destino

Para Montreal se utilizaron las Encuestas Origen Destino de los años 1998, 2008 y 2013. Estas fueron aplicadas al área Metropolitana de Montreal y sus alrededores (ver Figura 3.17). Las encuestas se realizaron de forma telefónica y se centraron en la obtención de las características de los viajes que realiza la gente durante los días laborables.

Para este estudio se utilizó los datos correspondientes a los sectores de la Isla de Montreal, cuya zonificación se presenta en la Figura 3.18.



**Figura 3.17: Área de estudio para EOD del área Metropolitana de Montreal y alrededores. Fuente: Autoridad Regional de Transporte Metropolitano de Quebec (2013).**



**Figura 3.18: Zonificación empleada en este estudio para Montreal.**

### **3.1.10 Gran Valparaíso**

#### **a) Descripción general**

El Gran Valparaíso es un área urbana ubicada en la Región de Valparaíso, Chile. Está conformado por las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Concón que forman el principal asentamiento urbano de la región. Posee una superficie de 1.230 km<sup>2</sup> y una población de 951.150 habitantes, según el Instituto Nacional de Estadísticas. Su núcleo es la comuna de Valparaíso que es el centro histórico, administrativo y universitario de la conurbación, se encuentra en una bahía abierta del océano Pacífico y está rodeada de cerros de la cordillera de la costa, la mayor parte de la población se encuentra en los cerros de la ciudad. El barrio comercial de Valparaíso, con sus obras portuarias, almacenes, bancos y centro comercial, se encuentra en los terrenos adyacentes a la bahía, al igual que los edificios administrativos. Otra comuna importante la Conurbación es Viña del Mar, vecina a Valparaíso y ubicada sobre las cuencas de los esteros Reñaca y Marga Marga, presenta una planicie costera donde se genera la mayor actividad económica de la comuna que continua con territorios a mayor altura que culmina con los cerros de la cordillera de la Costa hacia el este. Dada su geografía y carácter residencial, posee un atractivo turístico importante.



Debido a lo anterior el Gran Valparaíso posee una importante actividad portuaria y turística condición que sumada a su cercanía a la ciudad de Santiago la convierte en un importante centro de negocios.

El transporte público cuenta con los buses del Transporte Metropolitano de Valparaíso, conocido también como TransValparaíso y el sistema de Metro de Valparaíso, cuyos recorridos conectan a las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y la ciudad satélite de Limache. Además, cuenta con taxis colectivos urbanos. Por otro lado, cuenta con ascensores funiculares y trolebuses que, junto con ser medios de transporte colectivo, son referentes turísticos. Por otro lado, el puerto de Valparaíso es uno de los que posee mayor actividad en Sudamérica, siendo puerto de escala para varias líneas navieras internacionales y el segundo con mayor flujo de contenedores del país.

#### b) Encuesta Origen Destino

La Encuesta Origen Destino utilizada para este estudio fue realizada por TRASA Ingeniería Limitada, a quién se le adjudicó por medio de una licitación realizada por la Secretaría de Transportes. La investigación se realizó en el denominado Gran Valparaíso que integra las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué y Villa Alemana (ver Figura 3.19). El área de la EOD es la misma que se aplica en el presente trabajo, cuya zonificación se presenta en la Figura 3.20.

La recopilación de datos en terreno se realizó desde el 18 de agosto del 2014 hasta el 30 de mayo del 2015 y recoge la información de viajes de la conurbación, así como también las características Socioeconómicas y Demográficas de la Población. La encuesta finalmente entrega información respecto a:

- Caracterización de la Partición Modal.
- Generación (Atracción) de Viajes.
- Distribución Horaria de los Viajes.
- Tiempos de Viaje.
- Matrices Origen – Destino de Viajes.



Figura 3.19: Área de estudio para EOD del Gran Valparaíso. Fuente: TRASA Ingeniería (2015).



**Figura 3.20: Zonificación empleada en este estudio para el Gran Valparaíso.**

### **3.2 Síntesis**

En esta sección se presentaron características de las ciudades estudiadas, dentro de las cuales al estudiar la población se destaca que existen diferencias significativas, lo cual es requisito para poder observar un volumen de viajes amplio. Además, existen diferencias significativas de superficie y, por lo tanto, de densidad poblacional y densidad de viajes.

Por un lado, las ciudades latinoamericanas presentan características socioeconómicas similares entre ellas, siendo algunas de ellas ciudades capitales con una amplia actividad comercial como lo son Ciudad de México, Bogotá, Santiago y Buenos Aires.

Por su parte, las ciudades canadienses son las que presentan características más singulares dentro de la muestra. Su densidad poblacional es considerablemente más baja y su nivel socioeconómico es considerablemente mayor a las otras ciudades. En el caso de Montreal tiene además la particularidad de estar ubicada en una isla.

Además, es posible destacar que la mayoría de las ciudades de este estudio presentan cadenas montañosas que las rodean y ríos que actúan como límites naturales o separadores de zonas.

Con respecto al transporte público, este se basa en un sistema de buses integrado con una red de metro para la mayoría de las ciudades. Este sistema está complementado por servicios de taxis y taxis colectivos que toman un rol importante en algunas ciudades latinoamericanas.

Por último, en relación con las encuestas, estas son realizadas a los hogares, donde se consultan distintas características de los viajes realizados por los integrantes del hogar y también se complementan con preguntas asociadas a características socioeconómicas. Esta información se complementa por lo general con encuestas de interceptación en puntos estratégicos de la ciudad.

Una característica importante con motivos de este estudio es el tamaño de las zonificaciones base de las encuestas origen destino. Para cada ciudad se presentó la zonificación empleada en este estudio, donde se aprecia que en general las zonificaciones son lo suficientemente desagregadas para realizar agrupaciones entre estas y formular zonas más grandes, salvo para el caso de Belo Horizonte donde las zonas pareciesen no ser lo suficientemente desagregadas.

## 4 Descripción sintética de las ciudades sobre la base de centros

En este trabajo se busca obtener indicadores de niveles de monocentrismo, policentrismo y dispersión de las ciudades, estudiando para ello la distribución de los viajes en el interior de la ciudad. Por esta razón se utiliza el modelo basado en centros descrito por Fielbaum et al. (2016), que fue presentado en la sección 2.3.

La descripción de la ciudad en base al modelo de centros implica dividir la ciudad en CBD, subcentros y periferias. En este capítulo se detalla la metodología aplicada para la definición de cada una de las zonas, y el resultado de aplicar este procedimiento a cada una de las ciudades. Además, se encuentra la distribución de viajes entre cada zona agregada.

### 4.1 Metodología aplicada para la definición de zonas (Modelo basado en centros).

El modelo basado en centros se compone de macrozonas formadas por periferia, subcentro y un distrito central (CBD) que es común a todas las macrozonas. Es decir, se trata de agregar las zonas originales de acuerdo con criterios que aquí se explican. En este trabajo y de acuerdo con las consideraciones del modelo basado en centros se contempla el patrón de viajes registrado en el periodo punta de la mañana. Para efectos prácticos se considera que el CBD y subcentros son los atractores de viajes y la periferia y subcentros son los generadores.

Bajo este enfoque, el distrito central es la zona de la ciudad que presenta mayor atraktividad de viajes, y los subcentros son zonas con una atracción de viajes considerablemente mayor que el resto de su macrozona y que además debe cumplir estar más cercano al CBD que la periferia. Por lo anterior, se considera que la densidad de viajes atraídos, es decir, los viajes atraídos por unidad de área es la variable ideal para la definición de CBD, subcentros y periferias. La densidad de viajes por lo tanto se calcula como la razón entre el promedio de viajes por hora para cada zona y su respectiva superficie.

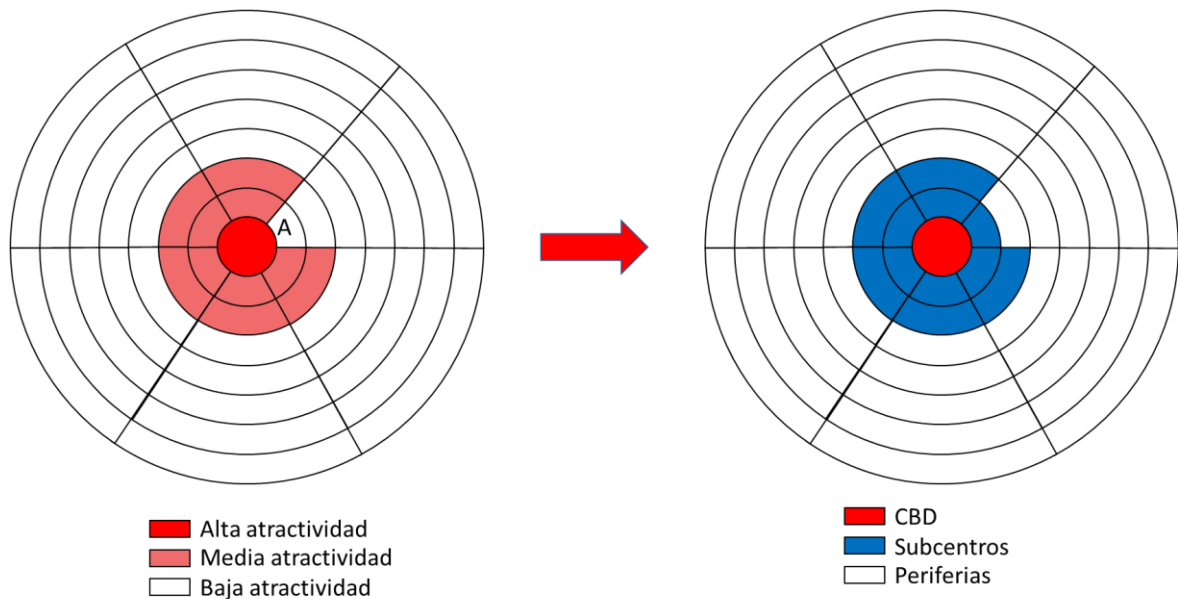
Por lo anterior, el primer paso para la definición de zonas es hallar el periodo punta de la mañana. En el caso de tener disponibles los datos de la encuesta EOD sin filtrar se genera un gráfico de distribución de viajes en función de la hora del día y se encuentran las 2 horas en las cuales se registran más viajes en la mañana. Existen 2 casos en que esta información no estaba disponible y por lo tanto se considera el periodo punta mañana indicado por la fuente de la información (2,5 horas para Ottawa y 4 horas para Montreal). Considerando solo los datos del periodo punta mañana se obtienen los viajes atraídos promedio por hora en el periodo punta mañana para cada zonificación considerada en la EOD.

Luego para cada zonificación EOD de cada ciudad se calcula la densidad de viajes atraídos, y se agrupa en clases de zonas por el método de optimización de Jenks, también llamado método de clasificación de cortes naturales de Jenks, el cual es un proceso de agrupación de datos diseñado con el objetivo de reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre clases. Esta clasificación se realiza por medio del software QGIS y por medio de una librería de Python para las ciudades en que no se dispone del mapa vectorial de zonas en QGIS.

A partir de esta clasificación se puede visualizar el gradiente atractivo de viajes en la ciudad según zonas. De esta manera se define el CBD a partir de la o las clases de mayor densidad de viajes atraídos. El número de clases considerado depende de cada ciudad en la cual se toma en

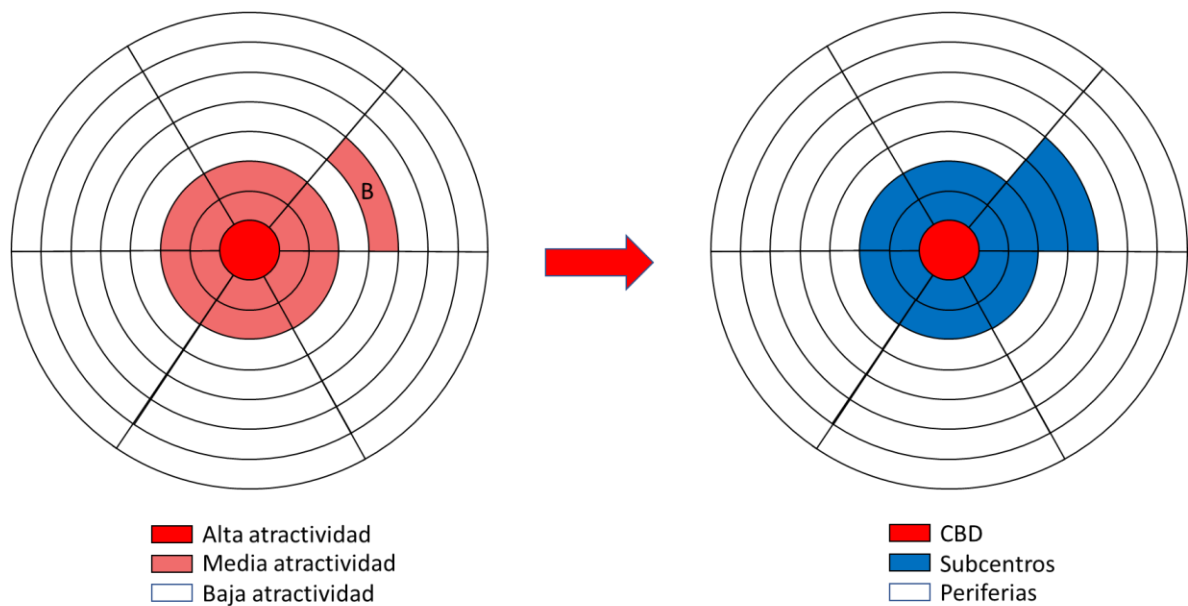
cuenta el valor de corte entre clases, y la diferencia relativa entre la atraktividad de la zona de posible incorporación al CBD y el resto de la ciudad.

Hallado el CBD, se procede a la definición de subcentros que corresponden a zonas con atracción relativa superior a las periferias, y que además son contiguos al CBD. Para la definición de subcentros se encuentran los límites de los subcentros, es decir los territorios entre los bordes del CBD, y donde comienzan las periferias. Se incorporan las zonificaciones base al área de subcentros si cumple con el criterio de adyacencia, el cual implica que las zonas contiguas al CBD serán parte de los subcentros independiente de su atraktividad. Por ejemplo, en la Figura 4.1 la zona A se incorpora a los subcentros pese a ser de baja atraktividad. Además, en dicha figura el criterio de atraktividad implica que se incorporan las zonificaciones base a los subcentros si son altamente atraktivitas. Esto quiere decir que pertenece a la clase que sigue en magnitud al criterio definido para el CBD.

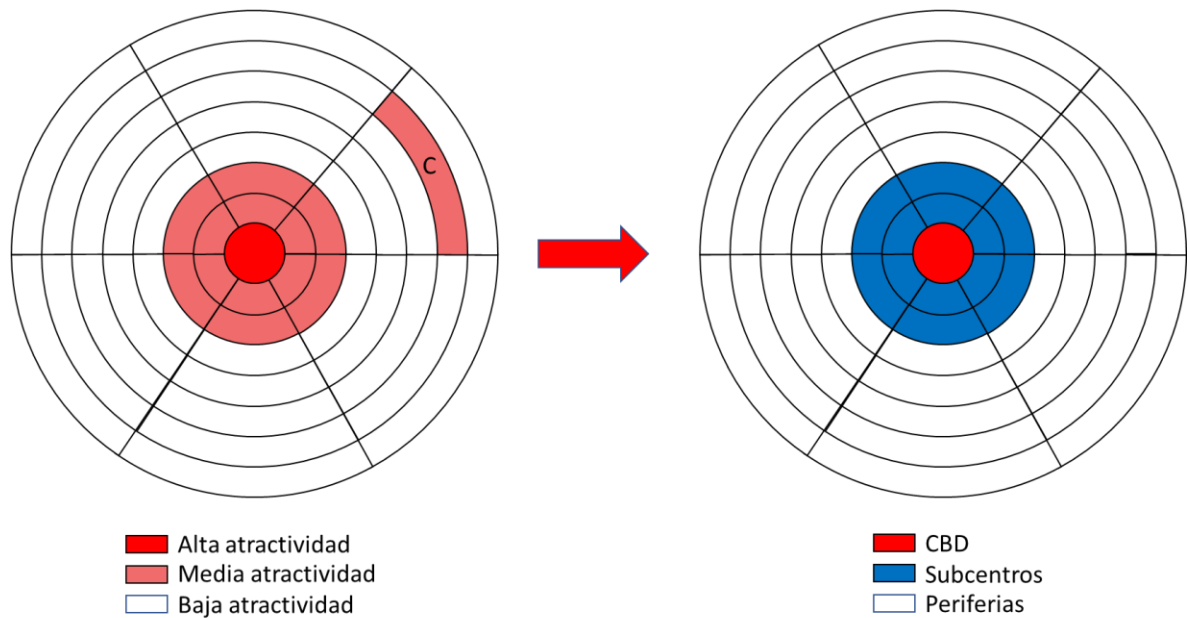


**Figura 4.1: Criterio de adyacencia en la definición de subcentros.**

En el caso en que existan zonas de importante atraktividad, pero distantes por una o más zonas del núcleo atractivo del subcentro, la incorporación de dicha zona a los subcentros se evalúa en base a las implicancias de su incorporación y de su ubicación. Por ejemplo, en la Figura 4.2 la zona B se encuentra separada por solo una zona del resto de la zona de mediana atraktividad y no se ubica próximo a los bordes de la ciudad, por lo tanto, este tipo de zonas se incorporan a los subcentros, ya que su añadidura no genera una disminución considerable de la densidad de viajes atraídos por los subcentros. En cambio, en el caso presentado en la Figura 4.3, la zona C está separada por una amplia distancia del resto de la zona atractiva y se ubica en la proximidad del borde de la ciudad. Por estas razones esta zona no se incorpora a la zona de subcentros.



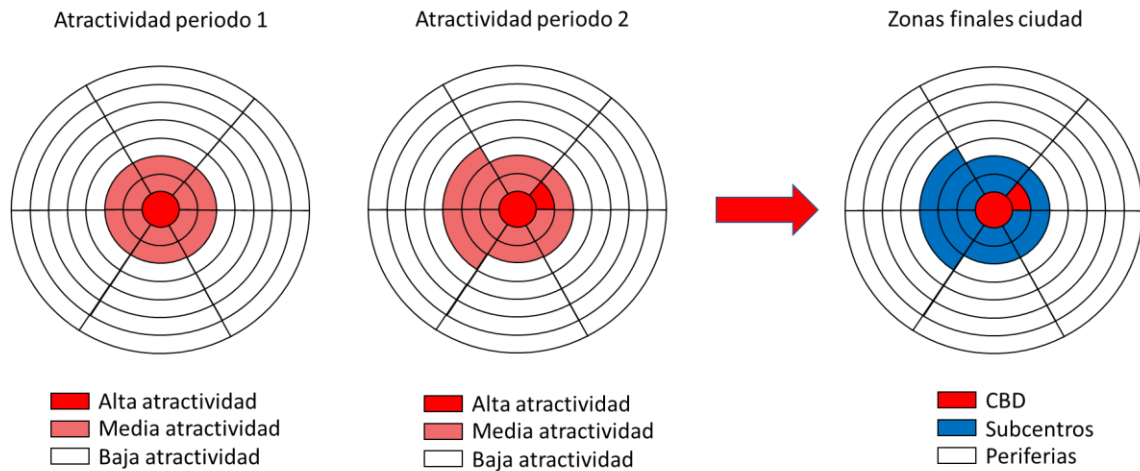
**Figura 4.2: Incorporación de zonas atractivas separadas del núcleo atractivo (Caso positivo).**



**Figura 4.3: Incorporación de zonas atractivas separadas del núcleo atractivo (Caso negativo).**

En el caso de tener ciudades observadas en más de un año con la misma zonificación, se consideran los datos de cada año por separado, y la definición de centros se hace aditiva según la metodología descrita anteriormente. Por ejemplo, si el CBD para la ciudad A en el periodo 1 es el conjunto X y en el periodo 2 es el conjunto Z ambos formados por las zonificaciones EOD de las clases de mayor densidad de viajes atraídos en sus respectivos periodos, el CBD de la ciudad quedará definido por el conjunto XUZ. Para los subcentros se procede de forma análoga al CBD, es decir una zona considerada como subcentro en un horizonte temporal será considerado en todos los periodos. Esto se realiza para que no existan errores de sub o sobre estimación de parámetros descriptivos, y cuantificar de mejor manera la evolución real a partir de una sola estructura de centros. En la Figura 4.4 se presenta el procedimiento descrito. En el caso de observaciones con

distintas zonificaciones EOD para una misma ciudad se tolera una descripción sintética diferente, intentando conseguir que los centros queden lo más similares posibles entre sí.



**Figura 4.4: Definición de centros para ciudades con datos de más de un periodo**

De esta forma se obtienen los bordes de todos los subcentros y también de las periferias, ya que estos últimos corresponden al territorio entre los límites de los subcentros y el borde de la ciudad. A partir de estos límites se procede a definir macrozonas, que están formadas por una periferia y su propio subcentro; esta definición se basa en la consideración conjunta de los siguientes criterios:

- Tamaños comparables entre macrozonas.
- Adyacencia entre subcentro y periferia.
- Consideración de características geográficas que impactan en el acceso entre periferias y subcentros.
- Agrupación de zonas EOD en zonas administrativas de mayor tamaño.

Además de los criterios anteriores, es importante destacar la importancia de la ubicación del CBD y el tamaño de la zonificación EOD, ya que un CBD ubicado en el centro y con zonificaciones pequeñas permite realizar más macrozonas que un CBD ubicado en un borde de la ciudad con zonificaciones de mayor tamaño.

A continuación, se presentan detalles del procesamiento realizado para la obtención de centros para cada ciudad, y el resultado obtenido. Además, se presenta la matriz de viajes obtenida para cada muestra, que será la utilizada para obtener indicadores de niveles de monocentrismo, policentrismo y dispersión.

## 4.2 Zonificación y matrices de viajes para cada ciudad (Modelo basado en centros)

### 4.2.1 Santiago

El periodo punta mañana para Santiago en el año 2001 y 2012 considerando la hora promedio de los viajes es entre las 7:15 y las 9:14 horas (ver Figura 4.5 y Figura 4.6).

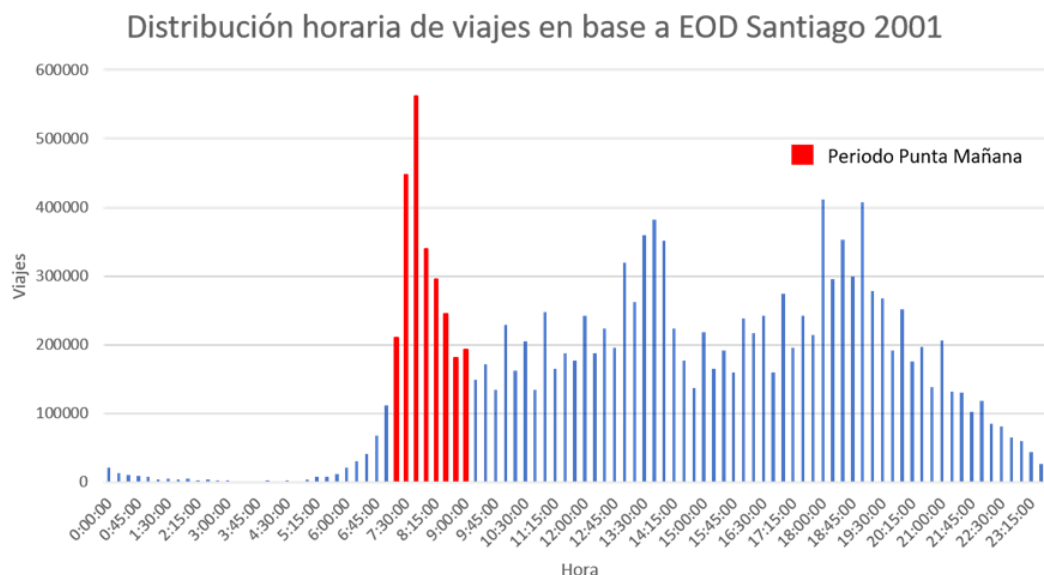


Figura 4.5: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Santiago 2001.

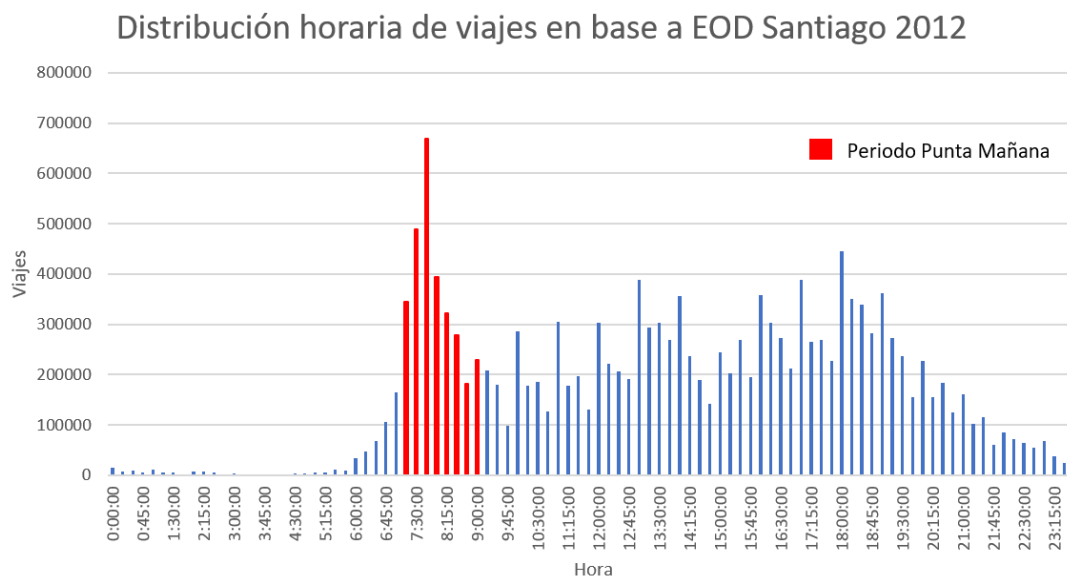
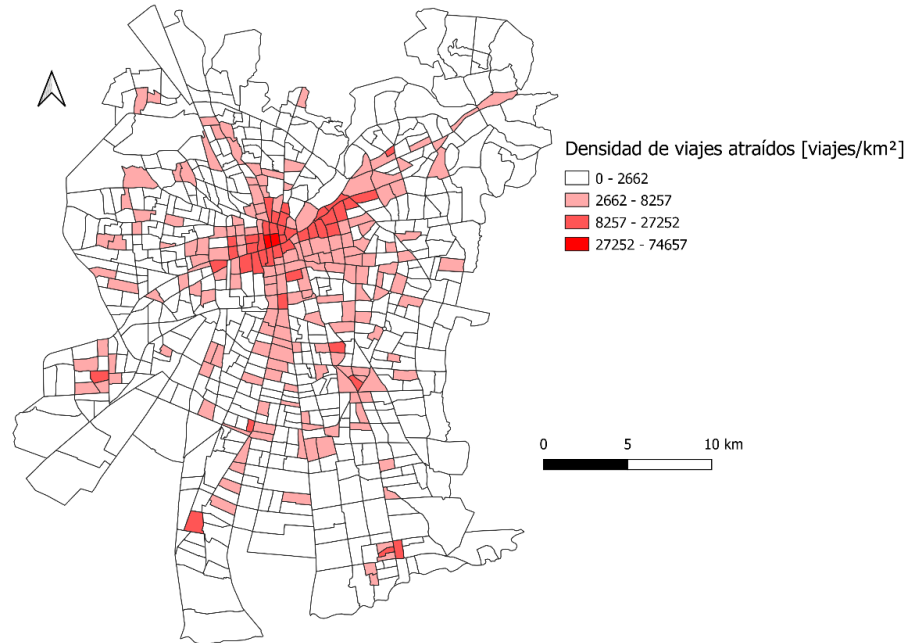


Figura 4.6: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Santiago 2012.

Se calcula la densidad de viajes atraídos por hora en la punta mañana para cada zonificación EOD, obteniéndose las gráficas de atracción de viajes presentados en la Figura 4.7 y Figura 4.8.

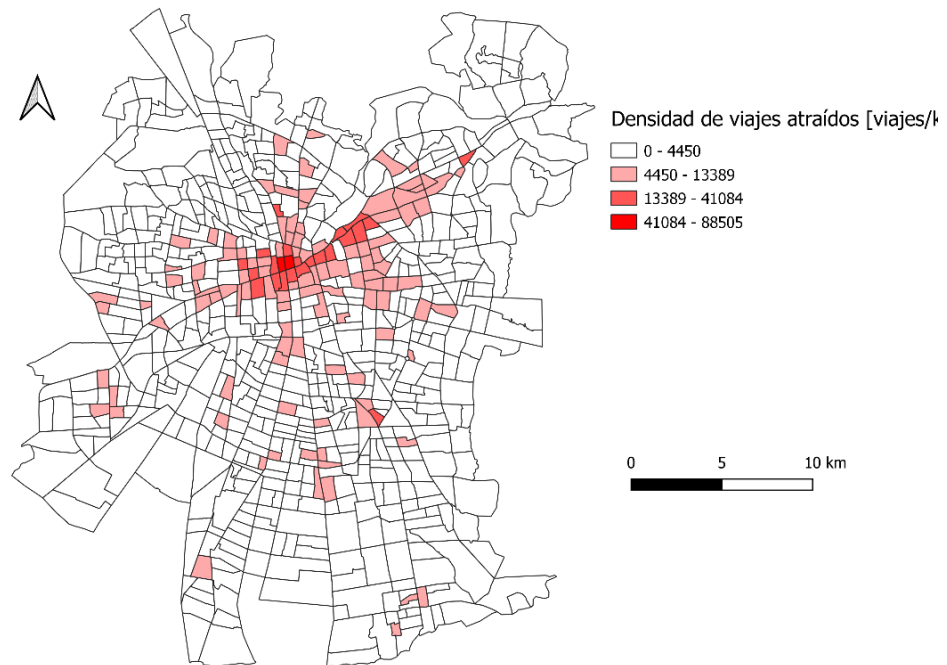


Atracción de viajes por zonificación EOD, Santiago 2001



**Figura 4.7: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD. Santiago 2001.**

Atracción de viajes por zonificación EOD, Santiago 2012



**Figura 4.8: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD. Santiago 2012**

Luego, a partir de la clasificación en clases obtenida por rupturas naturales, se define el CBD por las dos clases de mayor densidad atractiva. Por lo tanto, el CBD obtenido está definido en torno a la Av. Libertador Bernardo O'Higgins y Av. Providencia y por lo tanto está compuesto principalmente por zonas pertenecientes a la comuna de Santiago y Providencia. Además, se

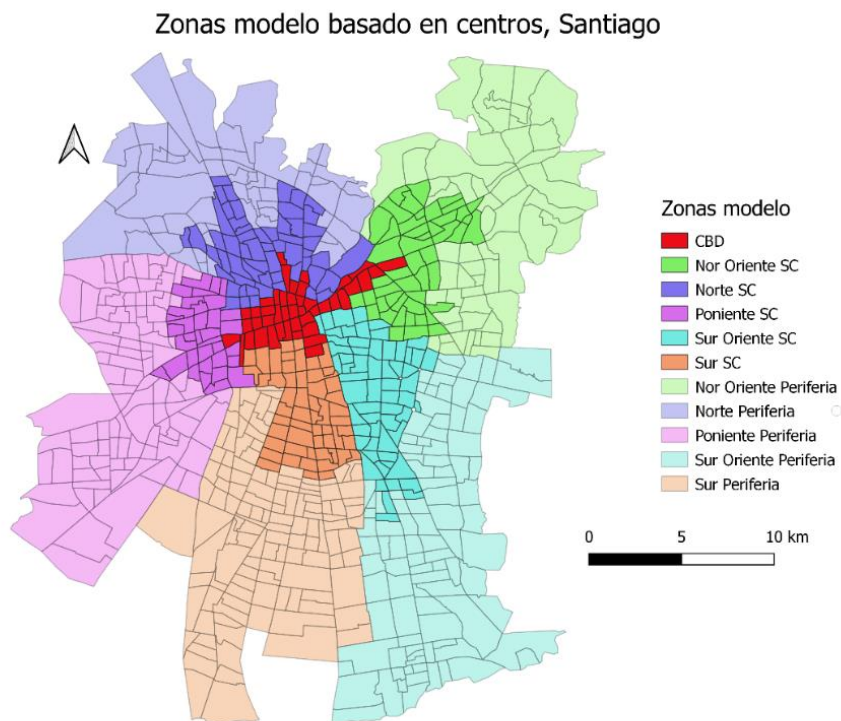


aprecia que ciertas zonas de Recoleta, Estación Central e Independencia se añaden al CBD por motivo de su alta densidad atractiva en el periodo punta mañana. Hay que recordar que como consecuencia de que las divisiones se realizan en base a dos horizontes temporales se considera como CBD las zonas que estén dentro de estas dos clases en cualquiera de los periodos.

Para el caso de los subcentros se decide incorporar las comunas adyacentes al CBD y luego se procede a añadir zonas más externas según su atracción de viajes empezando por las más cercanas a estas comunas adyacentes, una vez agregadas las zonas de importancia atractivas se eliminan las zonas más externas con bajos valores de atracción. De esta forma se obtiene la zona perteneciente a subcentros y periferia.

A continuación, se procede a definir cada una de las macrozonas, en donde se busca obtener que sean de tamaños comparables y que las periferias y subcentros resulten adyacentes. Dada la zonificación desagregada de las zonas base se decidió agrupar en base a comunas obteniéndose cinco macrozonas de tamaños comparables. Es importante destacar la geometría del CBD, que al ser más angosto en la parte oriente permite dividir el oriente en norte y sur, y que por su ubicación central permite construir las macrozonas Norte, Poniente y Sur. Además, el cerro San Cristóbal, es un separador entre macrozonas Norte y Oriente

El resultado final es la zonificación en centros que se presenta en la Figura 4.9. Las matrices de viaje entre cada división realizada se presentan en las Tabla 4.1 para el año 2001 y en la Tabla 4.2 para el año 2012.



**Figura 4.9: Zonas modelo basado en centros, Santiago**

**Tabla 4.1: Matriz OD entre zonas modelo, Santiago 2001.**

Origen/Destino	CBD	Nor-Oriente		Norte		Poniente		Sur-Oriente		Sur		Total	
		Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro		
CBD	34,851	2,556	5,034	1,339	3,072	1,771	1,886	1,076	2,661	602	5,463	60,311	
Nor-Oriente	Periferia	16,144	35,378	17,721	746	984	716	304	872	1,165	547	3,898	78,474
	Subcentro	18,339	8,868	21,321	1,121	2,062	508	188	1,091	1,429	1,164	5,205	61,295
Norte	Periferia	15,924	1,532	3,254	38,099	18,496	1,371	1,764	655	2,141	700	2,655	86,591
	Subcentro	20,412	858	4,243	6,082	29,473	1,454	1,354	517	1,441	311	2,068	68,212
Poniente	Periferia	36,828	3,586	6,583	3,982	7,174	94,515	11,943	5,972	4,801	612	6,259	182,254
	Subcentro	14,265	472	1,058	425	1,515	5,335	16,483	616	2,691	724	1,723	45,307
Sur-Oriente	Periferia	28,108	1,861	5,449	2,445	3,221	4,890	2,173	124,562	26,100	4,601	7,993	211,402
	Subcentro	14,335	1,125	1,429	934	1,624	1,227	652	5,854	30,457	1,863	3,648	63,149
Sur	Periferia	28,249	4,407	9,456	2,403	2,464	2,195	674	9,184	7,774	94,253	27,993	189,052
	Subcentro	20,887	3,568	6,665	1,117	2,065	1,054	580	2,238	5,075	5,415	37,418	86,081
<b>Total</b>	248,341	64,212	82,212	58,692	72,150	115,035	38,000	152,636	85,733	110,794	104,324	1,132,128	

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.2: Matriz OD entre zonas modelo, Santiago 2012.**

Origen/Destino	CBD	Nor-Oriente		Norte		Poniente		Sur-Oriente		Sur		Total	
		Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro		
CBD	55,470	4,394	11,999	2,229	7,369	1,794	1,273	1,078	9,993	1,942	3,371	100,912	
Nor-Oriente	Periferia	14,378	50,659	20,069	2,130	2,007	326	524	1,121	5,525	1,218	1,233	99,190
	Subcentro	24,952	11,556	53,904	2,553	3,972	991	143	2,300	7,159	1,344	2,423	111,297
Norte	Periferia	23,225	2,402	5,099	67,114	13,311	2,323	4,448	282	1,527	1,578	3,206	124,516
	Subcentro	26,137	1,334	2,934	5,195	36,994	1,331	2,286	586	2,911	1,143	1,134	81,986
Poniente	Periferia	38,683	3,040	9,380	4,975	9,098	129,992	18,829	786	7,313	3,170	7,189	232,455
	Subcentro	9,499	1,053	1,252	1,315	2,355	4,659	26,020	494	500	703	1,369	49,219
Sur-Oriente	Periferia	32,545	8,775	17,997	2,636	4,368	2,203	1,328	114,386	26,395	7,553	8,956	227,144
	Subcentro	31,096	4,649	19,205	3,174	3,018	2,091	953	7,615	41,545	3,023	4,939	121,308
Sur	Periferia	27,629	3,165	6,969	3,254	3,490	7,442	2,546	5,940	8,124	151,773	20,655	240,987
	Subcentro	11,320	2,014	2,536	1,756	1,490	1,354	541	1,036	5,569	4,065	33,721	65,402
<b>Total</b>	294,937	93,041	151,346	96,331	87,471	154,505	58,891	135,626	116,561	177,511	88,197	1,454,416	

+ Viajes  - Viajes

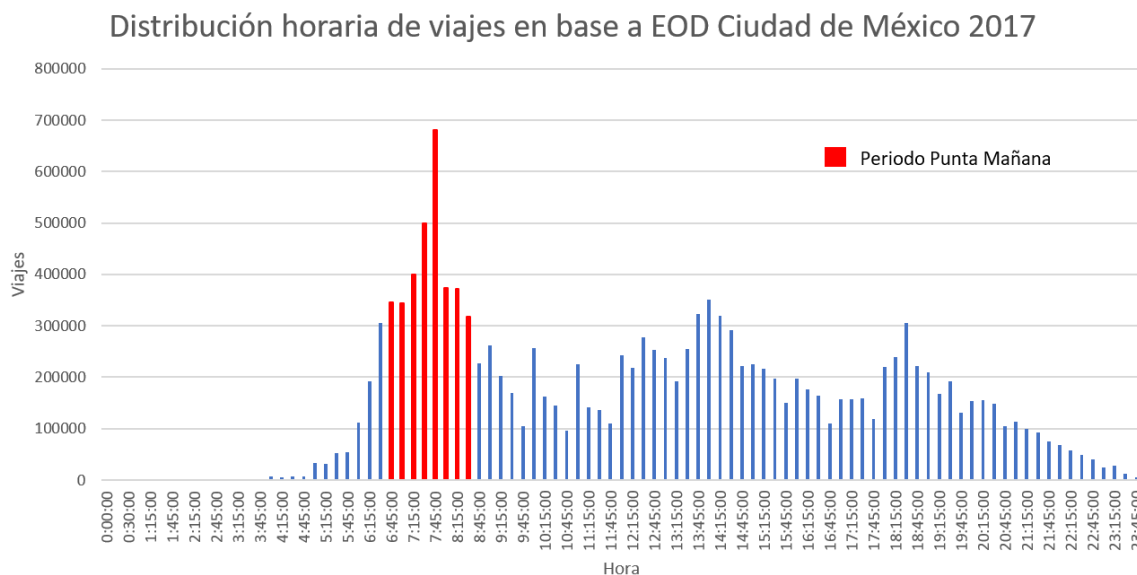
## 4.2.2 Ciudad de México

El periodo punta mañana para Ciudad de México en el año 2017, considerando la hora promedio de los viajes es entre las 6:45 y las 8:44 horas (ver Figura 4.10).

Considerando los viajes entre este intervalo horario y calculando la densidad de viajes atraídos para cada zonificación EOD, se obtiene la gráfica de atracción de viajes presentada en la Figura 4.11.

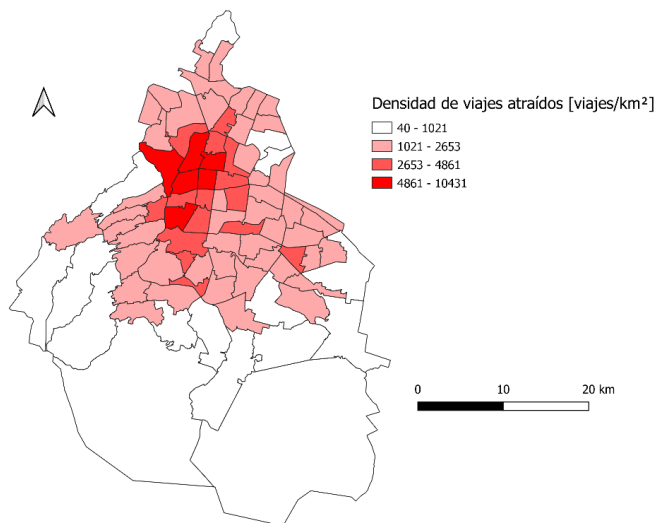
El CBD corresponde a la clase de mayor densidad atractiva, y abarca territorios de la Alcaldía de Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez. Este resultado es similar al obtenido a partir del estudio de algoritmos de detección de centralidades urbanas para ciudad de México, Montejano-Escamilla (2015) que indica, en base a la Figura 4.12, que se aprecia claramente una concentración de actividades mucho más acusada en la parte central de la ciudad que en los linderos de los límites administrativos. Esta aglomeración central de actividades está conformada por distintos gradientes que se acentúan sobre el corredor de Insurgentes —desde Copilco hasta Santa María la Ribera (eje norte-sur)— y sobre el corredor que inicia en Lomas de Chapultepec y culmina en el Centro Histórico (eje poniente-oriente), formando una especie de cruceta.

Los subcentros están definidos por las zonas adyacentes al CBD, más las zonas de la segunda clase con mayor atracción de viajes que son incorporadas añadiendo las zonas intermedias entre el CBD y esta zona. Dado que el CBD se ubica en una zona central, pero con mayor inclinación hacia la parte norte, y dada la forma de cruzeta del CBD, para cumplir criterios de tamaño de macrozonas y adyacencia subcentro-periferia, se dividió la ciudad en cuatro macrozonas, una al norte, y tres al Sur. El resultado de la zonificación basada en centros se presenta en la Figura 4.13, la matriz de viajes resultante de esta zonificación se presenta en la Tabla 4.3.

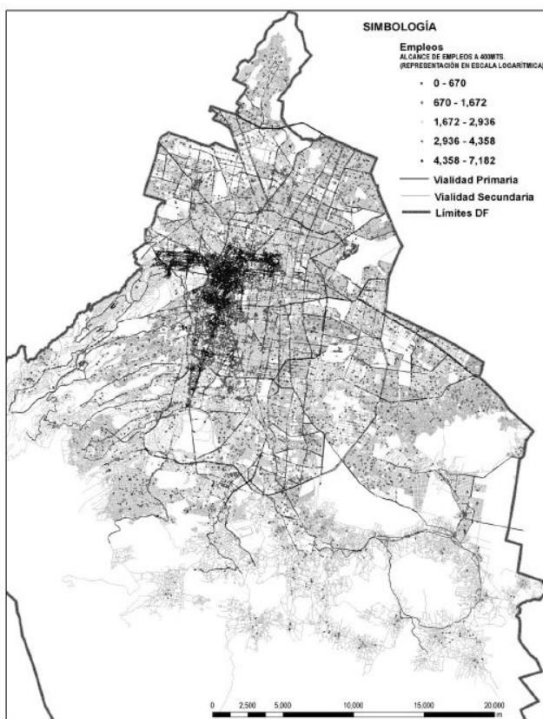


**Figura 4.10: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Ciudad de México 2017**

Atracción de viajes por zonificación EOD, Ciudad de México 2017

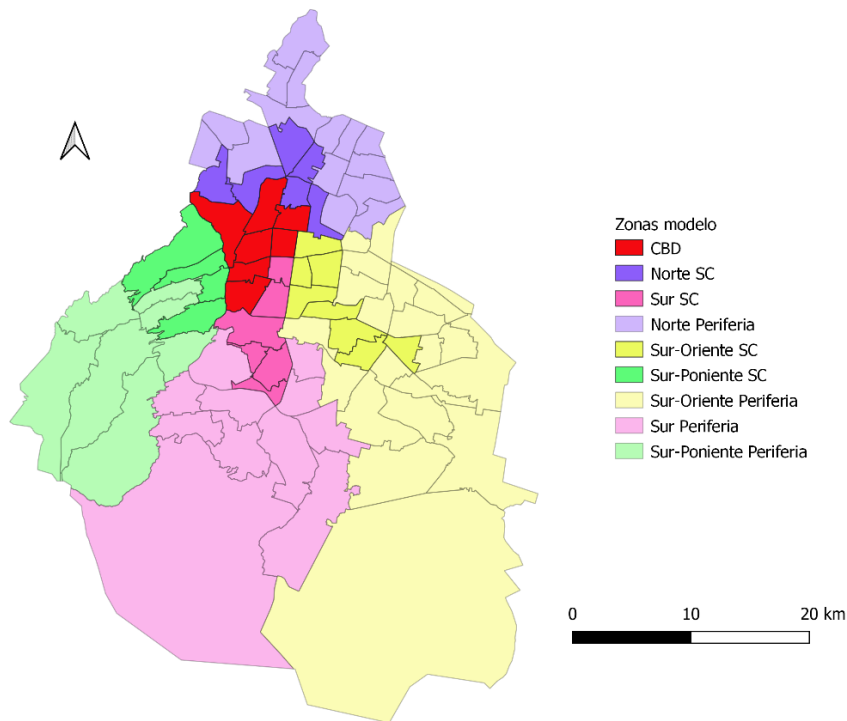


**Figura 4.11: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD. Ciudad de México 2017.**



**Figura 4.12: Empleos en un radio de 400 metros. Ciudad de México.**

### Zonas modelo basado en centros, Ciudad de México 2017



**Figura 4.13: Zonas modelo basado en centros, Ciudad de México.**

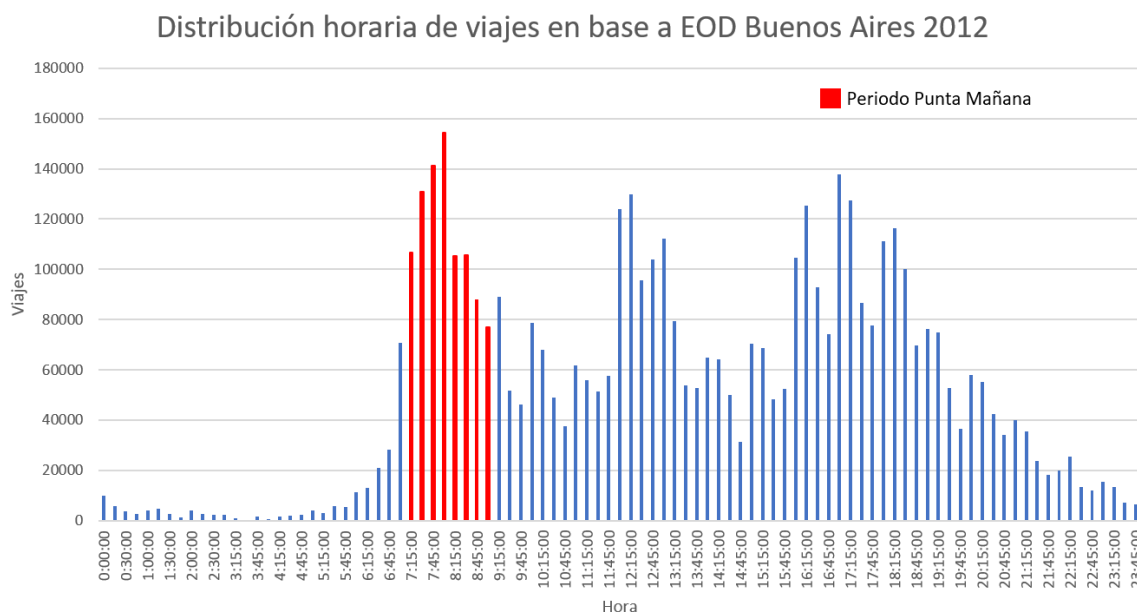
**Tabla 4.3: Matriz OD entre zonas modelo, Ciudad de México 2017.**

Origen/Destino	CBD	Norte		Sur-Oriente		Sur		Sur-Poniente		Total	
		Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro		
<b>CBD</b>	100,570	5,083	9,757	3,527	4,436	6,175	10,411	3,960	6,628	150,545	
Norte	Periferia	42,313	149,996	32,616	3,429	3,984	5,106	4,774	2,474	2,217	246,906
	Subcentro	32,119	17,701	63,865	1,564	4,130	2,368	2,640	1,448	2,571	128,405
Sur-Oriente	Periferia	44,365	7,457	7,184	280,560	38,138	27,655	17,653	2,513	2,873	428,397
	Subcentro	26,803	3,483	4,351	29,091	79,227	9,652	11,207	1,657	2,873	168,343
Sur	Periferia	25,926	1,831	2,279	12,137	3,732	144,832	19,795	6,097	3,276	219,902
	Subcentro	25,044	1,701	2,093	4,644	3,744	17,029	49,739	2,491	2,437	108,921
Sur-Poniente	Periferia	22,027	1,124	1,414	1,628	1,141	14,203	9,446	75,500	16,159	142,640
	Subcentro	18,189	1,184	1,279	964	1,199	3,607	3,832	8,903	33,325	72,480
<b>Total</b>	337,354	189,559	124,836	337,542	139,730	230,625	129,495	105,041	72,357	1,666,537	

+ Viajes  - Viajes

### 4.2.3 Buenos Aires

El periodo punta mañana para el gran Buenos Aires en el año 2012 considerando la hora promedio de los viajes es entre las 7:15 y las 9:14 horas (ver Figura 4.14).



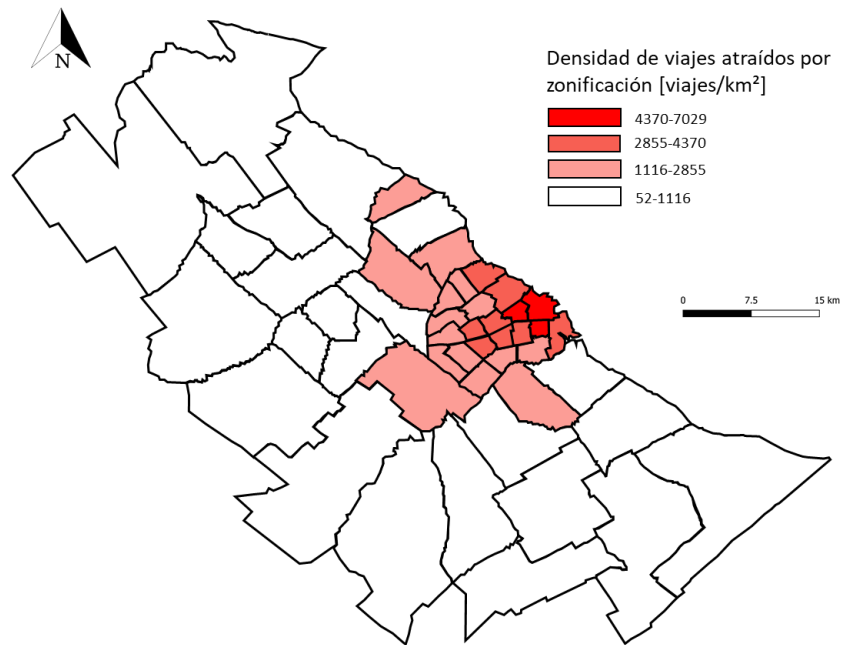
**Figura 4.14: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Ciudad de México 2017.**

Considerando los viajes entre este intervalo horario y calculando la densidad de viajes atraídos para cada zonificación considerada, se obtienen la gráfica de atracción de viajes presentada en la Figura 4.15.

A partir de la figura se aprecia que la atracción de viajes de la ciudad autónoma de Buenos Aires (CABA) es considerablemente superior al resto del gran Buenos Aires. A partir de los niveles de densidad de viajes atraídos se define el CBD a partir de las dos clases de mayor densidad atractiva, cubriendo una zona importante de CABA. Luego, la zona de subcentros se define a partir de las zonificaciones que pertenecen a la tercera clase de mayor nivel atractivo junto a los sectores adyacentes al CBD.

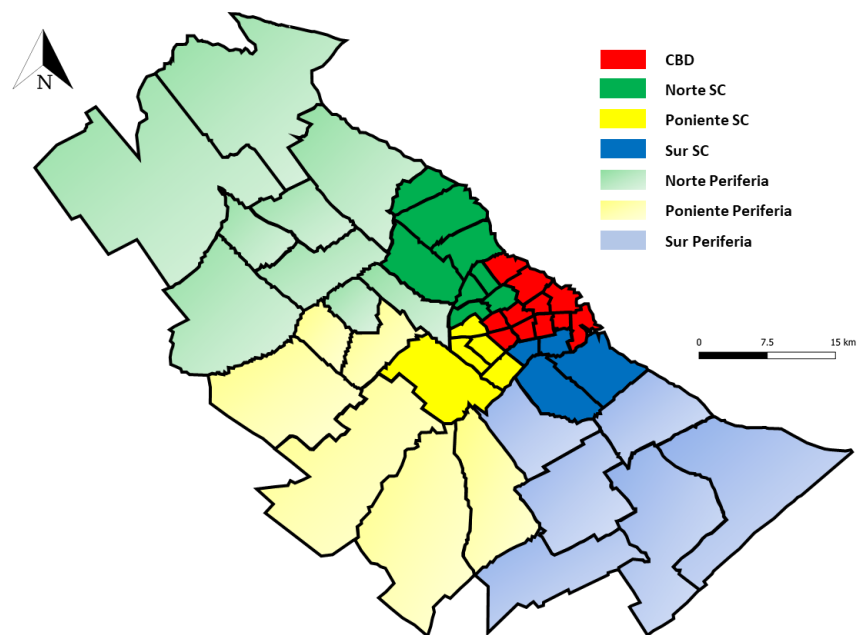
A partir del tamaño de las zonificaciones y la ubicación del CBD es posible construir tres macrozonas que cumplen los criterios de tamaño y adyacencia. Como se aprecia en la Figura 4.16 los tres subcentros están constituidos por localidades de CABA, junto a estas localidades el subcentro norte es el con mayor actividad y está formado por los partidos de San Fernando, San Isidro, Vicente López y General San Martín. El subcentro poniente incorpora las localidades cercanas al CBD y de alta densidad atractiva del partido de la Matanza, y el subcentro sur incorpora la localidad de Lanús y de Avellaneda, esta última a pesar de no tener alta atractividad es adyacente al CBD. El resultado de la zonificación basada en centros se presenta en la Figura 4.16, la matriz origen-destino resultante de esta zonificación se presenta en la Tabla 4.4.

### Atracción de viajes por zonificación EOD, Buenos Aires 2012



**Figura 4.15: Mapa de densidad de viajes atraídos por Zonificación EOD. Gran Buenos Aires 2012.**

### Zonas modelo basado en centros, Buenos Aires 2012



**Figura 4.16: Zonas modelo basado en centros, Gran Buenos Aires.**

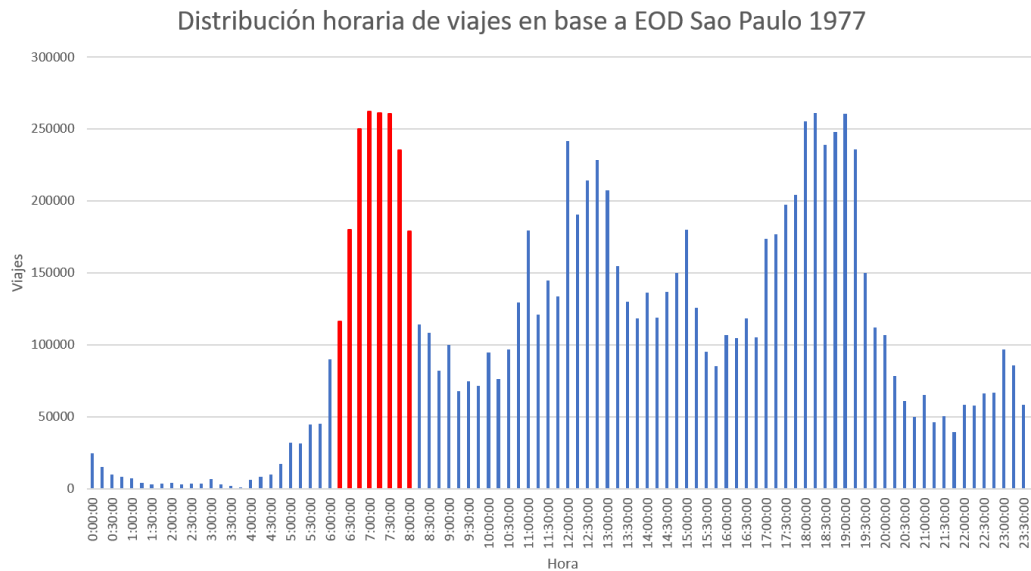
**Tabla 4.4: Matriz OD entre zonas modelo, Gran Buenos Aires 2012.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		283,100	12,931	40,135	19,020	25,069	19,366	27,122	426,743
Norte	Periferia	12,080	243,126	15,287	10,016	2,215	358	643	283,725
	Subcentro	42,682	18,335	188,835	12,476	5,722	1,654	2,125	271,829
Poniente	Periferia	18,545	12,526	11,476	241,633	29,552	5,211	3,520	322,464
	Subcentro	32,689	4,255	11,085	27,382	96,384	2,890	3,917	178,602
Sur	Periferia	18,347	544	1,069	5,700	1,715	253,857	18,673	299,905
	Subcentro	26,142	776	1,725	3,350	3,555	16,749	94,041	146,338
Total		433,585	292,493	269,612	319,577	164,212	300,085	150,040	1,929,605

+ Viajes  - Viajes

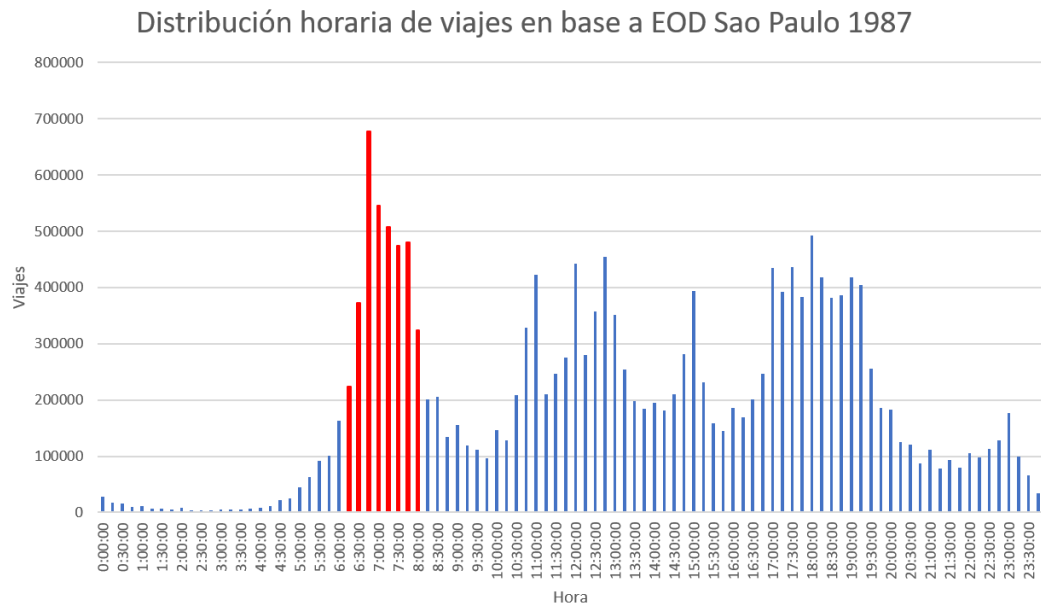
#### 4.2.4 Sao Paulo

El periodo punta mañana hallado para Sao Paulo para los cuatro periodos analizados considerando la hora promedio de los viajes es entre las 6:15 y las 8:14 horas (ver Figuras 4.17 a 4.20).

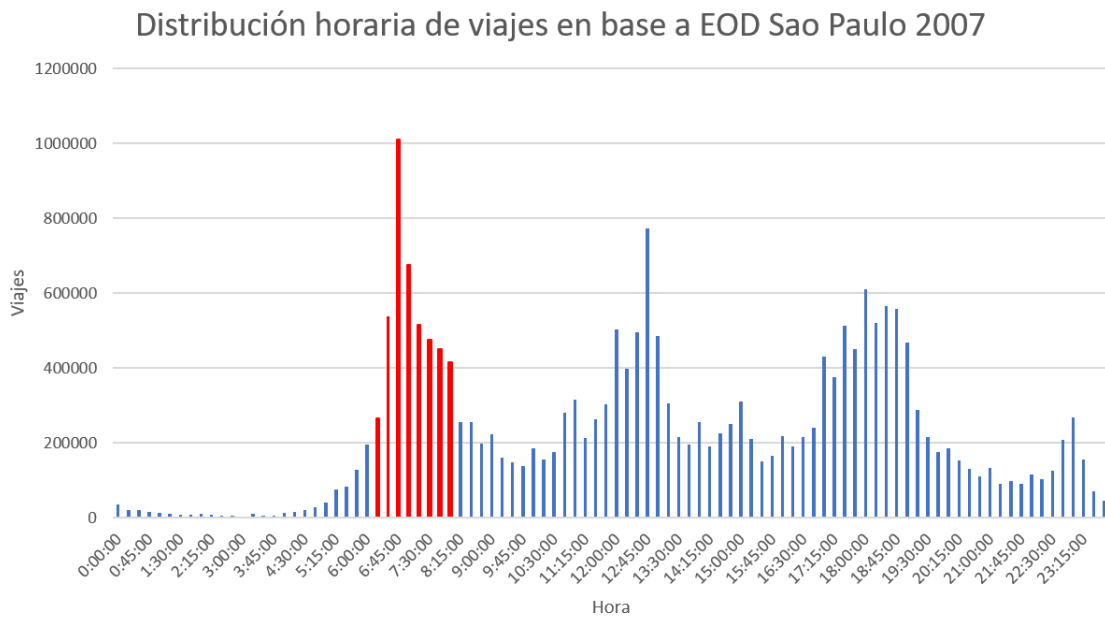


**Figura 4.17: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Sao Paulo 1977**

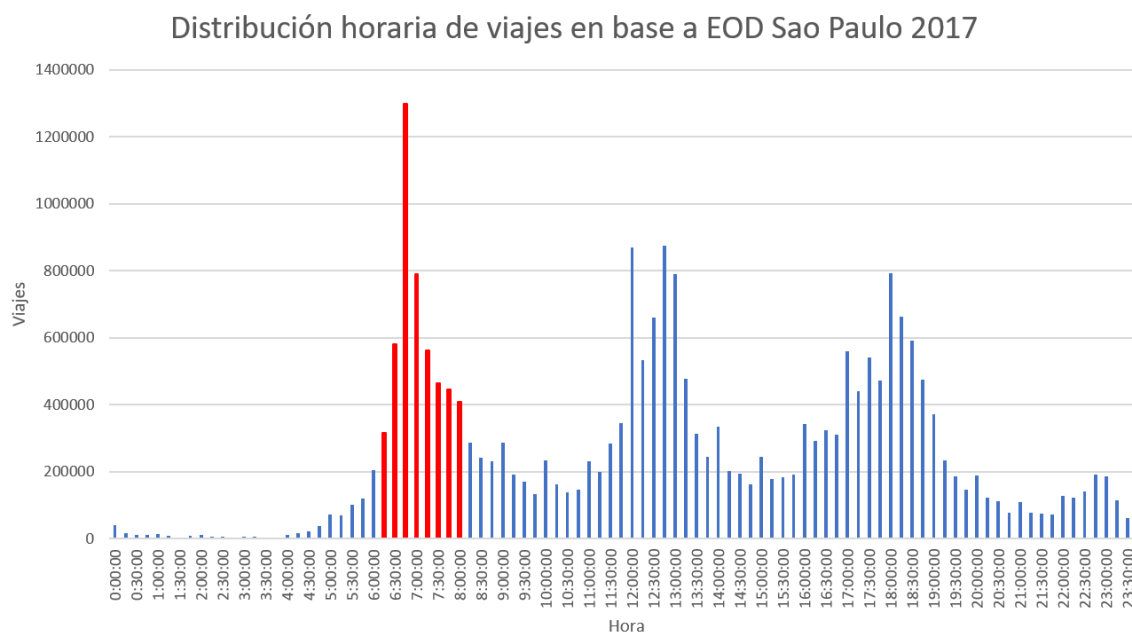




**Figura 4.18: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Sao Paulo 1987.**



**Figura 4.19: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Sao Paulo 2007.**



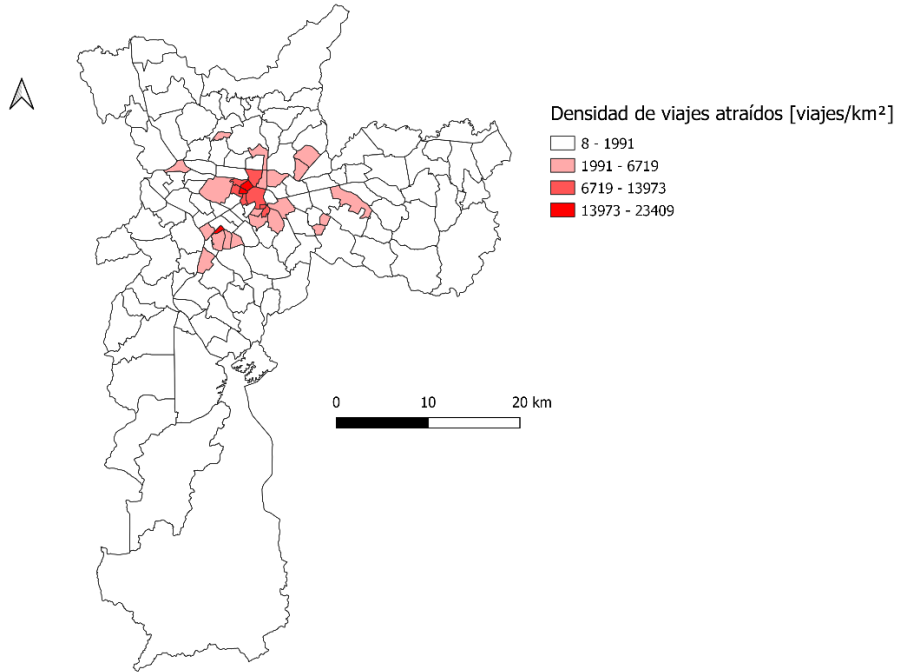
**Figura 4.20: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD Sao Paulo 2017.**

Considerando los viajes entre este intervalo horario y calculando la densidad de viajes atraídos para cada zonificación considerada, se obtienen las gráficas de atracción de viajes presentadas en las Figuras 4.21 a 4.24.

Sao Paulo considera cuatro periodos para la definición de CBD, subcentros y periferias, y además contiene dos zonificaciones diferentes para la zonificación base de la EOD, la primera para 1977 y 1987 y otra para los años 2007 y 2017). Por esta razón la zonificación final de este estudio para Sao Paulo es distinta entre los años (1977-1987) y (2007-2017). Se aprecia en base a los mapas de densidad de viajes atraídos que el registro más actual (2017) registra mayor cantidad de territorios en las clases de mayor densidad atractiva de viajes, por lo tanto, es la de mayor influencia en la definición de CBD, subcentros y periferia para Sao Paulo. Sin embargo, para hallar el CBD y subcentros si se considera la atractividad de los cuatro horizontes temporales, donde se agregan las zonas de mayor actividad de los años anteriores. Teniendo en consideración lo anterior se definen el CBD, y las zonas de subcentros y periferias.

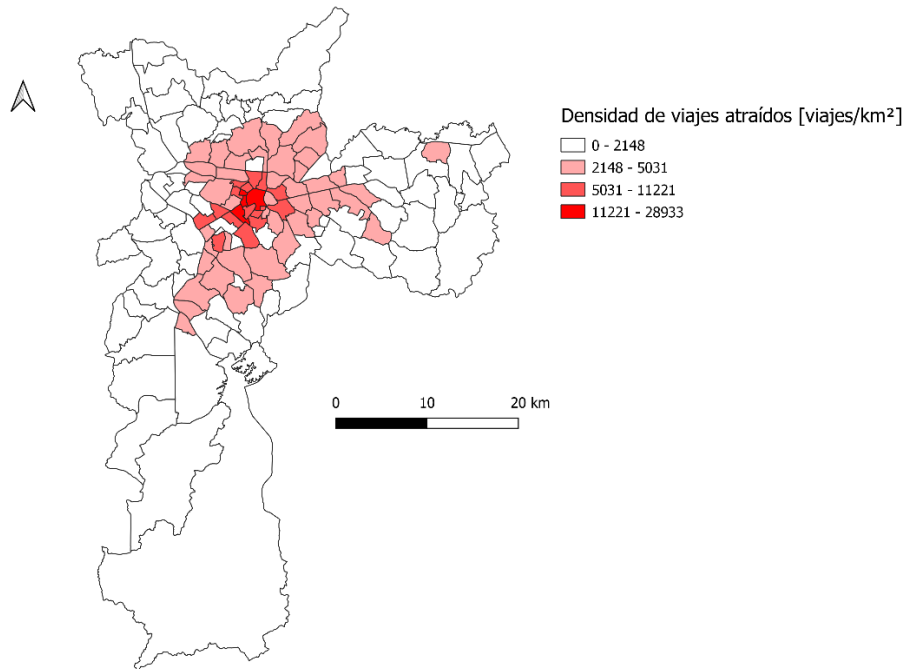
Luego, se construyen cuatro macrozonas de tamaños comparables, como consecuencia de la forma de la ciudad y de que la zona sur dificulta la definición de mayor cantidad de zonas. Finalmente se obtienen las zonificaciones presentadas en la Figura 4.25 y la Figura 4.26. Es posible apreciar en estas figuras que el CBD está constituido por los distritos de la subprefectura de Sé (Sé, Bela Vista, Consolação, Liberdade, República, Santa Cecília) y los distritos de Brás y Jardim Paulista. La ciudad se divide en tres macrozonas a partir del cumplimiento de los criterios de definición, donde influyen la forma de la ciudad y la zona de los subcentros hallados. El subcentro Oriente está formado por los distritos Mooca, Tatuapé y Belém del distrito de Mooca. El subcentro Norte está formado por Perdizes, Barra Funda, Santa Cecilia, Bom Retiro y Pari. El subcentro Sur está formado por Pinheiros, Itaim Bibi, Moema, Villa Mariana y Cambuci. Las matrices origen-destino entre centros se presentan en las Tablas 4.5 a 4.8.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Sao Paulo 1977



**Figura 4.21: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD Sao Paulo 1977.**

Atracción de viajes por zonificación EOD, Sao Paulo 1987



**Figura 4.22: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD Sao Paulo 1987.**

Atracción de viajes por zonificación EOD, Sao Paulo 2007

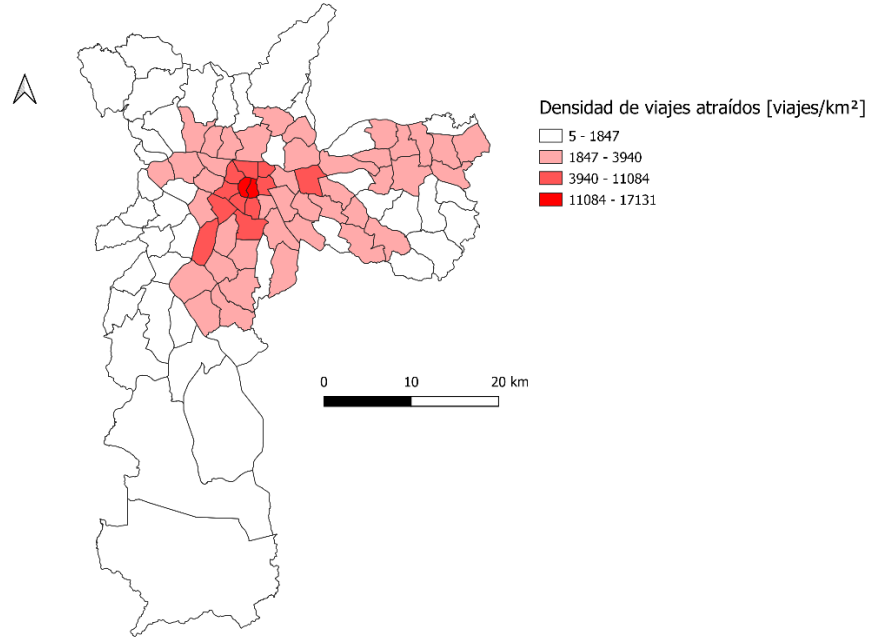


Figura 4.23: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD Sao Paulo 2007.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Sao Paulo 2017

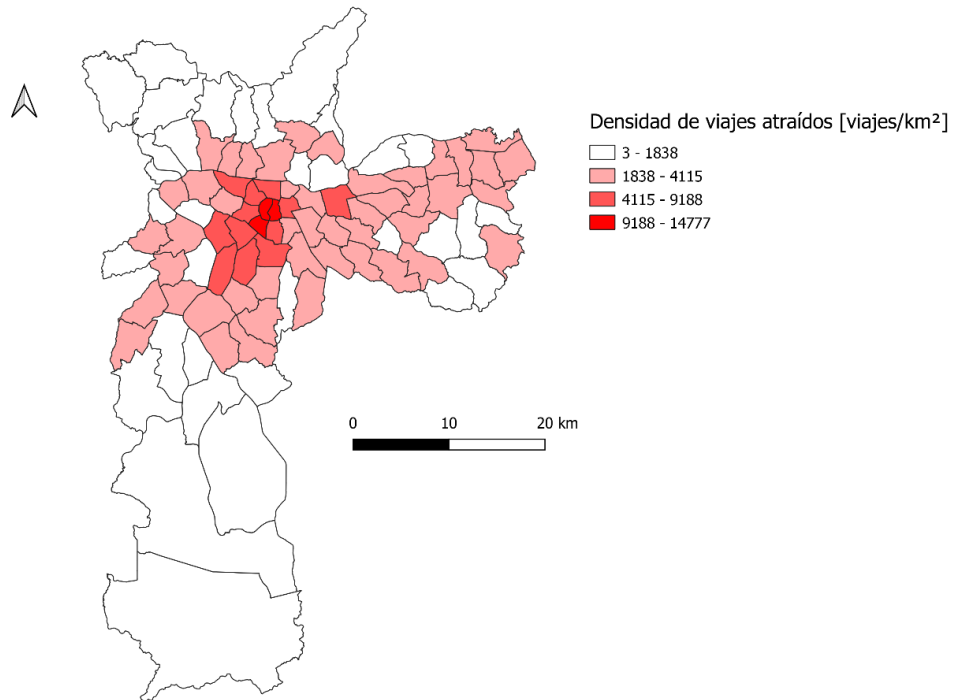


Figura 4.24: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD Sao Paulo 2017.

Zonas modelo basado en centros, Sao Paulo 1977 y 1987

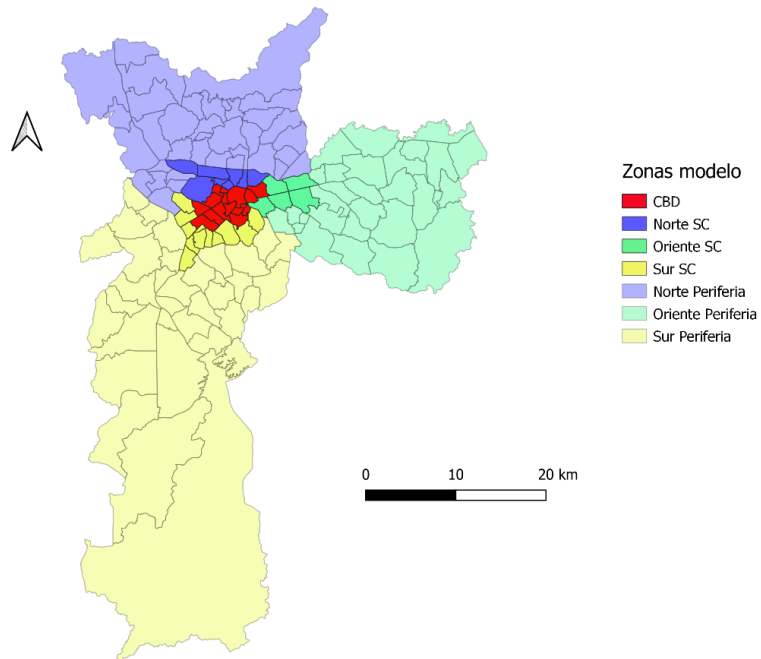


Figura 4.25: Zonas Modelo basado en centros. Sao Paulo 1977-1987.

Zonas modelo basado en centros, Sao Paulo 2007 y 2017

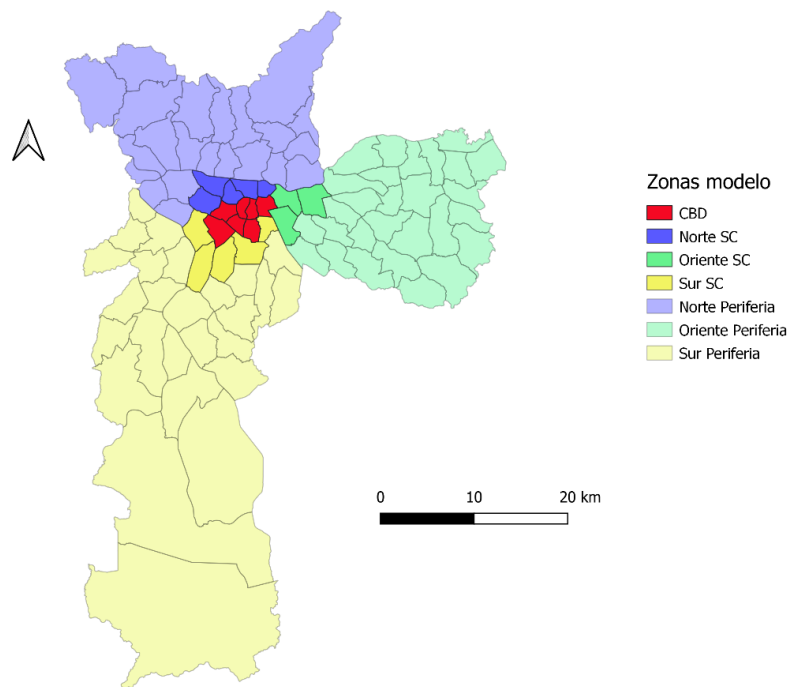


Figura 4.26: Zonas Modelo basado en centros, Sao Paulo 2007-2017.

**Tabla 4.5: Matriz OD entre zonas modelo, Sao Paulo 1977.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Oriente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		20,274	6,860	8,410	4,114	937	4,132	5,979	50,706
Norte	Periferia	18,689	103,452	25,527	21,559	4,801	16,373	10,847	201,247
	Subcentro	7,486	6,880	10,349	2,680	296	2,411	2,406	32,508
Oriente	Periferia	25,117	47,618	24,005	99,617	4,684	23,261	18,609	242,912
	Subcentro	1,985	3,163	1,672	1,253	6,078	1,695	1,060	16,906
Sur	Periferia	27,065	22,881	17,056	34,802	6,376	134,479	17,781	260,441
	Subcentro	10,907	7,476	7,586	5,131	1,684	7,100	26,985	66,868
Total		111,523	198,330	94,605	169,155	24,856	189,453	83,668	871,589

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.6: Matriz OD entre zonas modelo, Sao Paulo 1987.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Oriente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		52,207	4,917	8,676	3,798	3,295	11,591	11,356	95,839
Norte	Periferia	59,280	285,149	40,482	4,409	6,037	17,798	12,827	425,982
	Subcentro	13,105	7,182	29,840	570	967	2,338	2,519	56,521
Poniente	Periferia	72,185	10,706	13,654	323,065	43,034	23,792	9,215	495,651
	Subcentro	7,770	2,948	1,830	9,976	27,214	4,255	903	54,897
Sur	Periferia	57,830	10,607	9,254	6,211	3,827	447,585	50,771	586,085
	Subcentro	19,021	3,212	2,520	1,988	1,797	23,254	36,207	87,999
Total		281,399	324,721	106,257	350,017	86,171	530,612	123,797	1,802,974

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.7: Matriz OD entre zonas modelo, Sao Paulo 2007.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Oriente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		34,599	4,464	7,192	2,740	2,216	8,254	10,730	70,195
Norte	Periferia	47,568	350,987	33,658	6,520	7,595	21,986	21,185	489,499
	Subcentro	11,318	6,865	18,607	1,990	801	3,880	3,780	47,242
Poniente	Periferia	62,937	23,005	23,125	501,999	53,622	23,428	24,539	712,654
	Subcentro	4,959	2,671	1,809	9,291	18,905	2,762	1,971	42,369
Sur	Periferia	51,585	21,059	13,218	13,675	3,936	542,365	91,833	737,671
	Subcentro	12,403	3,293	2,385	3,123	1,070	17,048	32,947	72,268
Total		225,369	412,344	99,994	539,340	88,145	619,723	186,983	2,171,897

+ Viajes  - Viajes

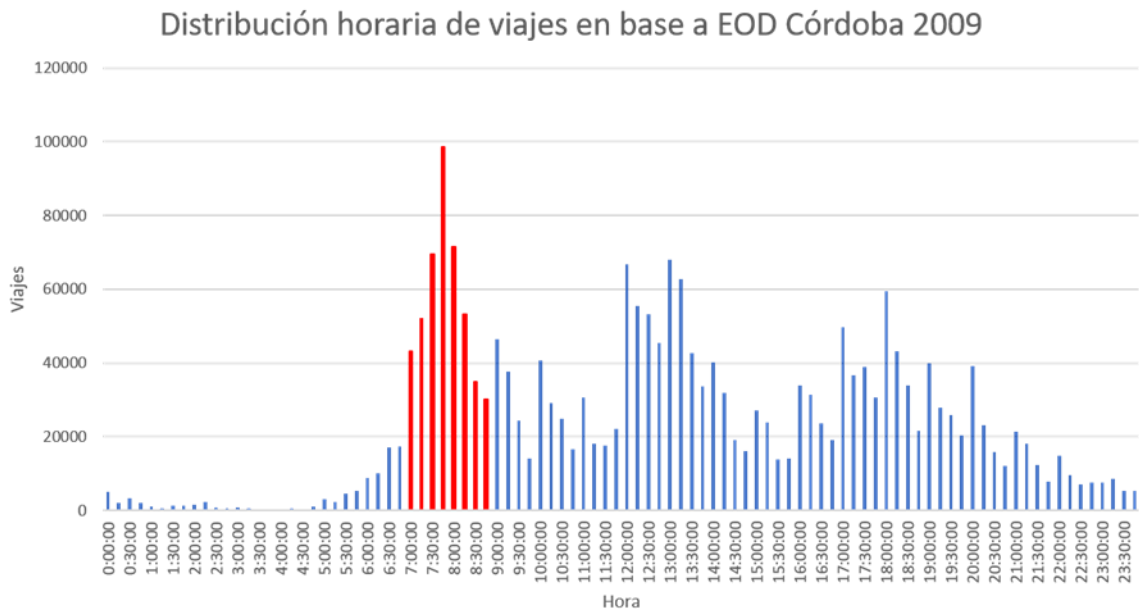
**Tabla 4.8: Matriz OD entre zonas modelo, Sao Paulo 2017.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Oriente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		45,009	3,532	7,394	3,546	2,486	8,878	14,180	85,025
Norte	Periferia	37,692	361,801	33,225	8,018	9,285	19,856	22,769	492,646
	Subcentro	10,810	6,537	33,309	1,056	705	4,839	5,103	62,359
Poniente	Periferia	59,933	21,776	18,857	567,517	54,259	21,173	27,911	771,425
	Subcentro	7,689	2,714	1,673	8,824	26,812	1,760	3,197	52,669
Sur	Periferia	54,256	17,231	13,174	4,212	5,444	670,731	100,467	865,516
	Subcentro	18,880	6,146	3,274	1,334	1,297	20,308	50,690	101,931
Total		234,269	419,738	110,907	594,508	100,288	747,544	224,318	2,431,571

+ Viajes  - Viajes

#### 4.2.5 Córdoba

El periodo punta mañana hallado para Córdoba en base a la EOD del año 2009 considerandola hora promedio de los viajes es entre las 7:00 y las 8:59 horas (ver Figura 4.27).



**Figura 4.27: Gráfico de distribución horaria de viajes en base a EOD de Córdoba 2009.**

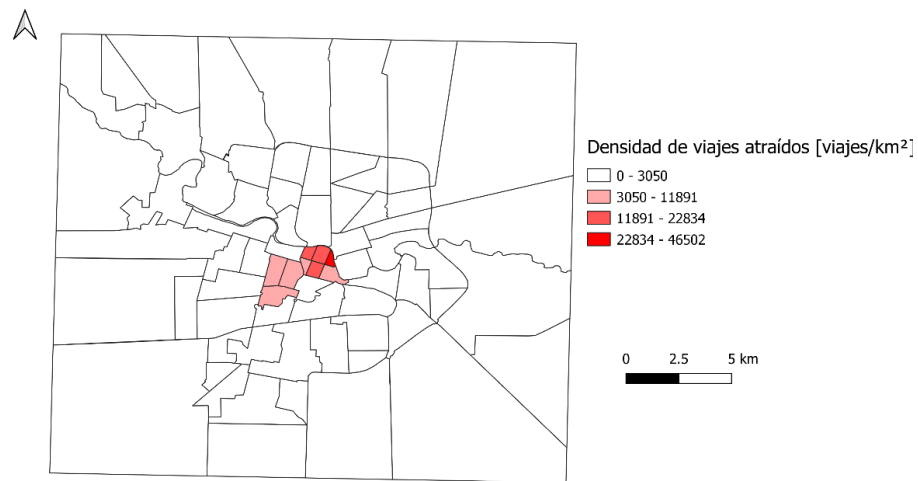
Considerando los viajes entre este intervalo horario y calculando la densidad de viajes atraídos para cada zona de la zonificación EOD, se obtienen la siguiente gráfica de atracción de viajes. (ver Figura 4.28).

Se aprecia que el centro de la ciudad presenta una densidad atractiva considerablemente mayor al resto de la ciudad y de muy alta intensidad. En base a esto para la definición del CBD se incluyeron las dos clases de mayor densidad atractiva. Los subcentros por otra parte están formados por las zonificaciones EOD adyacentes al CBD ya definido y las zonas pertenecientes a la tercera clase de mayor densidad atractiva. La actividad altamente monocéntrica de esta ciudad se hace evidente, aunque se aprecia que existe una pequeña expansión de la atractividad central hacia el

sur-poniente donde se define un subcentro; el subcentro que le sigue en atractividad es el sur-oriente, pero su dimensión es menor. Debido a que la ciudad presenta solo dos subcentros de importancia y tiene forma cuadrada, esta puede ser adecuadamente representada en cuatro macrozonas de tamaños similares, con periferias claramente vinculadas a un subcentro según ubicación adyacente.

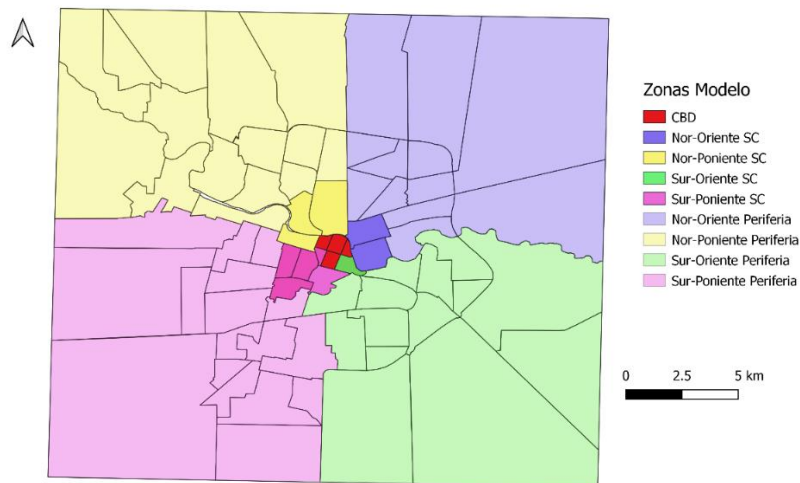
La zonificación de centros resultante es la presentada en la Figura 4.29. La matriz OD resultante para la división en zonas realizada se expone en la Tabla 4.9.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Córdoba 2009



**Figura 4.28: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD Córdoba 2009.**

Zonas modelo basado en centros, Córdoba 2009



**Figura 4.29: Zonas modelo basado en centros, Córdoba 2009**



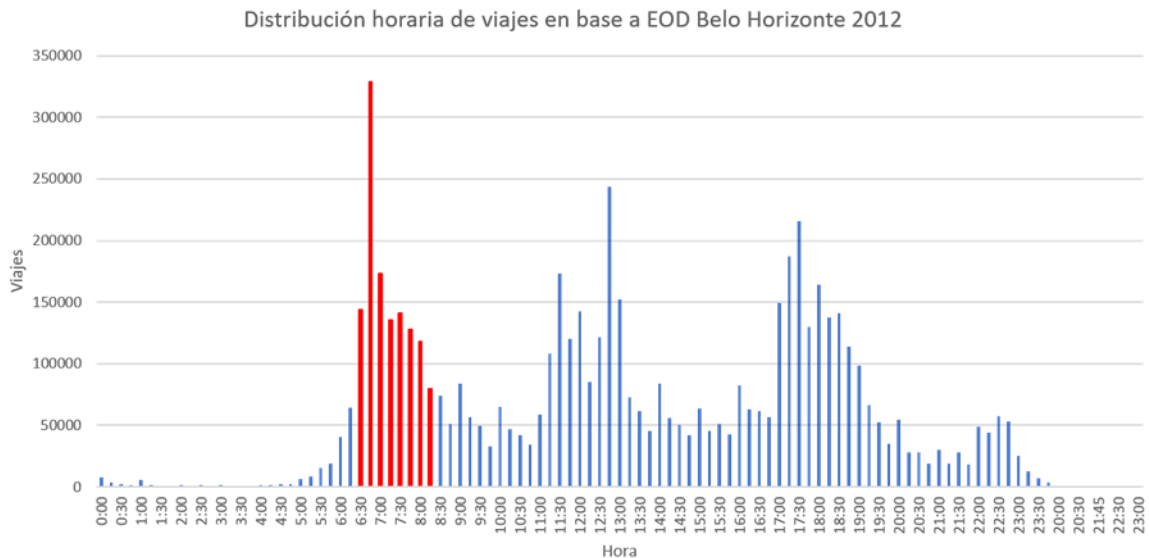
**Tabla 4.9: Matriz OD entre zonas modelo, Córdoba 2009.**

Origen/Destino	CBD	Nor-Oriente		Nor-Poniente		Sur-Oriente		Sur-Poniente		Total	
		Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro		
CBD	1,840	489	0	495	498	497	595	893	1,999	7,305	
Nor-Oriente	Periferia	6,162	7,901	605	3,090	1,550	3,113	391	5,318	2,979	31,108
	Subcentro	1,888	315	1,468	839	105	419	0	524	1,457	7,015
Nor-Poniente	Periferia	8,498	1,099	714	16,128	694	4,514	1,678	4,596	3,630	41,550
	Subcentro	397	740	0	291	1,303	497	0	884	890	5,003
Sur-Oriente	Periferia	10,657	2,796	1,032	4,372	1,486	16,671	2,191	7,970	7,386	54,562
	Subcentro	500	0	105	93	0	202	0	302	302	1,503
Sur-Poniente	Periferia	10,904	1,057	483	5,565	1,240	6,394	2,086	27,541	6,357	61,628
	Subcentro	3,435	302	105	2,828	105	1,815	419	1,721	6,074	16,805
<b>Total</b>	<b>44,281</b>	<b>14,698</b>	<b>4,512</b>	<b>33,700</b>	<b>6,980</b>	<b>34,122</b>	<b>7,359</b>	<b>49,750</b>	<b>31,075</b>	<b>226,478</b>	

+ Viajes  - Viajes

#### 4.2.6 Belo Horizonte

El periodo punta hallado para Belo Horizonte en base a la EOD del año 2012 considerando la hora promedio de los viajes es entre las 6:30 y las 8:29 horas (ver Figura 4.30).



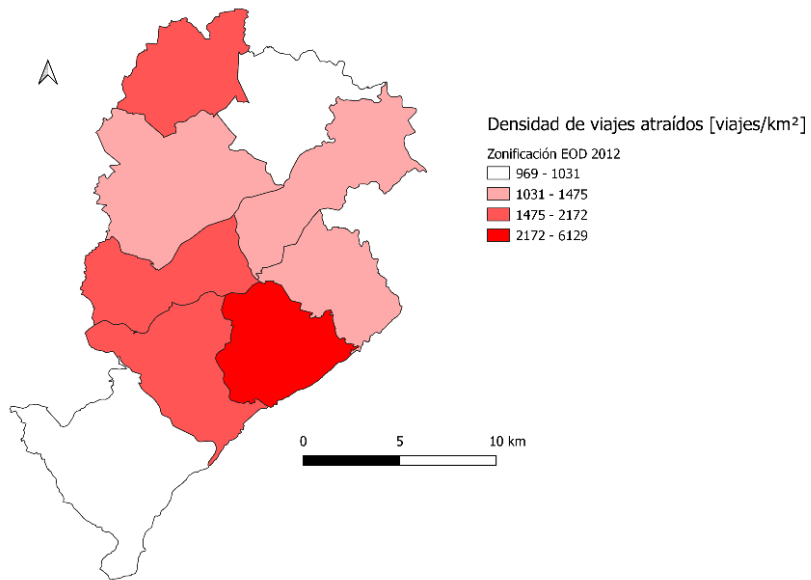
**Figura 4.30: Distribución horaria de viajes en base a EOD Belo Horizonte 2012.**

A partir de los viajes entre este intervalo horario y calculando la densidad de viajes atraídos por zonificación EOD se obtienen gráfica de atracción de viajes expuesta en la Figura 4.31.

Debido a que el número de zonificaciones es reducido, el CBD es directo y correspondiente a la administración regional Centro-Sur. Por otra parte, no hay mayores diferencias entre las otras zonas, a excepción de la correspondiente a la administración Oeste, que se añade a los subcentros. Los demás subcentros por su parte se definen solo aplicando el criterio de adyacencia. Se definen tres macrozonas, que es lo máximo permitido por el tamaño de las zonificaciones. Siendo los subcentros las zonas más cercanas al CBD, y sus periferias las zonas adyacentes que permiten

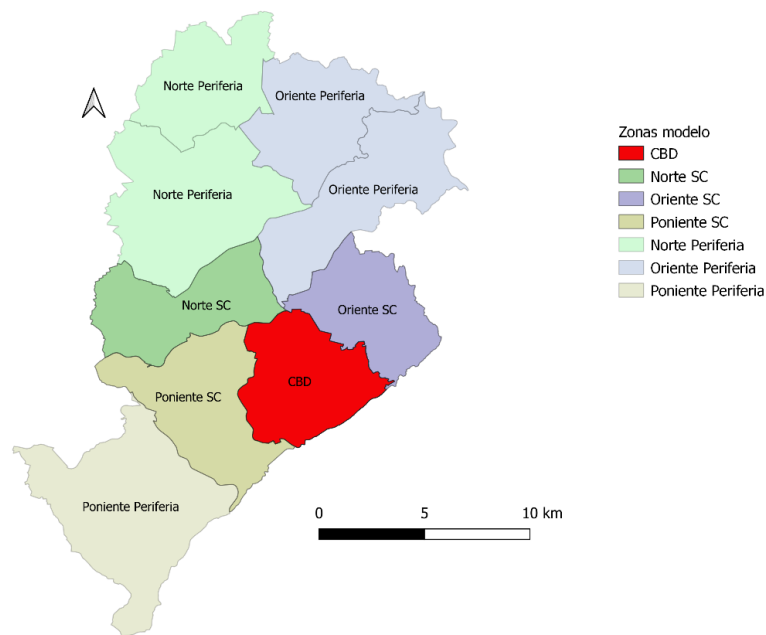
construir macrozonas de tamaños similares. La matriz OD, obtenida a partir de las zonas del modelo se presentan en la Tabla 4.10.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Belo Horizonte 2012



**Figura 4.31: Mapa de densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Belo Horizonte 2012.**

Zonas modelo basado en centro, Belo Horizonte 2012



**Figura 4.32: Zonas modelo basado en centros, Belo Horizonte.**

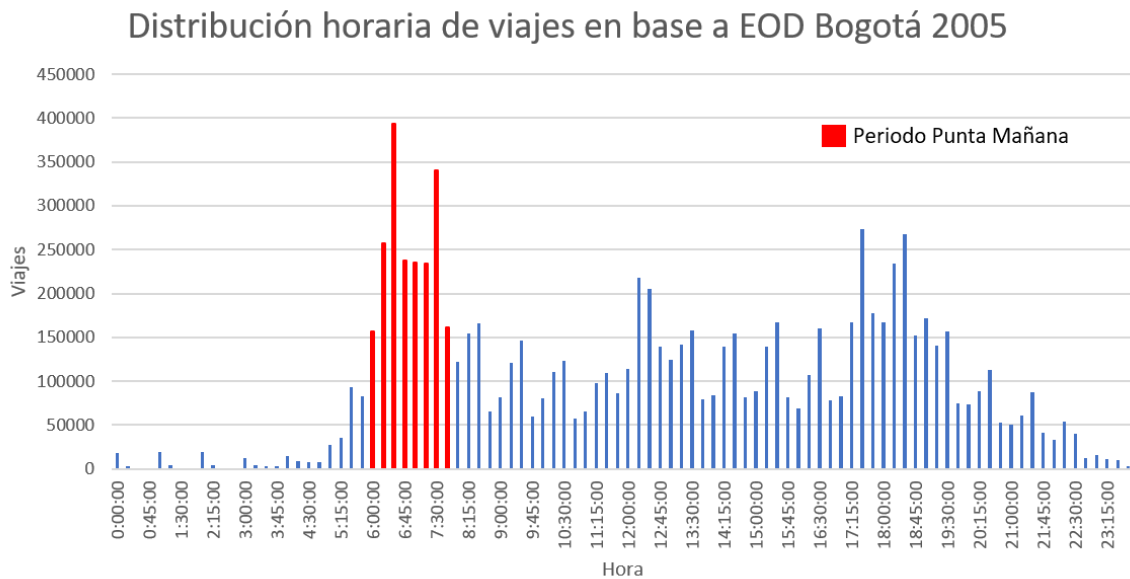
**Tabla 4.10: Matriz OD entre zonas modelo, Belo Horizonte 2012**

Origen/Destino		CBD	Norte		Oriente		Poniente		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		71,421	5,059	2,502	2,145	3,800	411	5,435	90,772
Norte	Periferia	22,858	83,896	8,916	6,532	1,896	725	4,265	129,089
	Subcentro	17,129	6,077	37,113	2,613	1,695	511	5,791	70,930
Oriente	Periferia	28,939	13,231	4,375	70,408	7,964	386	5,233	130,537
	Subcentro	19,837	2,376	2,293	3,254	24,989	401	2,733	55,883
Poniente	Periferia	10,456	1,544	2,215	429	412	47,086	6,770	68,913
	Subcentro	22,623	3,562	4,127	1,588	1,320	2,120	42,280	77,620
Total		193,262	115,745	61,542	86,968	42,078	51,641	72,508	623,744

+ Viajes  - Viajes

### 4.2.7 Bogotá

El periodo punta mañana en Bogotá para los años 2005, 2011 y 2015 considerando la hora promedio de los viajes es entre las 6:00 y las 7:59 horas (ver Figuras 4.33 a 4.35) y para el año 2019 es entre las 5:45 y las 7:44 horas (ver Figura 4.36).



**Figura 4.33: Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2005.**

Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2011

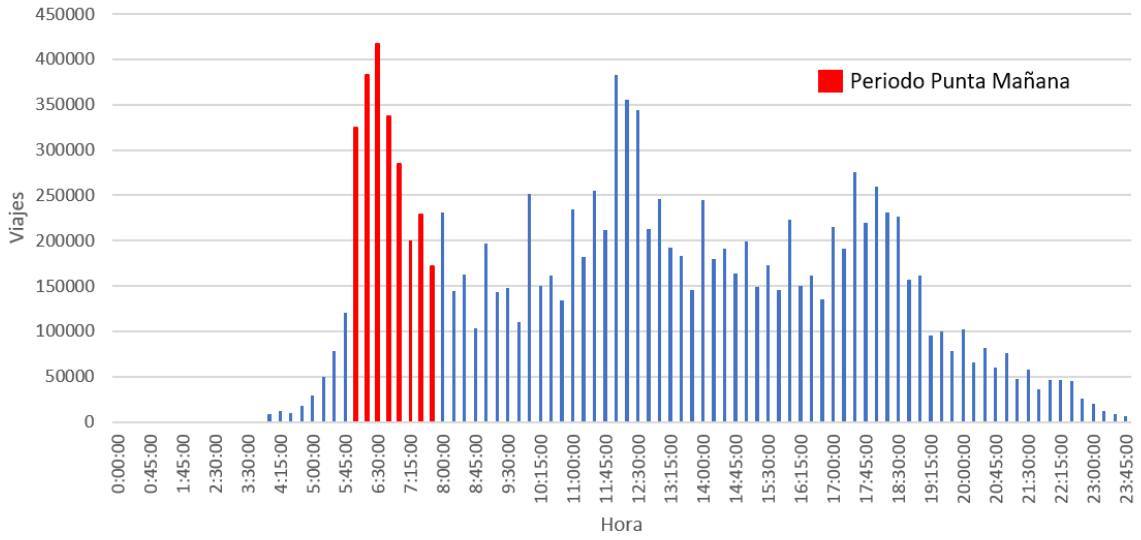


Figura 4.34: Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2011.

Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2015

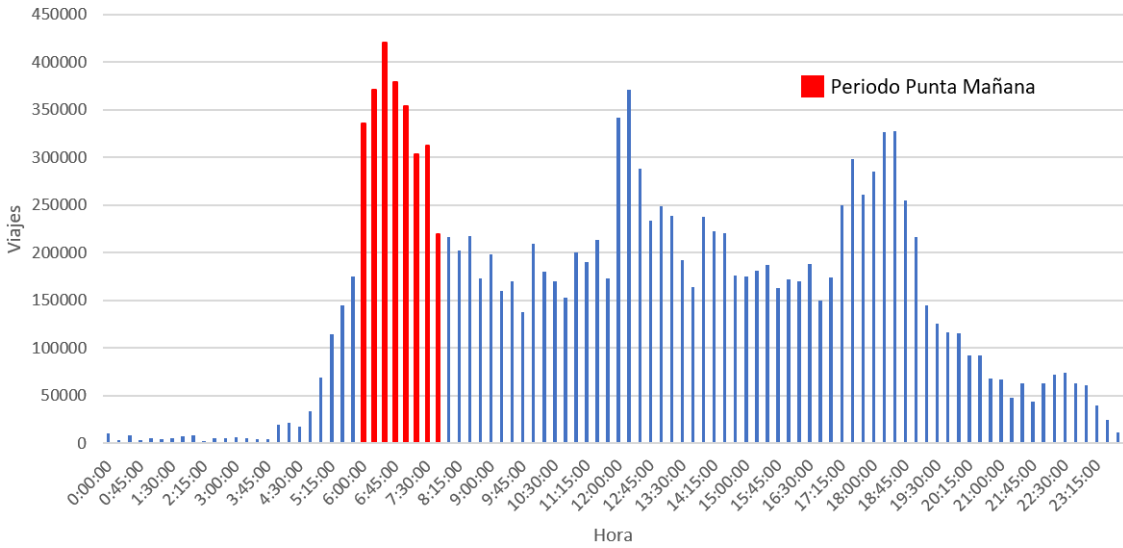
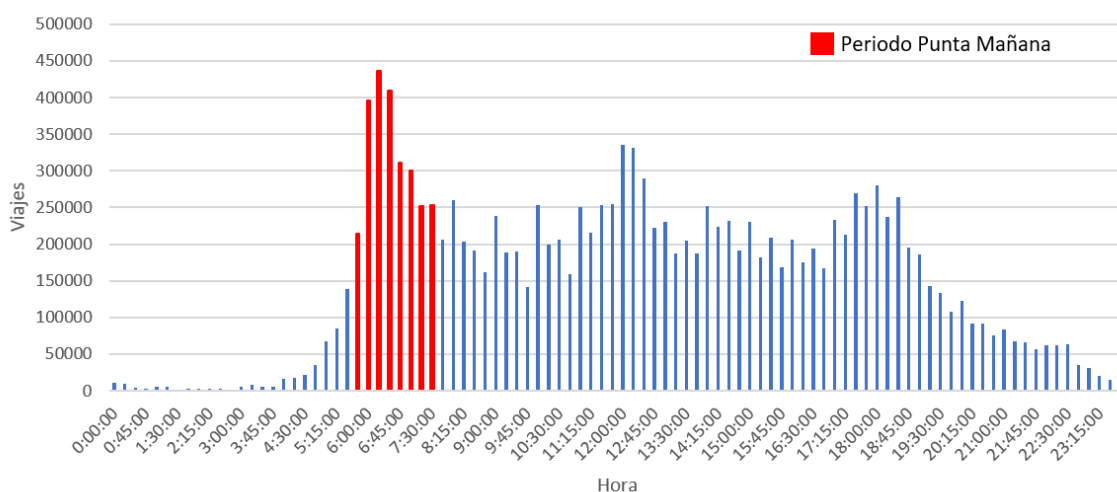


Figura 4.35: Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2015.

## Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2019



**Figura 4.36: Distribución horaria de viajes en base a EOD Bogotá 2019.**

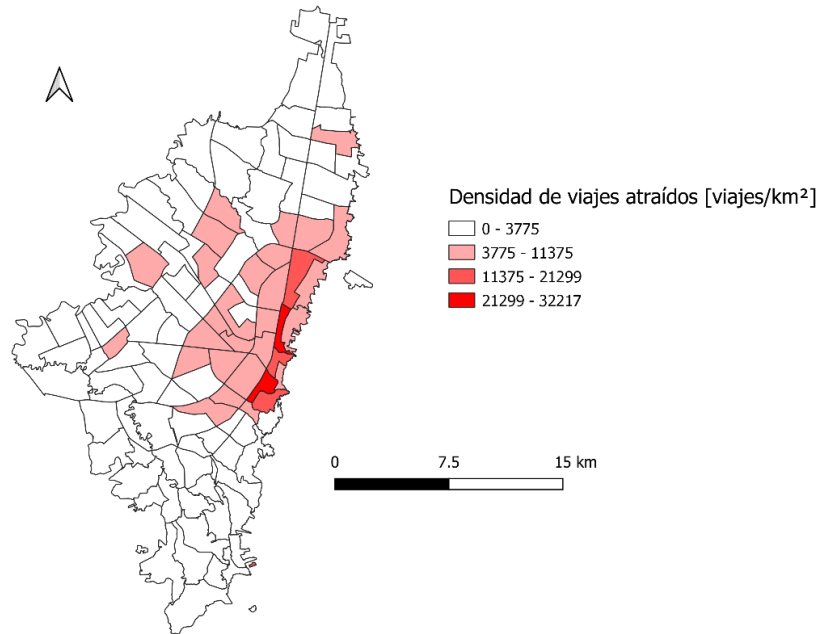
Considerando los viajes en el periodo punta mañana y calculando la densidad de viajes atraídos para cada zonificación base, se obtienen las gráficas de atracción de viajes presentadas en las Figuras 4.37 a 4.40.

En Bogotá se dispone de matrices OD para cuatro años, que son utilizadas para la definición de CBD, subcentros y periferias. El CBD se define a partir de las zonas que pertenecen a la clase de mayor densidad atractiva para cualquier año considerado. Por su parte los subcentros se definen a partir de las zonas que pertenecen a la segunda clase de mayor densidad atractiva en cualquier año y que no forma parte del CBD.

La ciudad se divide en tres macrozonas, donde se busca obtener que sean de tamaños comparables y que las periferias y subcentros resulten adyacentes. La ubicación en un borde del CBD y zonificación base permiten construir tres macrozonas que cumplan con los criterios de definición. Se optó en algunos casos por agrupar UTAMs (Zonificación base encuesta movilidad Bogotá) por localidades para facilitar la definición de macrozonas.

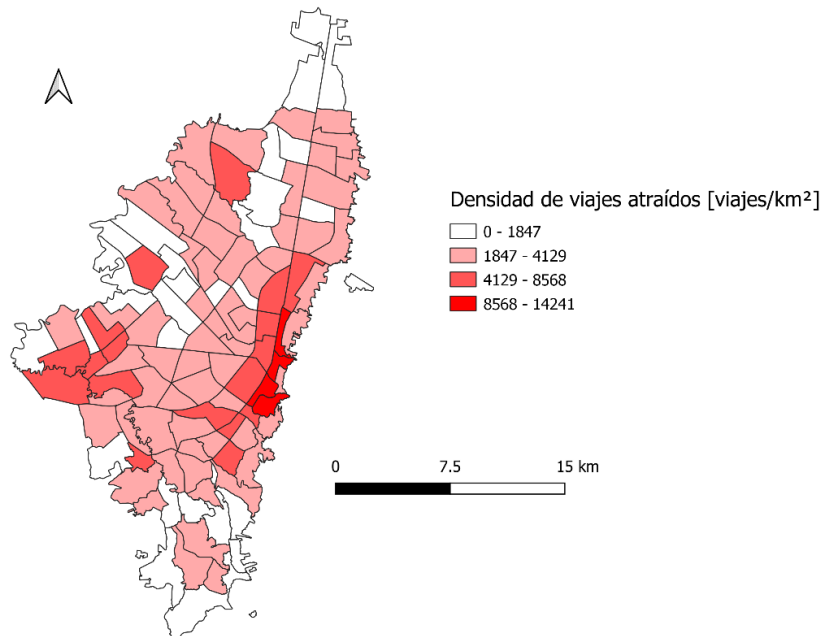
Las zonas finales para este estudio son presentadas en la Figura 4.41, donde se aprecia que el CBD está constituido por UTAMs pertenecientes a las localidades de Santa Fe, Chapinero y La Candelaria. El subcentro Norte está formado por el resto de las UTAMs pertenecientes a Chapinero, y UTAMs de Usaquén, Suba y Barrios Unidos, el subcentro oriente por otra parte incorpora principalmente UTAMs de Teusaquillo, y territorios de menor tamaño de Engativá, Barrios Unidos y Mártires, el subcentro Sur está compuesto por el resto de Santa Fe y UTAMs de San Cristóbal, Antonio Nariño y una UTAM de Mártires. Las matrices OD para cada periodo se presentan en las tablas 4.11 a 4.14.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Bogotá 2005



**Figura 4.37: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Bogotá 2005.**

Atracción de viajes por zonificación EOD, Bogotá 2011



**Figura 4.38: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Bogotá 2011.**

Atracción de viajes por zonificación EOD, Bogotá 2015

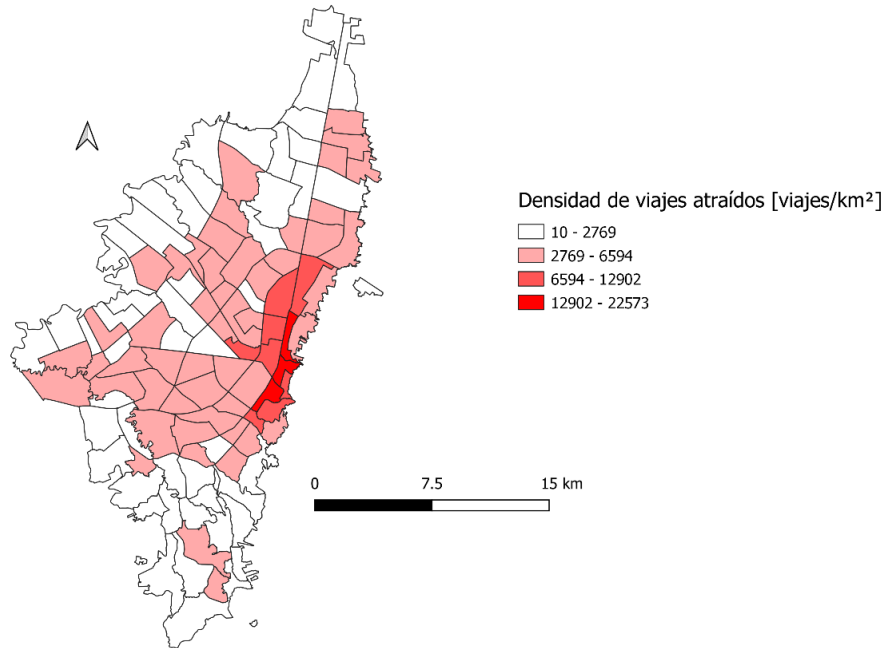


Figura 4.39: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Bogotá 2015.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Bogotá 2019

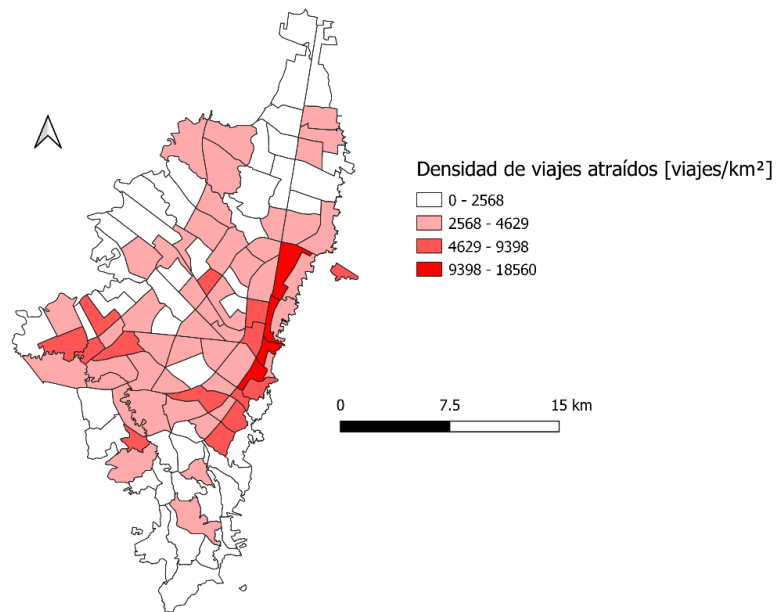
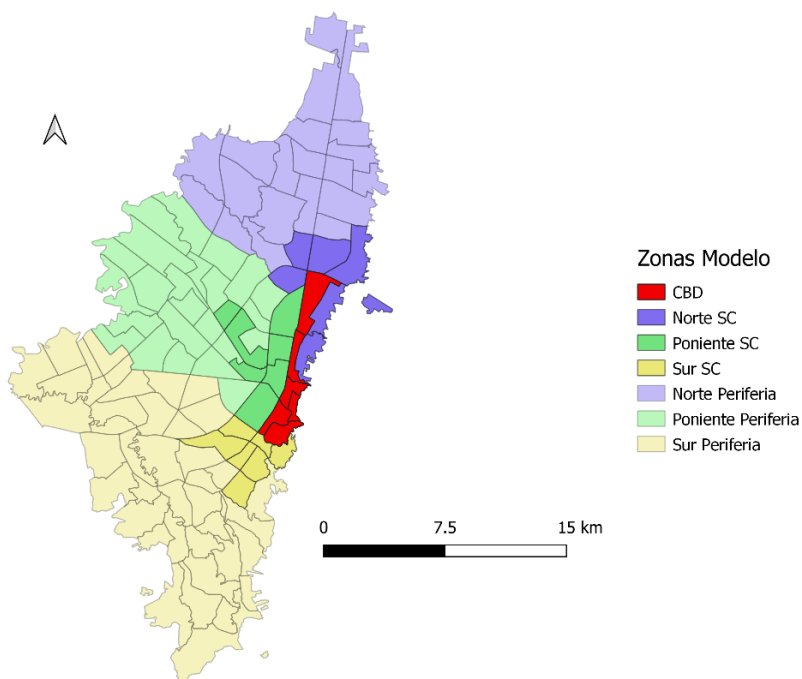


Figura 4.40: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Bogotá 2019.



### Zonas modelo basado en centros, Bogotá



**Figura 4.41: Zonas modelo basado en centros, Bogotá.**

**Tabla 4.11: Matriz OD entre zonas modelo, Bogotá 2005**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		8,870	3,027	3,842	3,498	2,725	3,066	862	25,890
Norte	Periferia	49,355	110,903	30,740	33,678	24,014	9,118	3,718	261,527
	Subcentro	13,103	11,065	12,698	5,327	4,185	4,145	851	51,374
Poniente	Periferia	37,791	18,909	16,409	77,799	24,763	19,174	4,857	199,702
	Subcentro	7,555	4,015	4,021	5,713	10,231	5,799	1,247	38,581
Sur	Periferia	62,983	24,020	27,870	55,678	46,559	145,653	21,770	384,534
	Subcentro	13,744	3,281	3,190	4,517	5,499	6,746	9,382	46,359
Total		193,401	175,220	98,771	186,210	117,977	193,701	42,687	1,007,967

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.12: Matriz OD entre zonas modelo, Bogotá 2011**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		8,372	1,130	2,099	1,539	3,302	1,634	930	19,007
Norte	Periferia	26,764	171,474	19,366	21,404	20,825	7,116	3,022	269,971
	Subcentro	7,516	8,017	14,483	2,852	2,768	1,372	524	37,533
Poniente	Periferia	22,581	17,924	9,312	122,084	17,308	15,939	2,630	207,779
	Subcentro	7,178	2,180	2,169	3,462	14,574	1,512	1,398	32,474
Sur	Periferia	39,864	14,387	13,598	34,640	34,203	382,931	19,465	539,087
	Subcentro	9,319	1,150	1,588	2,691	5,034	9,148	32,203	61,133
Total		121,593	216,263	62,615	188,672	98,014	419,653	60,172	1,166,983

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.13: Matriz OD entre zonas modelo, Bogotá 2015**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		12,096	2,872	2,851	4,901	3,920	3,903	3,818	34,361
Norte	Periferia	46,590	152,177	29,440	40,150	29,456	14,647	5,215	317,676
	Subcentro	12,300	4,685	16,406	9,840	5,145	2,168	194	50,739
Poniente	Periferia	31,376	24,741	20,530	113,940	25,329	22,501	5,195	243,611
	Subcentro	9,863	4,875	5,125	10,757	21,092	4,302	1,790	57,803
Sur	Periferia	60,922	33,002	29,359	78,456	47,724	299,916	31,933	581,313
	Subcentro	12,357	3,989	4,155	5,965	7,510	11,121	14,968	60,065
Total		185,504	226,340	107,866	264,010	140,176	358,559	63,113	1,345,568

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.14: Matriz OD entre zonas modelo, Bogotá 2019.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		7,406	2,159	2,873	2,041	2,791	5,691	1,484	24,446
Norte	Periferia	33,533	160,105	30,157	25,223	18,796	13,271	5,601	286,685
	Subcentro	7,998	7,600	9,667	3,898	2,936	3,252	816	36,168
Poniente	Periferia	27,820	23,029	13,352	107,702	20,348	26,532	5,337	224,121
	Subcentro	5,120	2,363	2,170	4,904	10,835	4,921	2,563	32,876
Sur	Periferia	51,785	33,009	26,275	62,628	40,003	362,942	30,156	606,799
	Subcentro	7,322	2,305	1,930	4,512	4,426	10,840	23,998	55,332
Total		140,984	230,570	86,425	210,909	100,135	427,449	69,955	1,266,427

+ Viajes  - Viajes

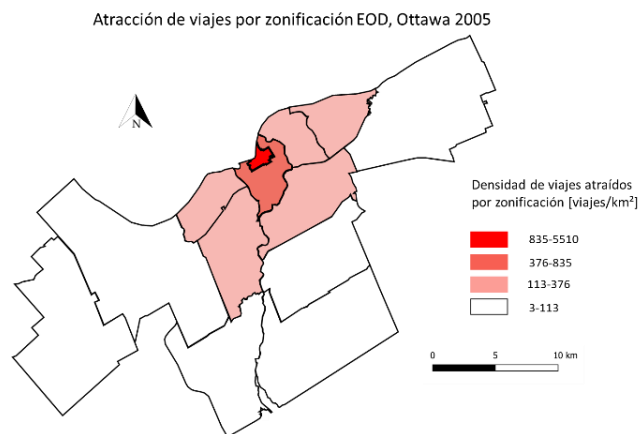
## 4.2.8 Ottawa

En Ottawa la hora punta mañana comprende entre las 6:30 y 8:59 horas, la atracción de viajes por zonificación EOD se presenta en la Figura 4.42 para el año 2005 y la Figura 4.43 para el año 2011.

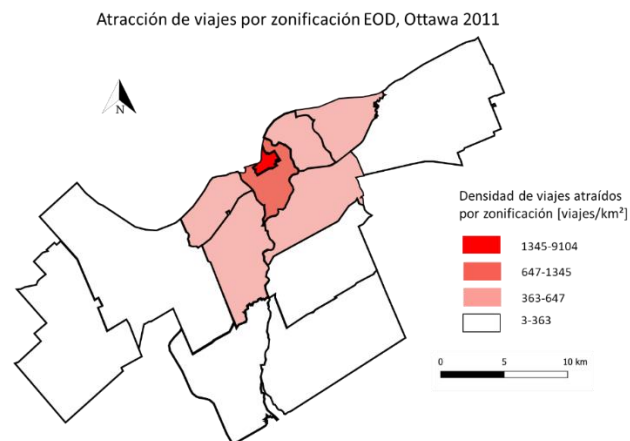
En Ottawa el CBD está formado por la zona denominada Ottawa Center la cual es la única que pertenece a la clase con mayor densidad atractiva. El subcentro está definido en base a la segunda zona de mayor atraktividad (Ottawa Inner Area) que presenta la característica de estar rodeando al centro. Lo anterior implica que no es posible realizar una división de las zonas del subcentro y, por lo tanto, es imposible obtener todos los parámetros estudiados por Fielbaum et al, 2016. Sin embargo, algunos de ellos si se pueden encontrar, como el parámetro  $\alpha$ .

Cabe mencionar que no se consideran las zonas definidas como rurales, debido a que tienen muy baja actividad de viajes. Aún sin considerar esta zona, Ottawa es la ciudad que tiene la densidad de viajes menor dentro de la muestra considerada.

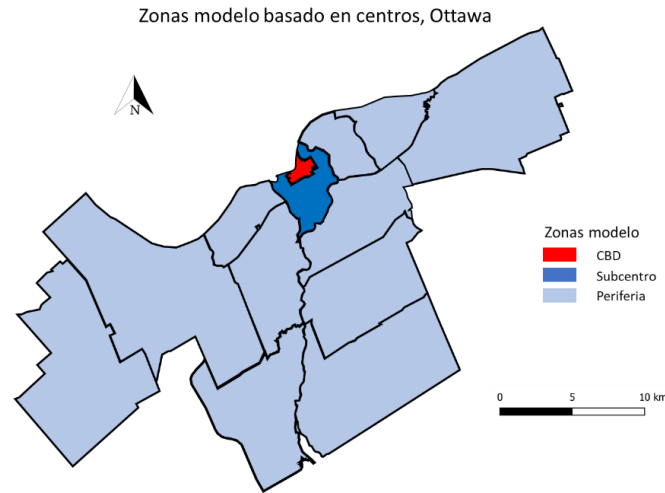
La zonificación final para este estudio se presenta en la Figura 4.44. La matriz de viajes entre CBD, subcentro y periferia se presenta en las Tablas 4.15 y 4.16.



**Figura 4.42: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Ottawa 2005.**



**Figura 4.43: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Ottawa 2011**



**Figura 4.44: Zonas modelo basado en centros, Ottawa**

**Tabla 4.15: Matriz OD zonas modelo, Ottawa 2005**

Origen/Destino	CBD	Subcentro	Periferia	Total
CBD	1.100	700	1.350	3.150
Subcentro	5.050	7.600	8.200	20.850
Periferia	20.000	17.750	124.450	162.200
Total	26.150	26.050	134.000	186.200

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.16: matriz OD zonas modelo, Ottawa 2011.**

Origen/Destino	CBD	Subcentro	Periferia	Total
CBD	1.750	600	1.350	3.700
Subcentro	4.700	8.600	8.300	21.600
Periferia	20.950	17.400	148.500	186.850
Total	27.400	26.600	158.150	212.150

+ Viajes  - Viajes

## 4.2.9 Montreal

El periodo punta mañana para Montreal es de 5:00 a 8:59 horas siendo el horario de mayor longitud en este estudio. A partir de la densidad de viajes atraídos promedio por hora en el periodo punta de la mañana para los tres años considerados (ver Figuras 4.45 a 4.47) se identifica que el CBD está constituido por la villa central, que posee una muy preponderante atractividad relativa a las otras zonas (clase de mayor densidad atractiva) y por la zona correspondiente a la periferia de la villa central (segunda clase de mayor densidad atractiva), que también presenta una alta atractividad de viajes. Posteriormente, los subcentros se constituyen por las zonas correspondientes a la tercera clase de mayor densidad atractiva de viajes para alguna de los años considerados y además por las zonas adyacentes al CBD. Los subcentros están compuestos por Côte-des-Neiges, Plateau Mont-Royal, Villeray, Rosemont, Outremont, Westmount ya que pertenecen a la tercera clase atractiva en alguno de los 3 años analizados y las Zonas Montreal:Sud-Ouest y Sud-Est por ser adyacentes al CBD. Como consecuencia de la ubicación del CBD y tamaño de las zonas base

se divide la ciudad en tres macrozonas, definiendo un subcentro norte, poniente y sur. Las periferias se asignan al centro del subcentro más cercano. Finalmente, las zonas finales para este estudio se presentan en la Figura 4.48.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Montreal 1998

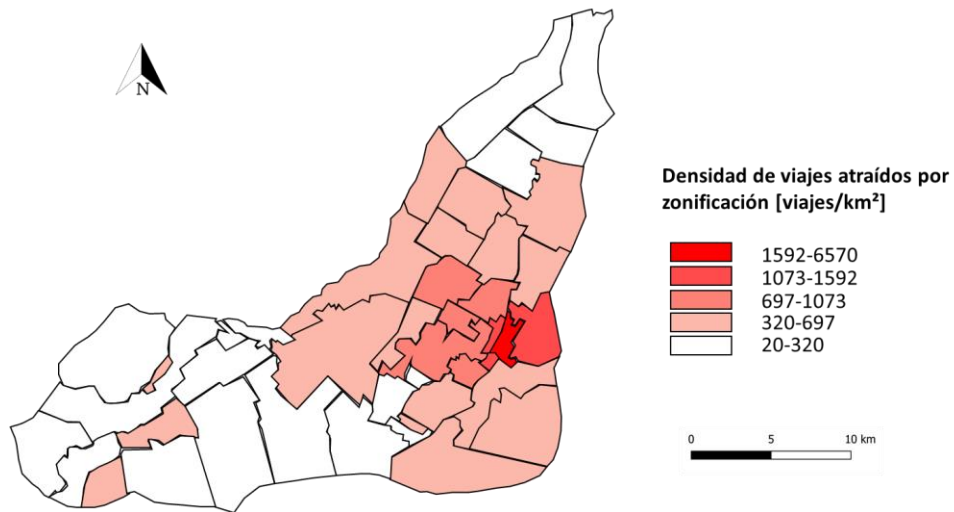


Figura 4.45: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Montreal 1998.

Atracción de viajes por zonificación EOD, Montreal 2008

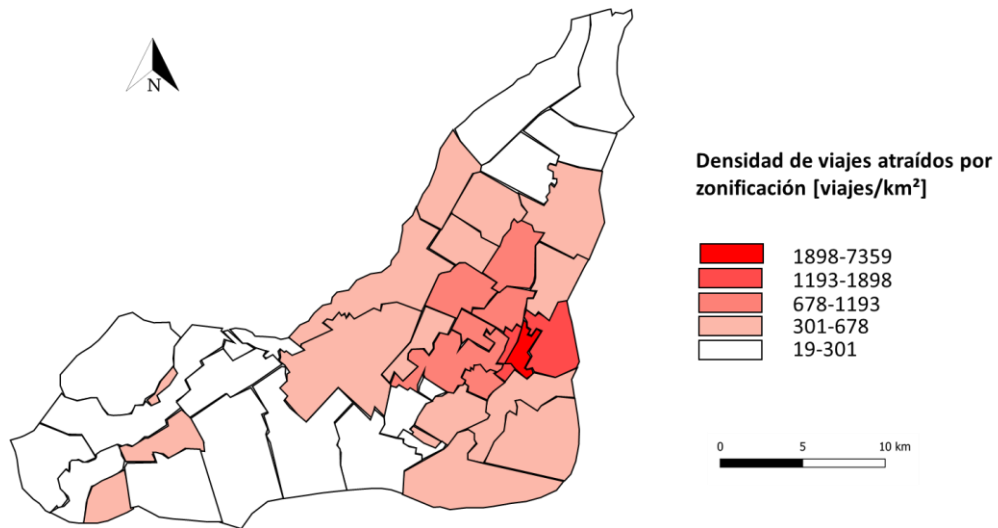
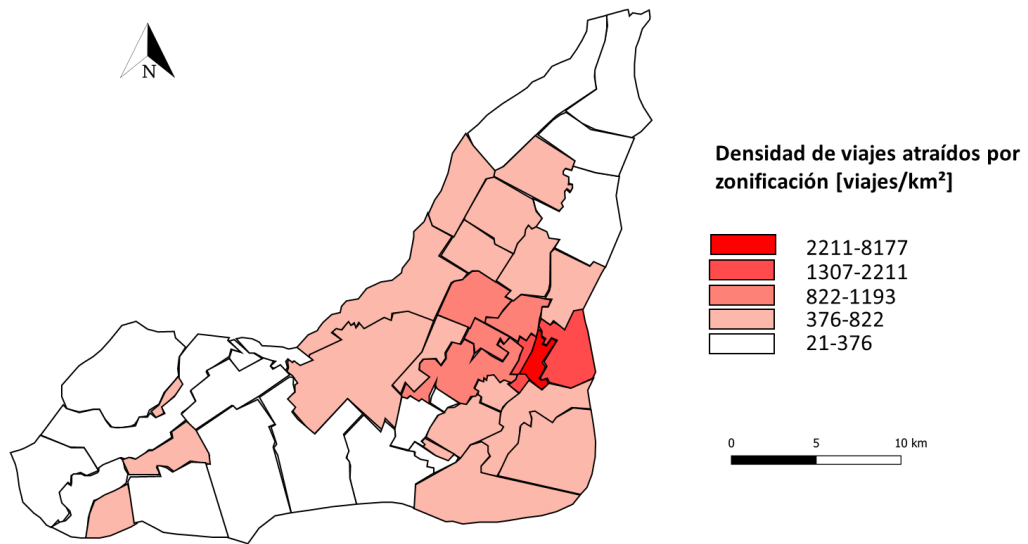


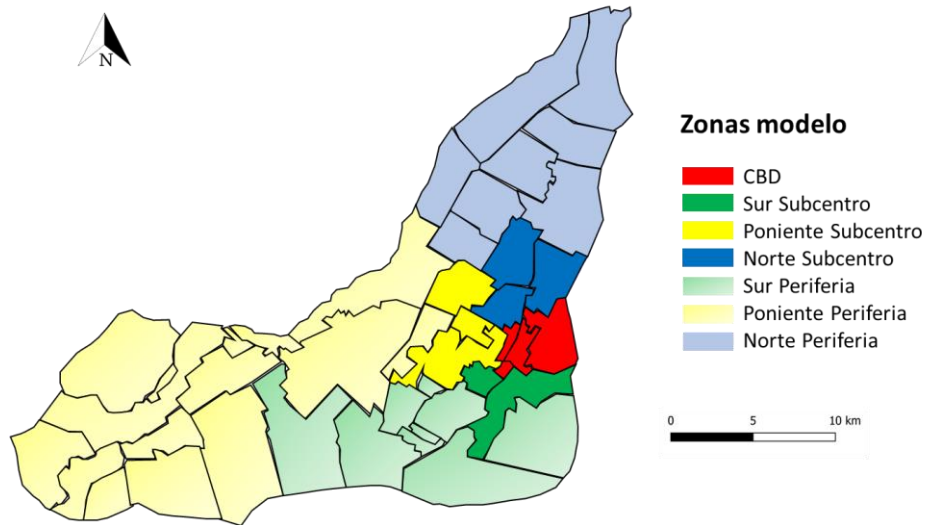
Figura 4.46: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Montreal 2008

### Atracción de viajes por zonificación EOD, Montreal 2013



**Figura 4.47: Densidad de viajes atraídos por zonificación EOD, Montreal 2013.**

### Zonas modelo basado en centros, Montreal



**Figura 4.48: Zonas modelo basado en centros, Montreal.**

**Tabla 4.17: Matriz OD zonas modelo, Montreal 1998.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		3,720	395	749	671	1,069	504	489	7,598
Norte	Periferia	7,025	28,416	5,524	4,456	3,982	1,193	647	51,244
	Subcentro	6,008	3,131	10,016	2,085	2,965	782	473	25,461
Poniente	Periferia	6,967	1,955	1,432	33,775	4,780	4,352	839	54,099
	Subcentro	5,113	1,483	2,271	4,366	11,719	1,798	810	27,561
Sur	Periferia	6,465	731	825	4,137	3,402	17,337	1,982	34,879
	Subcentro	2,206	222	391	1,046	1,002	1,443	3,554	9,863
Total		37,504	36,333	21,208	50,537	28,920	27,409	8,794	210,705

+ Viajes  - Viajes

**Tabla 4.18: Matriz OD zonas modelo, Montreal 2008.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		4,118	423	923	596	1,031	610	476	8,177
Norte	Periferia	7,096	29,708	6,003	4,215	3,495	1,220	544	52,282
	Subcentro	7,404	2,895	10,307	1,959	3,677	811	491	27,544
Poniente	Periferia	8,478	2,151	1,595	34,891	5,463	3,979	638	57,195
	Subcentro	5,779	1,664	2,720	3,845	12,800	1,795	752	29,354
Sur	Periferia	7,489	820	1,231	4,014	4,078	17,469	1,961	37,062
	Subcentro	2,638	278	522	836	1,213	1,673	3,513	10,674
Total		43,003	37,939	23,301	50,356	31,759	27,558	8,375	222,290

+ Viajes  - Viajes

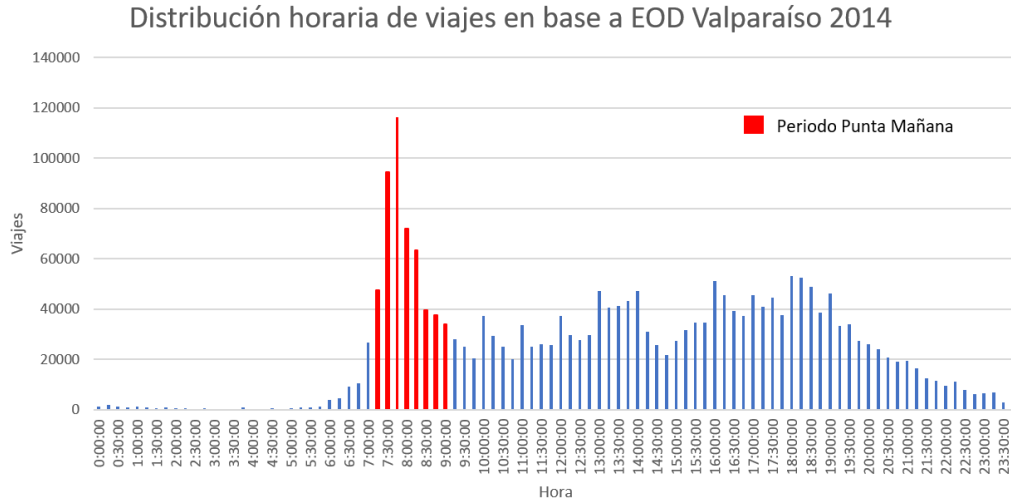
**Tabla 4.19: Matriz OD zonas Modelo, Montreal 2013.**

Origen/Destino		CBD	Norte		Poniente		Sur		Total
			Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	Periferia	Subcentro	
CBD		5,174	459	1,096	801	1,156	660	534	9,879
Norte	Periferia	7,668	32,643	6,607	5,296	3,904	1,537	467	58,123
	Subcentro	8,243	3,120	11,380	2,033	3,674	1,019	598	30,066
Poniente	Periferia	9,625	2,461	1,849	40,227	5,752	4,796	841	65,551
	Subcentro	6,770	1,637	2,689	4,404	14,633	2,174	953	33,260
Sur	Periferia	7,906	820	1,176	4,722	4,652	19,948	2,356	41,581
	Subcentro	3,289	349	533	746	1,487	2,151	3,544	12,100
Total		48,675	41,490	25,330	58,230	35,258	32,285	9,293	250,561

+ Viajes  - Viajes

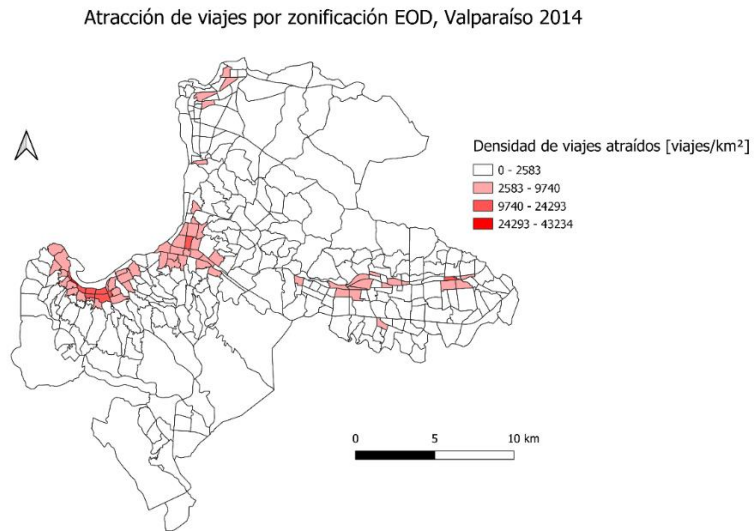
## 4.2.10 Gran Valparaíso

El periodo punta hallado para el gran Valparaíso en base a la EOD del año 2014 considerando la hora promedio de los viajes es entre las 7:15 y las 9:14 horas (ver Figura 4.49). Considerando los viajes entre este intervalo horario y calculando la densidad de viajes atraídos para zonificación EOD se obtienen gráfica de atracción de viajes expuesta en la Figura 4.50.



**Figura 4.49: Distribución horaria de viajes en base a EOD, Gran Valparaíso 2014.**

A partir de la Figura 4.50 es posible apreciar que el gran Valparaíso presenta una concentración de viajes en torno a dos centros, uno en la comuna de Valparaíso y otro en la comuna de Viña del Mar, por tal razón este conglomerado urbano es bicéntrico. La presencia de estos dos CBD genera que esta ciudad no pueda ser representada según el modelo de centros de Fielbaum et al. (2017).



**Figura 4.50: Densidad de viajes por zonificación EOD, Gran Valparaíso 2014.**

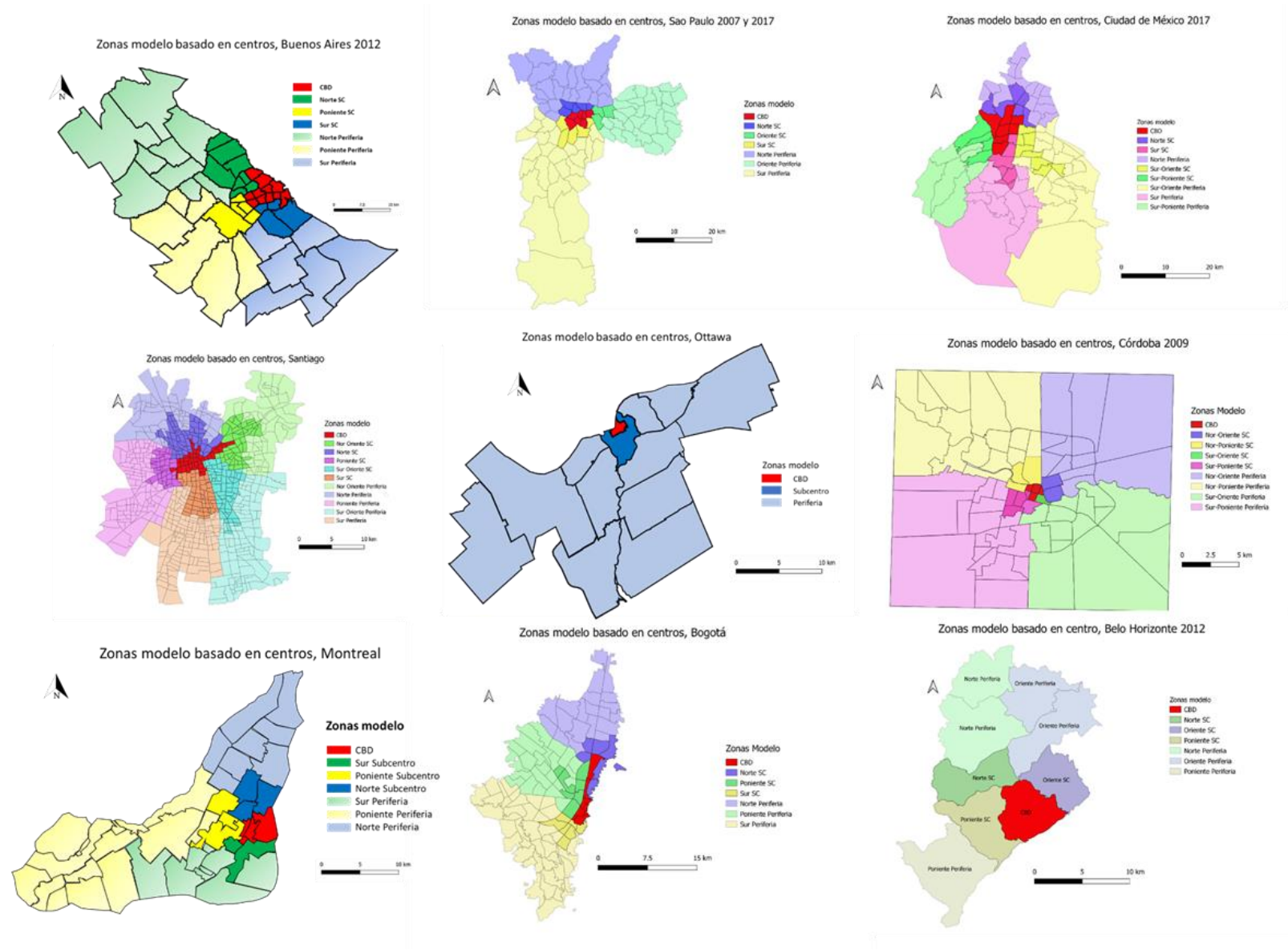


### 4.3 Síntesis

En este capítulo se describe la metodología aplicada para la representación de las ciudades con fundamento en el modelo basado en centros. Este procedimiento se realiza a partir de la atractividad y ubicación de cada una de las zonas base de las encuestas de movilidad de las ciudades estudiadas. La representación se construye en dos etapas; en la primera se define si las zonificaciones base pertenecen a CBD, subcentros o periferias, lo que se realiza según criterios de homogeneidad de la atractividad de viajes de las zonas y adyacencia entre zonas. Para poder aplicar los criterios se realiza una clasificación de las zonas en base a la densidad de viajes atraídos por medio del método de Jenks y a partir de este resultado se define el CBD para cada ciudad en base a la agrupación de las zonas de mayor atracción y que además cumplan con ser contiguas entre sí. Por su parte los subcentros son el siguiente grupo de mayor atracción de viajes, y que cumple con ser adyacente al CBD y contiguo entre sí, es decir, el conjunto de subcentros rodea al CBD. Finalmente, las periferias son el resto de la ciudad.

La segunda etapa corresponde a la definición de macrozonas, es decir cada uno de los subcentros con su respectiva periferia. Esto se realiza a partir de los límites obtenidos en la etapa 1 y de la aplicación conjunta de cuatro criterios: tamaños comparables de macrozonas; adyacencia entre subcentro y periferia; consideración de accidentes geográficos que pueden dificultar el acceso entre periferias y subcentros; consideración de pertenencia administrativa de las zonas EOD. La ubicación del CBD (centro o borde de la ciudad) y el tamaño de las zonas EOD también juegan un papel importante en la construcción de las macrozonas.

Los resultados de aplicar el procedimiento se presentan en la Figura 4.51. Allí se muestra que el número de macrozonas varía entre uno (Ottawa) y cinco (Santiago). En general las ciudades con un CBD ubicado en el centro están descritas en términos de entre cuatro y cinco macrozonas y las que tienen el CBD en un borde se representaron mediante tres macrozonas; Sao Paulo y Ottawa son casos especiales que se explican por otras características. Cabe recordar que el Gran Valparaíso no pudo ser representado mediante el modelo de centros con un CBD. A esto se añade que el tamaño relativo de las zonas base de la ciudad de Belo Horizonte es considerablemente mayor que el del resto de las ciudades, lo que puede causar distorsiones en la descripción de su estructura urbana basada en viajes.



**Figura 4.51: Representación final de zonas modelo basado en centros para cada ciudad.**

## 5 Estructura urbana y análisis paramétrico de las ciudades

En este capítulo se construyen y exponen variables e índices que sintetizan la estructura urbana de las ciudades descritas a partir de la definición de centros realizada en el capítulo 4, y se calculan los parámetros utilizados en la representación paramétrica de ellas en el modelo de Fielbaum et al. (2017), mostrando su evolución con el número de viajes totales realizados. Para efectos de este capítulo nos referiremos al CBD, cada subcentro y cada periferia como *zonas* de cada ciudad descrita sintéticamente.

Se definen variables e índices descriptivos de estructura urbana que se basan en el poder atractivo de los centros. La definición de índices se realiza en base a los coeficientes definidos por Hajrasouliha y Hamidi (2017). La diferencia que existe entre los coeficientes de estos autores y los índices de este trabajo es que los primeros consideran a la cantidad de empleo por zona como variable principal y en el presente trabajo se considera la cantidad de viajes atraídos como variable principal. Estos índices se calculan considerando todos los viajes y también a partir de la omisión de los viajes intrazonales.

Luego se presentan los parámetros considerados por Fielbaum et al. (2017), los cuales además de indicar monocentrismo y policentrismo tienen un parámetro asociado a dispersión. La diferencia importante entre los índices mencionados anteriormente y estos parámetros es que estos no consideran los viajes intrazonales y solo consideran los viajes centrípetos, es decir los viajes con sentido hacia el CBD de la ciudad (desde periferia a CBD y subcentros y desde los subcentros al CBD) ya que son los de mayor presencia en el periodo punta mañana. Finalmente, el resultado de la evolución de estos parámetros con los viajes se vincula con el resultado de las estructuras de líneas de transporte público óptimas en función de estos parámetros y la demanda de viajes en la ciudad.

## 5.1 Variables descriptivas de estructura urbana y viajes de la ciudad

En esta sección se presentan las variables a partir de las cuales es posible describir la estructura urbana de la ciudad y que fueron obtenidas a partir del estudio y definición de centros (zonas) para cada ciudad-periodo. La definición de estas variables se presenta en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1: Variables asociadas a volumen y densidad de viajes.**

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
<i>Y total</i>	Viajes totales registrados en la ciudad por hora en el periodo punta mañana.
<i>Y SIZ</i>	Viajes totales ( <i>Y total</i> ) sin considerar los viajes intrazonales, es decir, descuenta los viajes de la diagonal de la matriz Origen Destino.
<i>Y CBD</i>	Viajes por hora en punta mañana con destino al CBD.
<i>Y CBD OZ</i>	<i>Y CBD</i> sin considerar los viajes originados en un subcentro con destino el mismo.
<i>Y SC</i>	Suma de viajes con destino a algún subcentro por hora en el periodo punta mañana.
<i>Y SC OZ</i>	<i>Y SC</i> sin considerar los viajes originados en un subcentro con destino el mismo.
<i>Y modelo</i>	Viajes considerados en Fielbaum et al. (2017), es decir, los viajes originados en periferia a CBD y subcentros, y los viajes originados en subcentros hacia otros subcentros y CBD por hora en periodo punta mañana.
<i>dv ciudad</i>	densidad de viajes atraídos promedio por hora considerando toda la ciudad. Es decir, la razón entre viajes atraídos totales por hora y la superficie total de la ciudad.
<i>dv CBD</i>	densidad de viajes atraídos promedio del CBD, es decir la razón entre viajes atraídos por el CBD por hora y la superficie total del CBD.
<i>dv SC</i>	densidad de viajes atraídos promedio de los subcentros, es decir la razón entre viajes atraídos por los subcentros por hora y la superficie total de los subcentros.

Definidas estas variables, en la Tabla 5.2 se presentan los valores asociados a volúmenes de viajes. A partir de esta tabla es posible apreciar que la ciudad que más genera viajes por hora es Sao Paulo con una magnitud de casi 2,5 millones para la data más actual, mientras que la ciudad que presenta el menor registro por hora es Ottawa, la cual presenta un total de casi 150 mil viajes para el registro más antiguo. Lo anterior implica que el volumen de viajes considerado en este trabajo estará ente los 148.960 y 2.431.571 viajes por hora. Es posible observar también que la variable *Y modelo* (sin viajes intrazonales ni centrífugos) considera una fracción menor al 50% de los viajes totales para todas las ciudades y que no necesariamente las ciudades con mayor *Y total* presentan un mayor *Y modelo*. Las columnas *Y CBD* e *Y SC* muestran los viajes atraídos por esos centros, que son la base para calcular los índices de monocentrismo y policentrismo. Las variables *Y CBD OZ* e *Y SC OZ* omiten los viajes intrazonales permitiendo observar los viajes que atraen los centros desde otras zonas. Los valores de la columna *Y CBD* muestran que es el de Buenos Aires el que atrae mayor cantidad de viajes, lo que cambia de manera importante al no considerar los viajes intrazonales (observando *Y CBD OZ*); esto se menciona para hacer notar que existen diferencias considerables entre las variables que consideran viajes intrazonales y las que no lo hacen.

**Tabla 5.2: Volúmenes de viajes para cada ciudad**

Ciudad	País	Año	Y total	Y modelo	Y CBD	Y CBD OZ	Y SC	Y SC OZ
Sao Paulo	Brasil	2017	2,431,571	489,901	234,269	189,260	435,513	324,702
Sao Paulo	Brasil	2007	2,171,897	475,295	225,369	190,770	375,122	304,662
Sao Paulo	Brasil	1987	1,802,974	428,829	281,399	229,192	316,225	222,964
Sao Paulo	Brasil	1977	871,589	359,706	275,030	192,390	408,499	204,942
Buenos Aires	Argentina	2012	1,929,605	262,764	433,585	150,485	583,864	204,605
Ciudad de México	México	2017	1,666,537	445,815	337,354	236,785	466,418	240,262
Santiago	Chile	2012	1,454,416	527,259	294,937	239,467	502,465	310,281
Santiago	Chile	2001	1,132,128	430,757	248,341	213,490	382,419	247,266
Bogotá	Colombia	2015	1,345,568	421,509	185,504	173,408	311,155	258,690
Bogotá	Colombia	2019	1,266,427	338,445	140,984	133,577	256,515	212,015
Bogotá	Colombia	2011	1,166,983	266,431	121,593	113,221	220,801	159,541
Bogotá	Colombia	2005	1,007,967	404,224	193,401	184,531	259,434	227,122
Belo Horizonte	Brasil	2012	623,744	181,849	193,262	121,841	176,128	71,745
Montreal	Canadá	2013	250,561	80,507	48,675	43,501	69,881	40,324
Montreal	Canadá	2008	222,290	72,747	43,003	38,884	63,435	36,815
Montreal	Canadá	1998	210,705	64,719	37,504	33,784	58,921	33,633
Córdoba	Argentina	2009	226,478	80,432	44,281	42,441	49,928	41,083
Ottawa	Canadá	2011	169,720	39,027	21,920	20,520	21,280	-
Ottawa	Canadá	2005	148,960	38,293	20,920	20,040	20,840	-

En la Tabla 5.3 se presentan variables asociadas a las áreas de las ciudades y zonas construidas. La superficie mayor de este estudio es la considerada para el Gran Buenos Aires con 3.683 km<sup>2</sup> y la menor la de Belo Horizonte con 333 km<sup>2</sup>. Por otro lado, se aprecia que el tamaño relativo del CBD de Belo Horizonte se escapa de los valores que registran las otras ciudades, siendo más de 2.6 veces mayor que el de la ciudad que le sigue en magnitud; esto se debe a que la zonificación base de esta ciudad es muy agregada y el CBD está sobredimensionado. Se aprecia también que las periferias son las zonas de mayor tamaño en todas las ciudades, siendo al menos un 75% del tamaño de la ciudad para todos los casos, salvo el caso de Belo Horizonte que presenta problemas en la zonificación base.

Finalmente, en la Tabla 5.4 se presenta el volumen de viajes atraídos por unidad de superficie para cada ciudad a nivel de CBD, subcentros y ciudad completa. Por construcción, la densidad de viajes al CBD es la mayor, seguida por la de los subcentros para todas las ciudades (a excepción de Belo Horizonte por el problema de tamaño en la zonificación base ya detectado). Por último, fijando la mirada en las ciudades de menores viajes por hora, se observa que estas presentan una mayor razón de viajes entre las densidades CBD/SC y CBD/total.

**Tabla 5.3: Superficies totales y relativas de las ciudades, centros y zonas.**

Ciudad	País	Año	Área Total [km <sup>2</sup> ]	Área CBD [km <sup>2</sup> ]	Zonas	% Área CBD	% Área Subcentros	% Área Periferias
Sao Paulo	Brasil	2017	1,524.54	24.63	3	1.62	5.61	92.78
Sao Paulo	Brasil	2007	1,524.54	24.63	3	1.62	5.61	92.78
Sao Paulo	Brasil	1987	1,499.88	27.60	3	1.84	5.26	92.90
Sao Paulo	Brasil	1977	1,499.88	27.60	3	1.84	5.26	92.90
Buenos Aires	Argentina	2012	3,682.97	105.43	3	2.86	12.18	84.96
Ciudad de México	México	2017	1,494.63	53.38	5	3.57	12.37	84.06
Santiago	Chile	2012	696.58	17.77	5	2.55	21.18	76.27
Santiago	Chile	2001	696.58	17.77	5	2.55	21.18	76.27
Bogotá	Colombia	2019	413.34	11.91	3	2.88	14.00	83.11
Bogotá	Colombia	2015	413.34	11.91	3	2.88	14.00	83.11
Bogotá	Colombia	2011	413.34	11.91	3	2.88	14.00	83.11
Bogotá	Colombia	2005	413.34	11.91	3	2.88	14.00	83.11
Belo Horizonte	Brasil	2012	332.67	31.53	3	9.48	30.10	60.40
Montreal	Canadá	2013	515.30	12.30	3	2.39	14.60	83.00
Montreal	Canadá	2008	515.30	12.30	3	2.39	14.60	83.00
Montreal	Canadá	1998	515.30	12.30	3	2.39	14.60	83.00
Córdoba	Argentina	2009	574.53	1.76	4	0.31	3.20	96.50
Ottawa	Canadá	2011	622.30	2.50	-	0.40	2.00	97.00
Ottawa	Canadá	2005	622.30	2.50	-	0.40	2.00	97.00

**Tabla 5.4: Densidades absolutas y relativas de viajes atraídos por tipo de centro.**

Ciudad	País	Año	dv total [viajes/km <sup>2</sup> ]	dv CBD [viajes/km <sup>2</sup> ]	dv SC [viajes/km <sup>2</sup> ]	Razón de densidades CBD/SC	Razón de densidades CBD/ciudad
Sao Paulo	Brasil	2017	1,594.95	9,509.97	5,094.67	1.87	5.96
Sao Paulo	Brasil	2007	1,424.62	9,148.69	4,388.21	2.08	6.42
Sao Paulo	Brasil	1987	1,202.08	10,195.60	4,009.95	2.54	8.48
Sao Paulo	Brasil	1977	581.11	9,964.87	5,180.05	1.92	17.15
Buenos Aires	Argentina	2012	523.93	4,112.54	1,301.38	3.16	7.85
Ciudad de México	México	2017	1,115.02	6,320.45	2,523.72	2.50	5.67
Santiago	Chile	2012	2,087.92	16,593.81	3,405.40	4.87	7.95
Santiago	Chile	2001	1,625.26	13,972.22	2,591.80	5.39	8.60
Bogotá	Colombia	2019	3,063.91	11,838.98	4,431.56	2.67	3.86
Bogotá	Colombia	2015	3,255.38	15,577.55	5,375.50	2.90	4.79
Bogotá	Colombia	2011	2,823.32	10,210.68	3,814.56	2.68	3.62
Bogotá	Colombia	2005	2,438.61	16,240.68	4,481.98	3.62	6.66
Belo Horizonte	Brasil	2012	1,874.96	6,129.47	1,758.92	3.48	3.27
Montreal	Canadá	2013	486.24	3,957.28	928.85	4.26	8.14
Montreal	Canadá	2008	431.38	3,496.15	843.17	4.15	8.10
Montreal	Canadá	1998	408.90	3,049.11	783.18	3.89	7.46
Córdoba	Argentina	2009	394.20	15,741.58	2,715.69	5.80	39.93
Ottawa	Canadá	2011	272.73	8,768.00	1,709.79	5.13	32.15
Ottawa	Canadá	2005	239.37	8,368.00	1,674.43	5.00	34.96

## 5.2 Índices de monocentrismo y policentrismo de las ciudades

En esta sección se presenta el grupo de indicadores generales de estructura urbana basados en la importancia del CBD y subcentros considerando a la cantidad de viajes atraídos por zona como la variable principal.

### 5.2.1 Índices de monocentrismo

Para estudiar el monocentrismo de la ciudad desde un punto de vista de la distribución de viajes de manera agregada se estudian los indicadores de la Tabla 5.5, basados en Hajrasouliha y Hamidi (2017), pero utilizando viajes en vez de empleo. El primer índice denominado poder del CBD, indica la razón de viajes que atrae el CBD frente al resto de la ciudad, mientras que el grado de monocentrismo enfrenta la atractividad del CBD a la atractividad de las otras zonas de importancia atractiva (subcentros) y finalmente la nuclearidad del CBD desafía la atractividad del CBD con la de los subcentros, pero por unidad de superficie.

**Tabla 5.5: Indicadores de Monocentrismo**

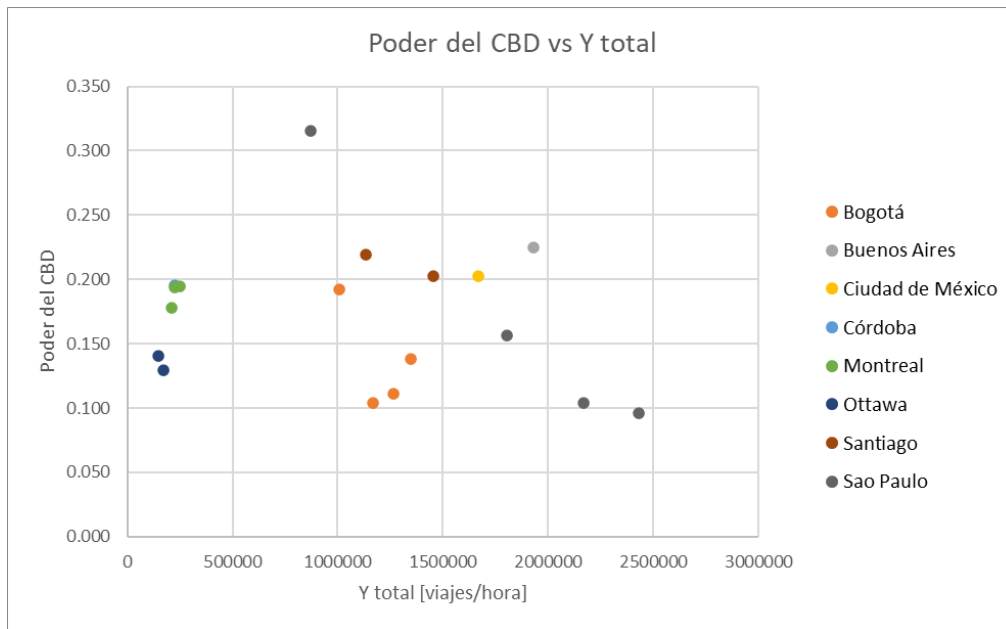
<b>Índice</b>	<b>Descripción</b>
<b>Poder del CBD</b>	Razón entre viajes atraídos por el CBD y los viajes totales
<b>Grado de monocentrismo (I)</b>	Razón entre viajes atraídos por el CBD y viajes atraídos por CBD + viajes atraídos subcentros
<b>Grado de monocentrismo (II)</b>	Razón entre viajes atraídos por el CBD y viajes atraídos por los subcentros
<b>Nuclearidad del CBD (I)</b>	Razón entre la densidad de viajes atraídos por el CBD y la densidad de viajes de la ciudad
<b>Nuclearidad del CBD (II)</b>	Razón entre la densidad de viajes atraídos por el CBD y la densidad de viajes atraídos por los subcentros

Los valores obtenidos para cada ciudad-periodo son los presentados en la Tabla 5.6, en tanto que en las Figuras 5.1 a 5.5 se grafica la variación de los índices con el volumen total de viajes donde, por las razones expuestas antes (anomalía del tamaño relativo del CBD), no se consideró la ciudad de Belo Horizonte.

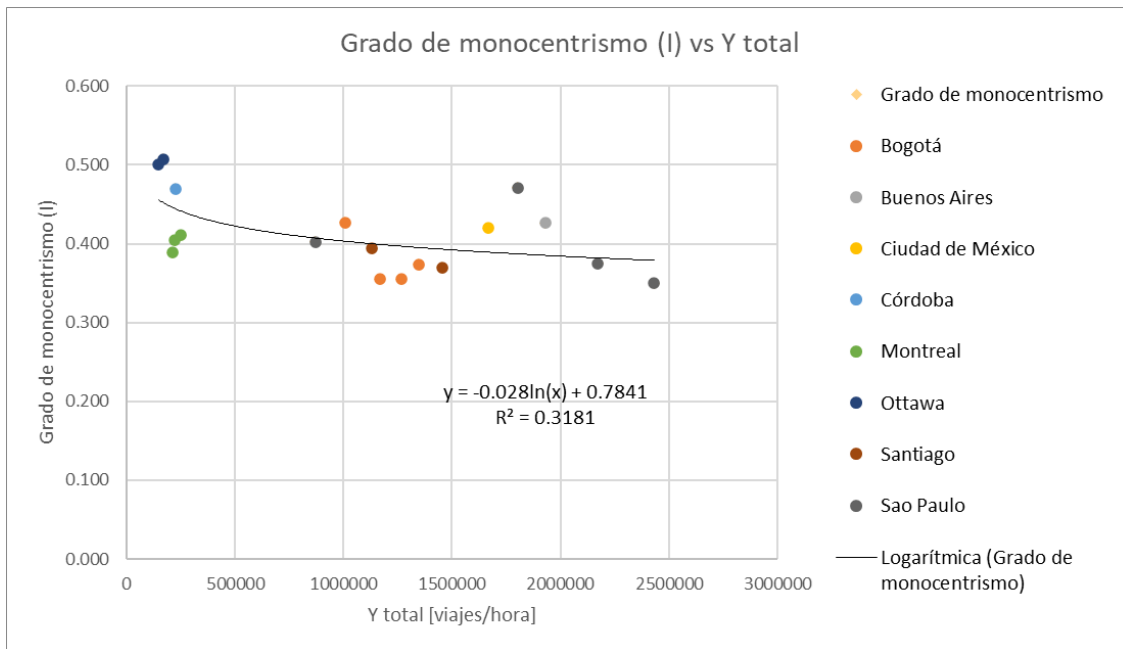
**Tabla 5.6: Valores de indicadores de monocentrismo por ciudad-año.**

<b>Ciudad</b>	<b>País</b>	<b>Año</b>	<b>Poder del CBD</b>	<b>Grado de monocentrismo</b>		<b>Nuclearidad del CBD</b>	
				<b>(I)</b>	<b>(II)</b>	<b>(I)</b>	<b>(II)</b>
Sao Paulo	Brasil	2017	0.096	0.350	0.538	5.963	1.867
Sao Paulo	Brasil	2007	0.104	0.375	0.601	6.422	2.085
Sao Paulo	Brasil	1987	0.156	0.471	0.890	8.482	2.543
Sao Paulo	Brasil	1977	0.316	0.402	0.673	17.148	1.924
Buenos Aires	Argentina	2012	0.225	0.426	0.743	7.849	3.160
Ciudad de México	México	2017	0.202	0.420	0.723	5.668	2.504
Santiago	Chile	2012	0.203	0.370	0.587	7.948	4.873
Santiago	Chile	2001	0.219	0.394	0.649	8.597	5.391
Bogotá	Colombia	2019	0.111	0.355	0.550	3.864	2.672
Bogotá	Colombia	2015	0.138	0.374	0.596	4.785	2.898
Bogotá	Colombia	2011	0.104	0.355	0.551	3.617	2.677
Bogotá	Colombia	2005	0.192	0.427	0.745	6.660	3.624
Belo Horizonte	Brasil	2012	0.310	0.523	1.097	3.269	3.485
Montreal	Canadá	2013	0.194	0.411	0.697	8.138	4.260
Montreal	Canadá	2008	0.193	0.404	0.678	8.105	4.146
Montreal	Canadá	1998	0.178	0.389	0.637	7.457	3.893
Córdoba	Argentina	2009	0.196	0.470	0.887	39.933	5.797
Ottawa	Canadá	2011	0.129	0.507	1.030	32.149	5.128
Ottawa	Canadá	2005	0.140	0.501	1.004	34.958	4.998



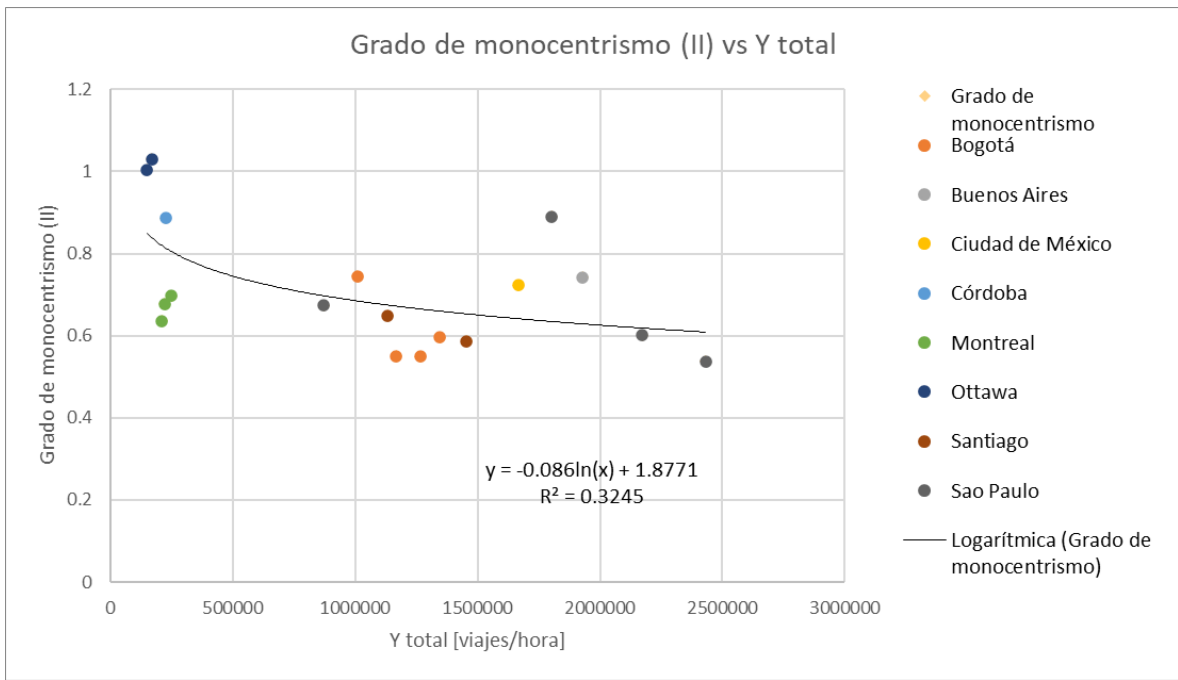


**Figura 5.1: Gráfico de poder del CBD vs viajes totales.**

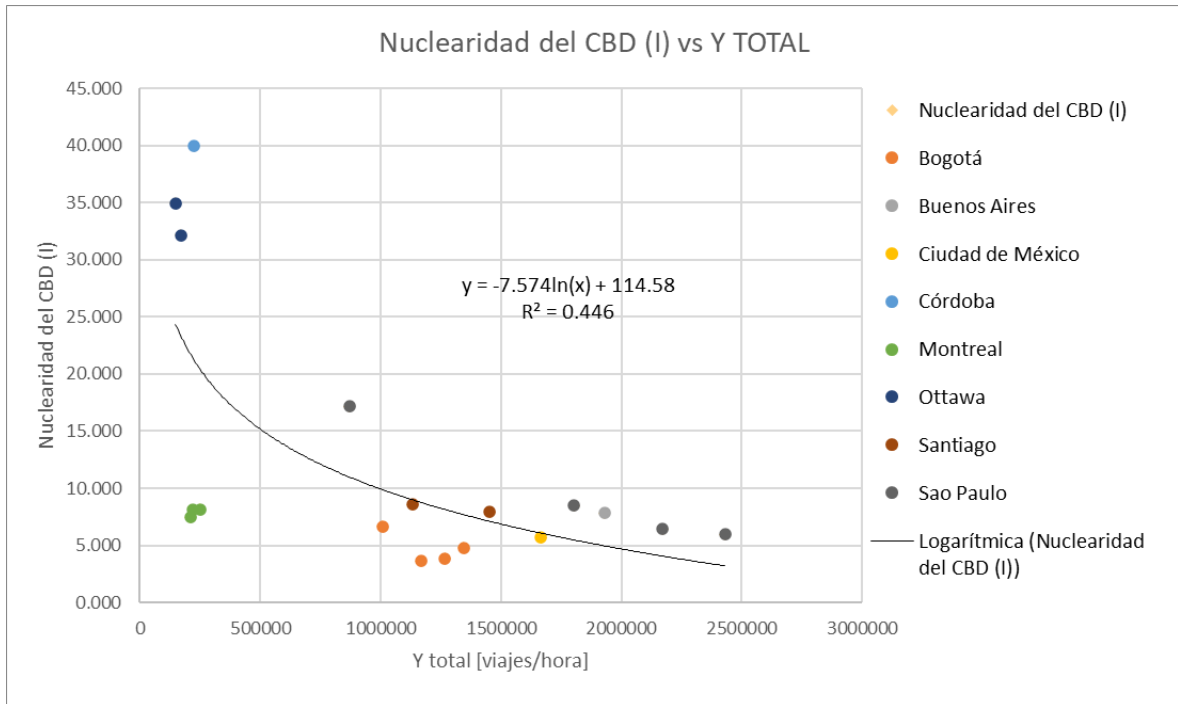


**Figura 5.2: Gráfico de grado de monocentrismo (I) vs viajes totales.**

Se observa que no existe relación entre el poder del CBD y el volumen de viajes (Figura 5.1), pero sí parece haberla al considerar tanto el grado de monocentrismo como la nuclearidad del CBD. A partir de estos gráficos (Figuras 5.2 a 5.5) se evidencia que los índices de monocentrismo tienen una tendencia al decrecimiento, ya que las ciudades que registran menos viajes tienen mayor magnitud en los índices asociados a monocentrismo y este valor disminuye a medida que aumentan los viajes. Este resultado se evidencia a partir del ajuste de líneas de tendencia que permiten visualizar la curva que mejor se ajusta a los datos. Sin embargo, es importante destacar que existen ciertos datos que se alejan en distinta magnitud a las líneas de tendencia ajustadas.



**Figura 5.3: Gráfico de grado de monocentrismo (II) vs viajes totales.**



**Figura 5.4: Gráfico de Nuclearidad del CBD (I) vs viajes totales.**

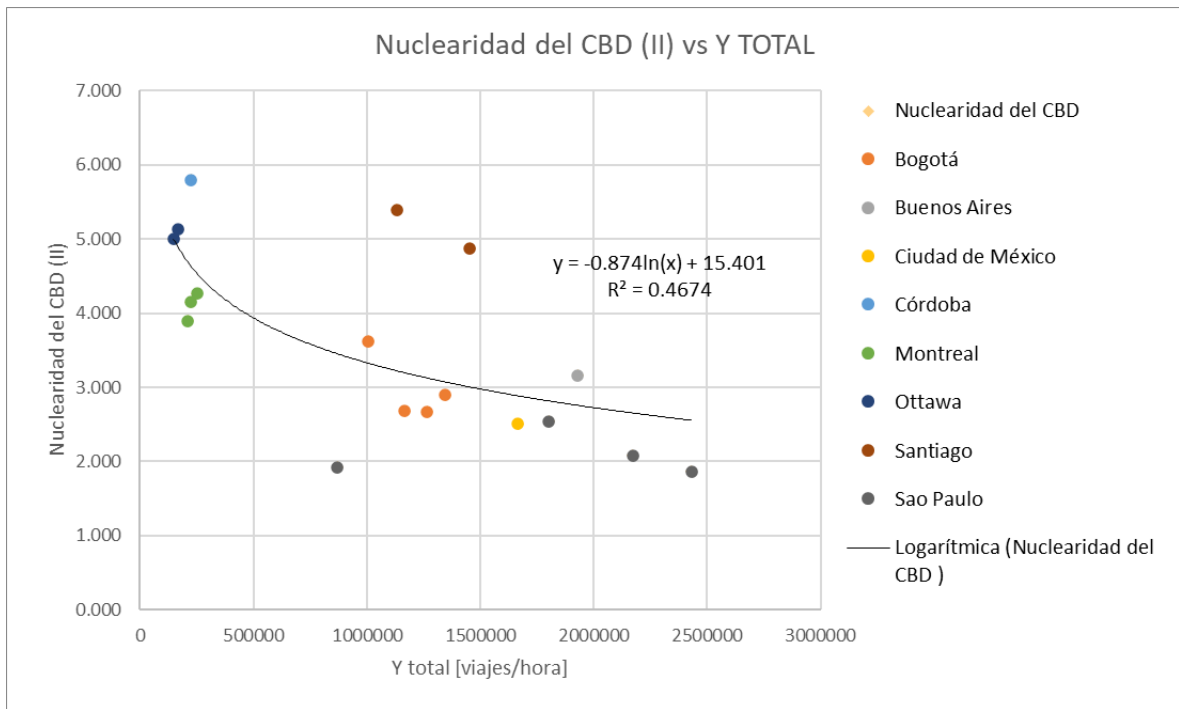


Figura 5.5: Gráfico de Nuclearidad del CBD (II) vs viajes totales.

## 5.2.2 Índices de policentrismo

Para estudiar el policentrismo de la ciudad desde un punto de vista de la distribución de viajes de manera agregada se estudian los indicadores de la Tabla 5.7, también basados en Hajrasouliha y Hamidi (2017), pero utilizando viajes en vez de empleo. El primer índice denominado poder de los subcentros, indica la razón de viajes atraídos por los subcentros frente al resto de la ciudad, mientras que el grado de policentrismo enfrenta la atractividad de los subcentros a la atractividad del CBD. Finalmente, la nuclearidad de los subcentros desafía la atractividad de los subcentros y el CBD, pero por unidad de superficie. Los valores obtenidos de estos índices para cada ciudad-periodo son los presentados en la Tabla 5.8.

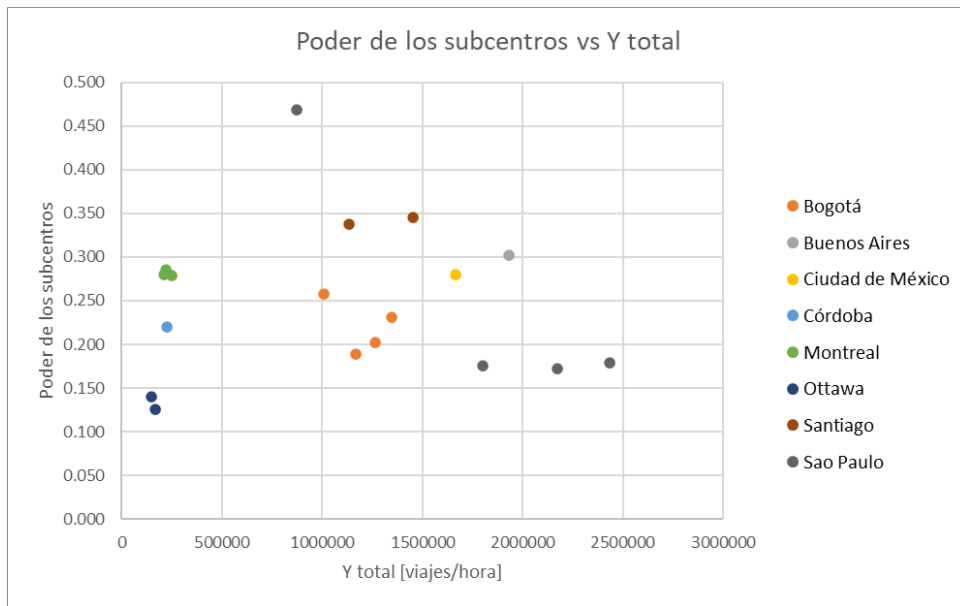
Tabla 5.7: Indicadores de policentrismo.

Índice	Descripción
Poder de los subcentros	Razón entre viajes atraídos por los subcentros y los viajes totales
Grado de policentrismo (I)	Razón entre viajes atraídos por los subcentros y viajes atraídos por CBD y subcentros
Grado de policentrismo (II)	Razón entre viajes atraídos por los subcentros y viajes atraídos por el CBD
Nuclearidad de los subcentros	Razón entre la densidad de viajes atraídos por los subcentros y la densidad de viajes del CBD

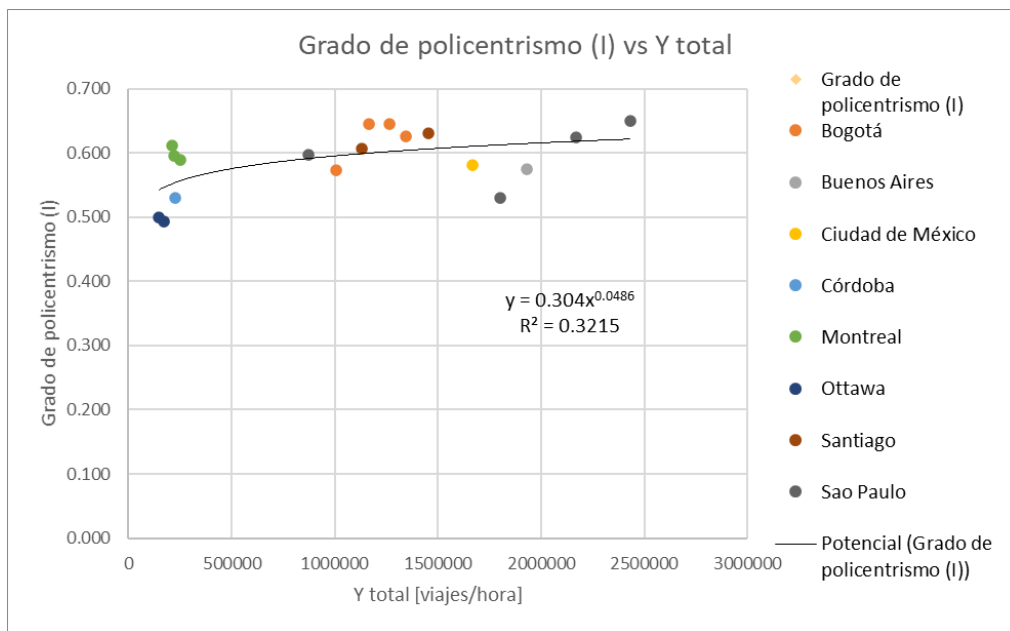
**Tabla 5.8: Valores de indicadores de monocentrismo por ciudad-año.**

Ciudad	País	Año	Poder del CBD	Grado de policentrismo		Nuclearidad de los subcentros
				(I)	(II)	
Sao Paulo	Brasil	2017	0.179	0.650	1.859	0.536
Sao Paulo	Brasil	2007	0.173	0.625	1.664	0.480
Sao Paulo	Brasil	1987	0.175	0.529	1.124	0.393
Sao Paulo	Brasil	1977	0.469	0.598	1.485	0.520
Buenos Aires	Argentina	2012	0.303	0.574	1.347	0.316
Ciudad de México	México	2017	0.280	0.580	1.383	0.399
Santiago	Chile	2012	0.345	0.630	1.704	0.205
Santiago	Chile	2001	0.338	0.606	1.540	0.185
Bogotá	Colombia	2019	0.203	0.645	1.819	0.374
Bogotá	Colombia	2015	0.231	0.626	1.677	0.345
Bogotá	Colombia	2011	0.189	0.645	1.816	0.374
Bogotá	Colombia	2005	0.257	0.573	1.341	0.276
Belo Horizonte	Brasil	2012	0.282	0.477	0.911	0.287
Montreal	Canadá	2013	0.279	0.589	1.436	0.235
Montreal	Canadá	2008	0.285	0.596	1.475	0.241
Montreal	Canadá	1998	0.280	0.611	1.571	0.257
Córdoba	Argentina	2009	0.220	0.530	1.128	0.173
Ottawa	Canadá	2011	0.125	0.493	0.971	0.195
Ottawa	Canadá	2005	0.140	0.499	0.996	0.200

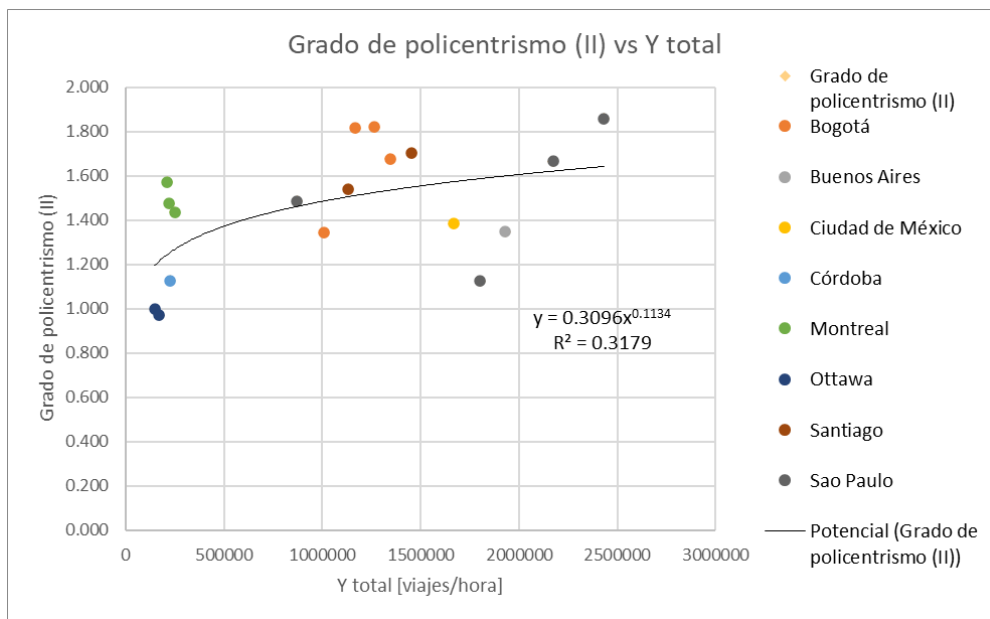
En las Figuras 5.6 a 5.9 se grafica la variación de los índices con el volumen total de viajes donde, nuevamente y por las razones expuestas antes (anomalía del tamaño relativo del CBD), no se consideró la ciudad de Belo Horizonte. Se observa que no existe relación entre el poder de los subcentros y el volumen de viajes (ver Figura 5.6), pero sí parece haberla al considerar tanto el grado de policentrismo como la nuclearidad de los subcentros como sugieren las Figuras 5.7 a 5.9. Allí se evidencia que los índices de policentrismo tienen una tendencia al crecimiento con el número de viajes, aunque los ajustes de tendencia son relativamente débiles. En la sección siguiente se analizará el efecto de la consideración de los viajes más impactantes desde el punto de vista funcional de la ciudad, cuáles son los viajes interzonales.



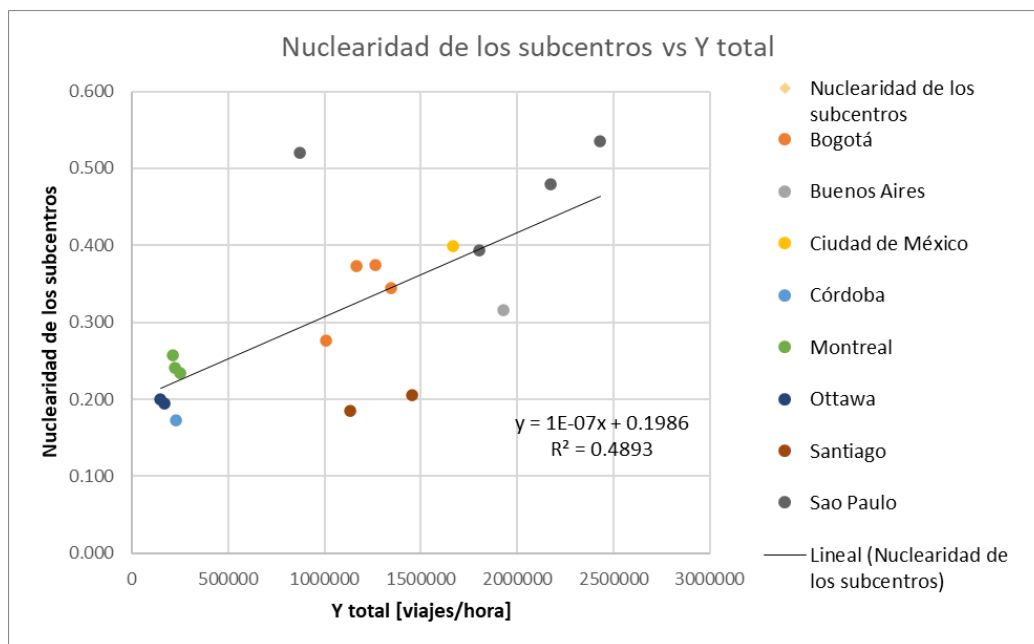
**Figura 5.6: Gráfico de poder de los subcentros vs viajes totales.**



**Figura 5.7: Gráfico de Grado de policentrismo (I) vs viajes totales**



**Figura 5.8: Gráfico de Grado de policentrismo (II) vs viajes totales**



**Figura 5.9: Gráfico de Nuclearidad de los subcentros vs viajes totales.**

### 5.2.3 Índices agregados sin considerar viajes intrazonales

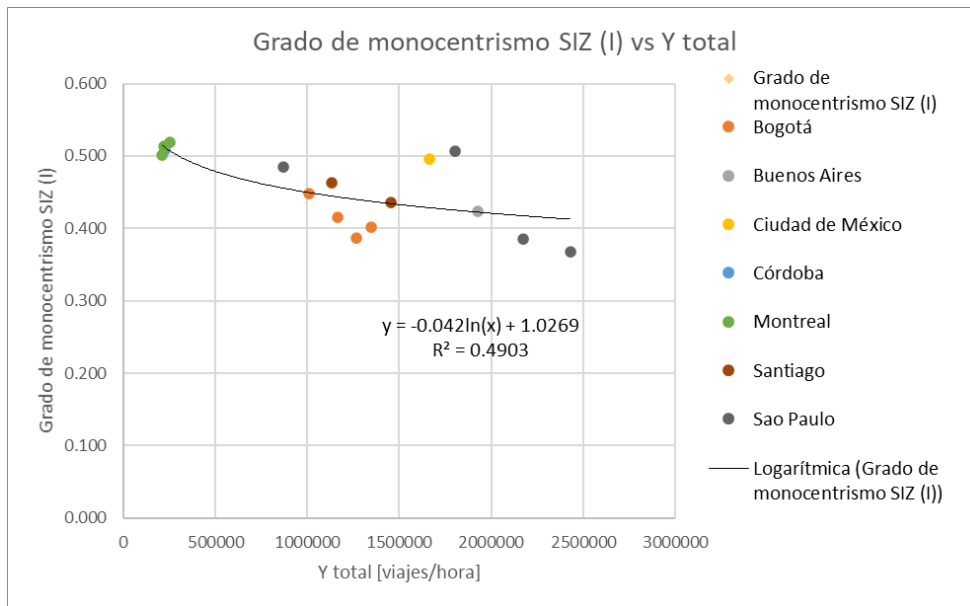
Al considerar los viajes intrazonales se encontró que los índices de monocentrismo y policentrismo decrecen y crecen con el número de viajes respectivamente. Como desde el punto de vista del diseño estratégico de un sistema de transporte los viajes intrazonales juegan un papel menor, ya que presentan menores distancias y tiempos de viaje, es interesante visualizar que sucede con el grado de monocentrismo y policentrismo a medida que aumentan los viajes, pero sin considerar los viajes intrazonales, ya que al omitirlos se considera de mejor forma las relaciones funcionales entre sectores de la ciudad. Estos índices se definen en la Tabla 5.9, se muestran para cada observación en la Tabla 5.10 y se grafican en las Figuras 5.10 a 5.13. Cabe hacer notar que el grado de monocentrismo SIZ (I) corresponde a 1- grado de monocentrismo SIZ (I) y el grado de monocentrismo SIZ (II) es el inverso de grado de polocentrismo SIZ (II).

**Tabla 5.9: Indicadores de monocentrismo y policentrismo sin considerar viajes intrazonales**

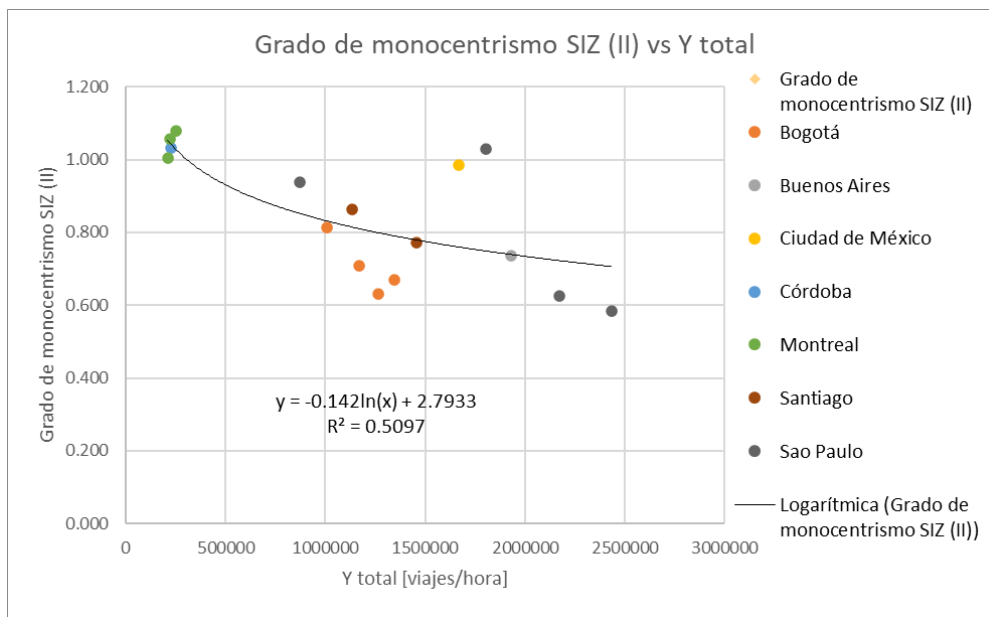
Índice	Descripción
<b>Grado de monocentrismo SIZ (I)</b>	Razón entre viajes atraídos por el CBD y el total atraído por el CBD y los subcentros, sin considerar intrazonales.
<b>Grado de monocentrismo SIZ (II)</b>	Razón entre viajes atraídos por el CBD y los atraídos por los subcentros, sin considerar intrazonales.
<b>Grado de policentrismo SIZ (I)</b>	Razón entre los viajes atraídos por los subcentros y el total atraído por el CBD y los subcentros, sin considerar intrazonales.
<b>Grado de policentrismo SIZ (II)</b>	Razón entre viajes atraídos por los subcentros y los atraídos por el CBD, sin considerar intrazonales.

**Tabla 5.10: Valores de indicadores de monocentrismo y policentrismo sin considerar viajes intrazonales por ciudad-año.**

Ciudad	País	Año	Grado de monocentrismo SIZ		Grado de policentrismo SIZ	
			(I)	(II)	(I)	(II)
Sao Paulo	Brasil	2017	0.368	0.583	0.632	1.716
Sao Paulo	Brasil	2007	0.385	0.626	0.615	1.597
Sao Paulo	Brasil	1987	0.507	1.028	0.493	0.973
Sao Paulo	Brasil	1977	0.484	0.939	0.516	1.065
Buenos Aires	Argentina	2012	0.424	0.735	0.576	1.360
Ciudad de México	México	2017	0.496	0.986	0.504	1.015
Santiago	Chile	2012	0.436	0.772	0.564	1.296
Santiago	Chile	2001	0.463	0.863	0.537	1.158
Bogotá	Colombia	2019	0.387	0.630	0.613	1.587
Bogotá	Colombia	2015	0.401	0.670	0.599	1.492
Bogotá	Colombia	2011	0.415	0.710	0.585	1.409
Bogotá	Colombia	2005	0.448	0.812	0.552	1.231
Belo Horizonte	Brasil	2012	0.629	1.698	0.371	0.589
Montreal	Canadá	2013	0.519	1.079	0.481	0.927
Montreal	Canadá	2008	0.514	1.056	0.486	0.947
Montreal	Canadá	1998	0.501	1.004	0.499	0.996
Córdoba	Argentina	2009	0.508	1.033	0.492	0.968

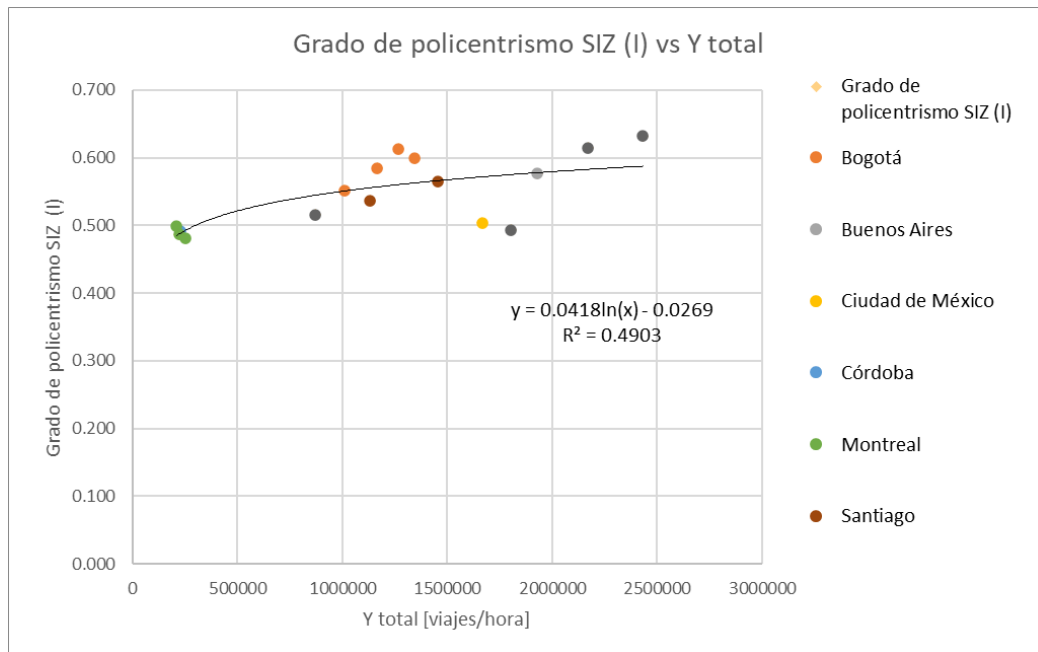


**Figura 5.10: Gráfico de grado de monocentrismo SIZ (I) vs viajes totales**

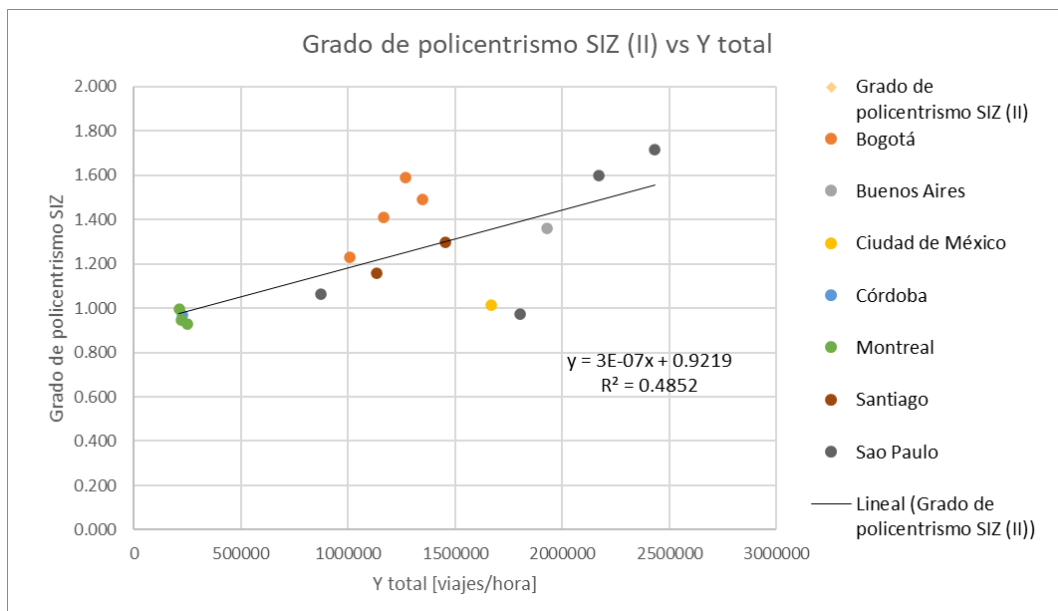


**Figura 5.11: Gráfico de grado de monocentrismo SIZ (II) vs viajes totales**





**Figura 5.12: Gráfico de grado de policentrismo SIZ (I) vs viajes totales.**



**Figura 5.13: Gráfico de grado de policentrismo SIZ (II) vs viajes totales.**

Las figuras 5.10 a 5.13 muestran que los grados de monocentrismo y policentrismo sin viajes intrazonales replican de manera más marcada las tendencias observadas al considerarlos: disminución y aumento con los viajes totales respectivamente.

### 5.3 Parámetros del modelo basado en centros de Fielbaum et al. (2017)

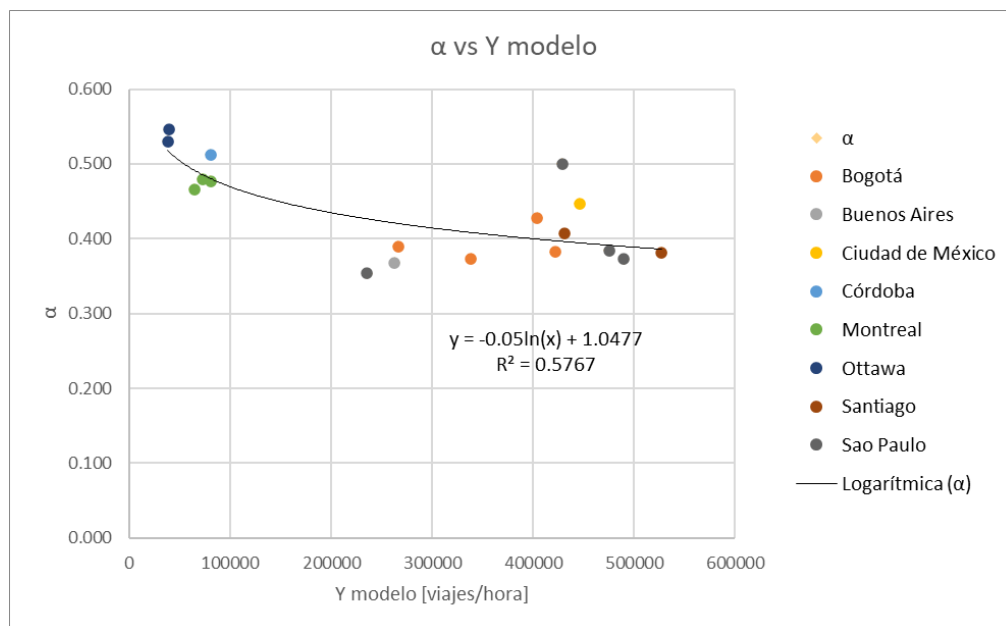
Los parámetros de importancia en términos de estructura urbana de Fielbaum et al. (2017) – presentado en la sección 2.3 - se pueden obtener empíricamente a partir de la distribución de viajes observada para cada ciudad-año, utilizando las matrices origen-destino de viajes entre zonas del modelo (basado en centros), presentadas en el capítulo 4. En la Tabla 5.11 se recuerda la definición e interpretación de los parámetros y en la Tabla 5.12 se presentan los valores obtenidos para cada ciudad-año, en relación a los parámetros  $a$  y  $b$  asociados a generación de viajes se aprecia que  $a$  es mayor a  $b$  para todos los casos, existiendo una mayor cantidad de viajes generados en las periferias que en los subcentros, esto está explicado en su mayoría a que el tamaño de las periferias es considerablemente mayor al de los subcentros. En las Figuras 5.14 a 5.19 se muestran los parámetros básicos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  en función de  $Y_{modelo}$  e  $Y_{total}$ .

**Tabla 5.11: Parámetros del modelo de ciudad paramétrica.**

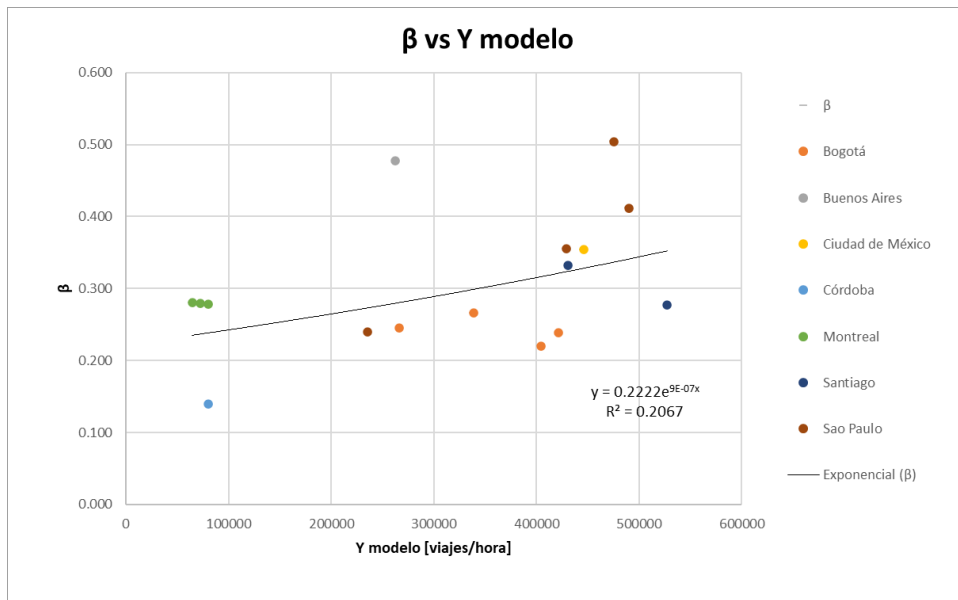
Parámetro	Definición	Interpretación
<b><math>Y_{modelo}</math></b>	Viajes modelados	Magnitud del sistema
<b><math>a</math></b>	Proporción de viajes originados en las periferias	Dispersión en la generación de viajes
<b><math>b</math></b>	Proporción de viajes originados en los subcentros	Concentración en la dispersión de viajes
<b><math>\alpha</math></b>	Proporción de viajes originados en la periferia con destino al CBD	Valor alto para ciudad monocéntrica
<b><math>\beta</math></b>	Proporción de viajes originados en la periferia con destino al propio subcentro	Valor alto para ciudad policéntrica
<b><math>\gamma</math></b>	Proporción de viajes originados en la periferia con destino a un subcentro ajeno	Valor alto para ciudad dispersa
<b><math>\tilde{\alpha}</math></b>	Proporción de viajes originados en los subcentros con destino al CBD	Corrección de $\alpha$ por los viajes generados en los subcentros
<b><math>\tilde{\gamma}</math></b>	Proporción de viajes originados en los subcentros con destino a otro subcentro	Corrección de $\gamma$ por los viajes generados en las periferias

**Tabla 5.12: Parámetros para modelo de Fielbaum et al. (2017)**

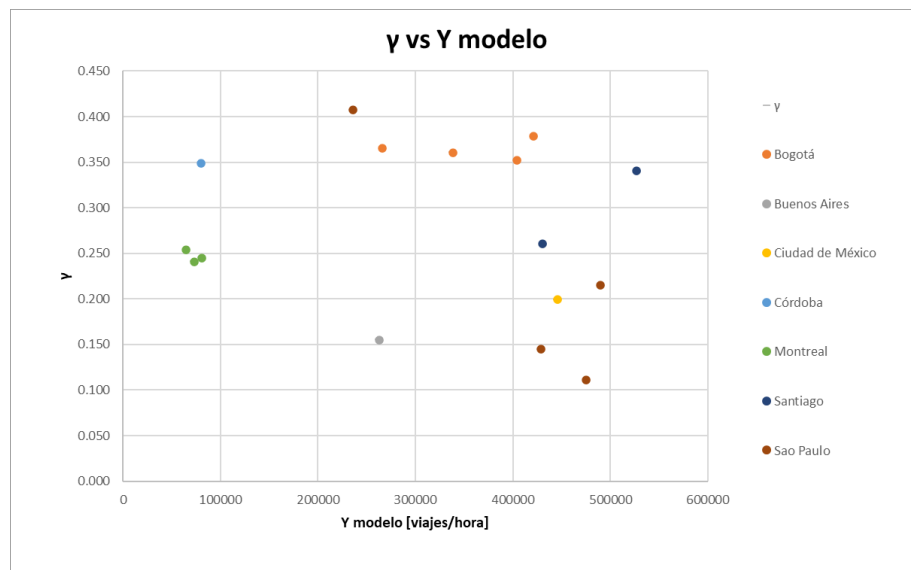
Ciudad	País	Año	Y modelo	$a$	$b$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\tilde{\alpha}$	$\tilde{\gamma}$
Sao Paulo	Brasil	2017	489,901	0.893	0.107	0.373	0.412	0.215	0.708	0.292
Sao Paulo	Brasil	2007	475,295	0.915	0.085	0.384	0.504	0.111	0.737	0.263
Sao Paulo	Brasil	1987	428,829	0.882	0.118	0.500	0.355	0.145	0.791	0.209
Sao Paulo	Brasil	1977	235,640	0.851	0.149	0.353	0.239	0.407	0.581	0.419
Buenos Aires	Argentina	2012	262,764	0.507	0.493	0.368	0.477	0.155	0.783	0.217
Ciudad de México	México	2017	445,815	0.676	0.324	0.447	0.354	0.199	0.707	0.293
Santiago	Chile	2012	527,259	0.678	0.322	0.382	0.278	0.341	0.607	0.393
Santiago	Chile	2001	442,640	0.714	0.313	0.407	0.332	0.261	0.654	0.346
Bogotá	Colombia	2019	338,445	0.896	0.104	0.373	0.266	0.361	0.579	0.421
Bogotá	Colombia	2015	421,509	0.861	0.139	0.383	0.239	0.379	0.591	0.409
Bogotá	Colombia	2011	266,431	0.859	0.141	0.390	0.245	0.365	0.640	0.360
Bogotá	Colombia	2005	404,224	0.868	0.132	0.428	0.220	0.352	0.644	0.356
Belo Horizonte	Brasil	2012	181,849	0.574	0.426	0.597	0.227	0.176	0.768	0.232
Montreal	Canadá	2013	80,507	0.656	0.344	0.477	0.278	0.245	0.661	0.339
Montreal	Canadá	2008	72,747	0.661	0.339	0.480	0.279	0.241	0.641	0.359
Montreal	Canadá	1998	64,719	0.678	0.322	0.466	0.280	0.254	0.639	0.361
Córdoba	Argentina	2009	80,432	0.879	0.121	0.512	0.139	0.349	0.641	0.359
Ottawa	Canadá	2011	39,027	0.786	0.214	0.546	$\beta+\gamma=0.454$		-	-
Ottawa	Canadá	2005	38,293	0.789	0.211	0.530	$\beta+\gamma=0.470$		-	-



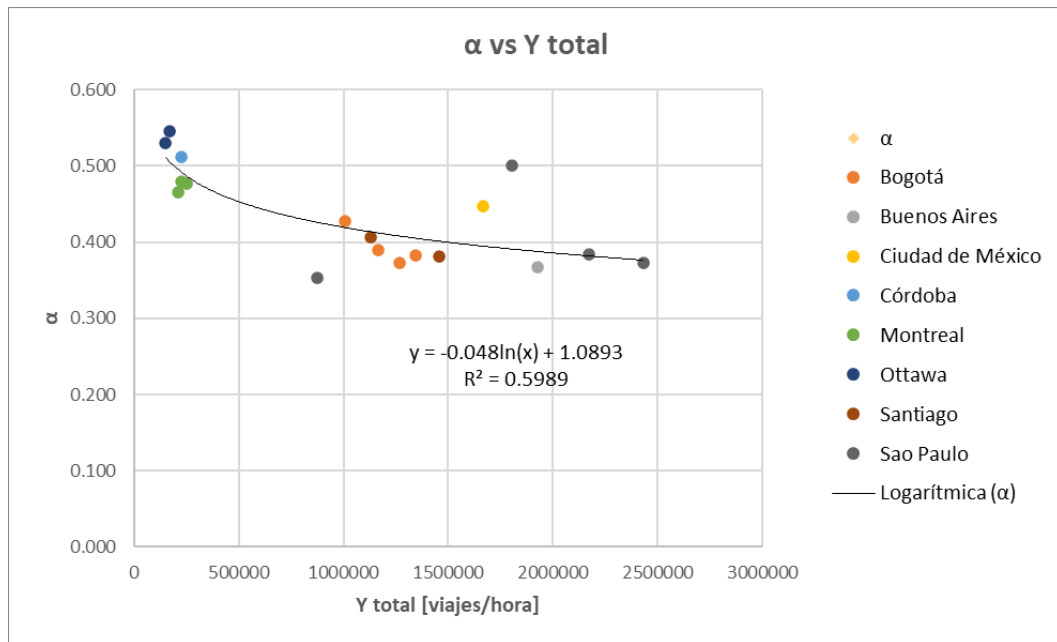
**Figura 5.14: Gráfico de dispersión de  $\alpha$  vs Y modelo con ajuste logarítmico.**



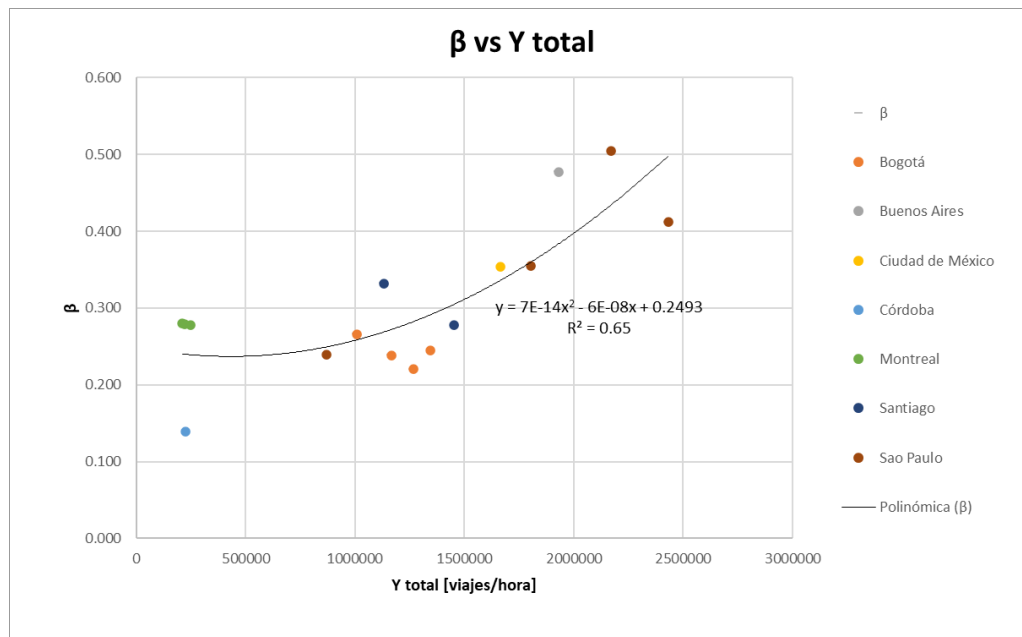
**Figura 5.15: Gráfico de  $\beta$  vs Y modelo con ajuste exponencial.**



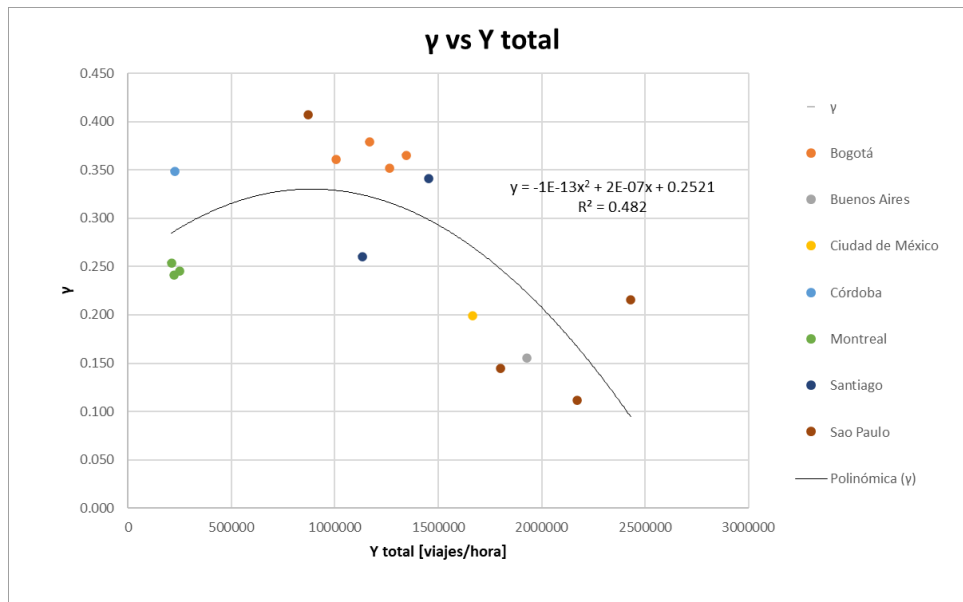
**Figura 5.16: Gráfico de  $\gamma$  vs Y modelo.**



**Figura 5.17: Gráfico de dispersión de  $\alpha$  vs Y total con ajuste logarítmico.**



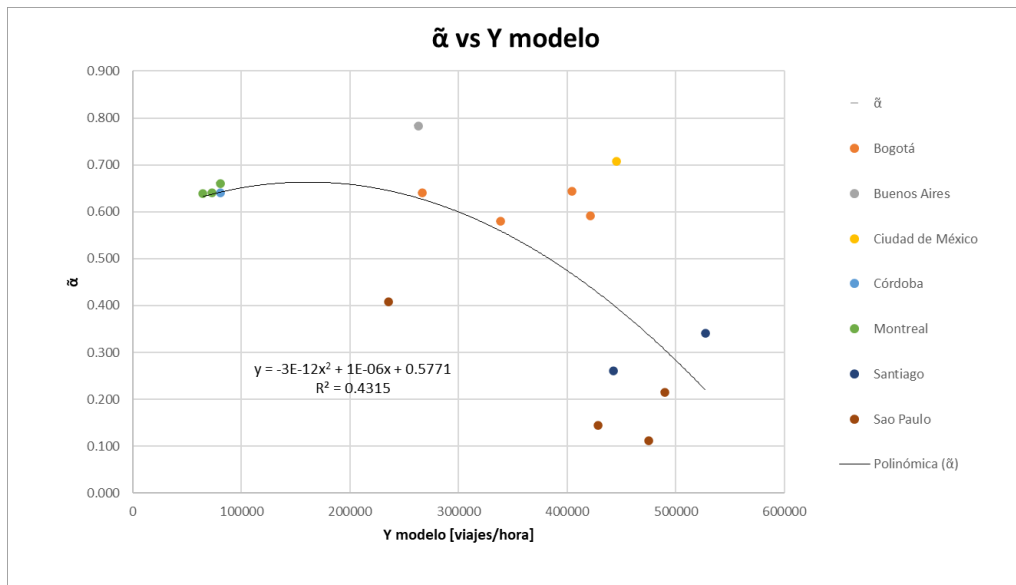
**Figura 5.18: Gráfico de  $\beta$  vs Y total con ajuste polinómico.**



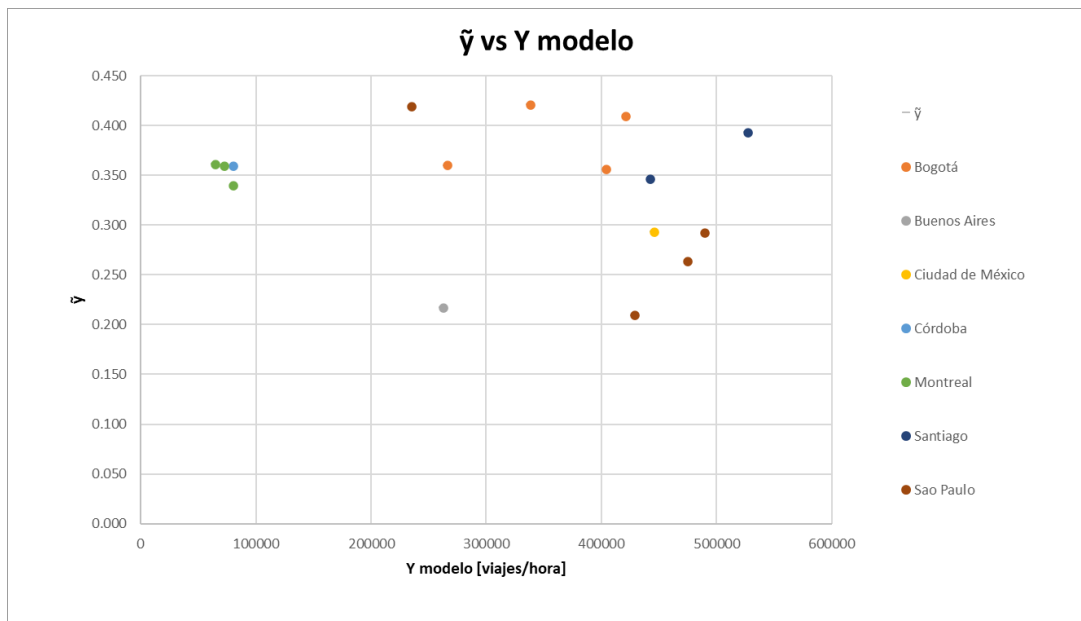
**Figura 5.19: Gráfico de  $\gamma$  vs  $Y$  total con ajuste polinómico.**

La Figura 5.14 muestra que el parámetro  $\alpha$  (asociado a monocentrismo) decrece de manera discreta en función de  $Y$  modelo. Para  $Y$  modelo pequeño (<100.000 viajes) hay una nube de seis puntos en torno a  $\alpha = 0.5$  y para  $Y$  modelo mayores a 200.000 viajes  $\alpha$  está en el sector entre 0.35 y 0.45 para once de los doce puntos restantes (el restantes es levemente mayor). Un ajuste logarítmico muestra una curva decreciente y asintótica a 0.37, resultado muy similar al encontrado entre  $\alpha$  e  $Y$  total (ver Figura 5.17), lo que sugiere que  $\alpha$  disminuye hasta cierto umbral con el volumen de viajes. Por otro lado, los gráficos de  $\beta$  y  $\gamma$  versus  $Y$  modelo (Figuras 5.15 y 5.16) no permiten evidenciar algún tipo de comportamiento. Sin embargo, al graficar versus  $Y$  total (ver Figura 5.18) se aprecia que el parámetro  $\beta$  (asociado a policentrismo) aumenta a medida que aumentan los viajes; en el caso de  $\gamma$  ocurre lo opuesto (ver Figura 5.19); ambos fenómenos quedan razonablemente representados por ajustes polinómicos creciente y decreciente respectivamente.

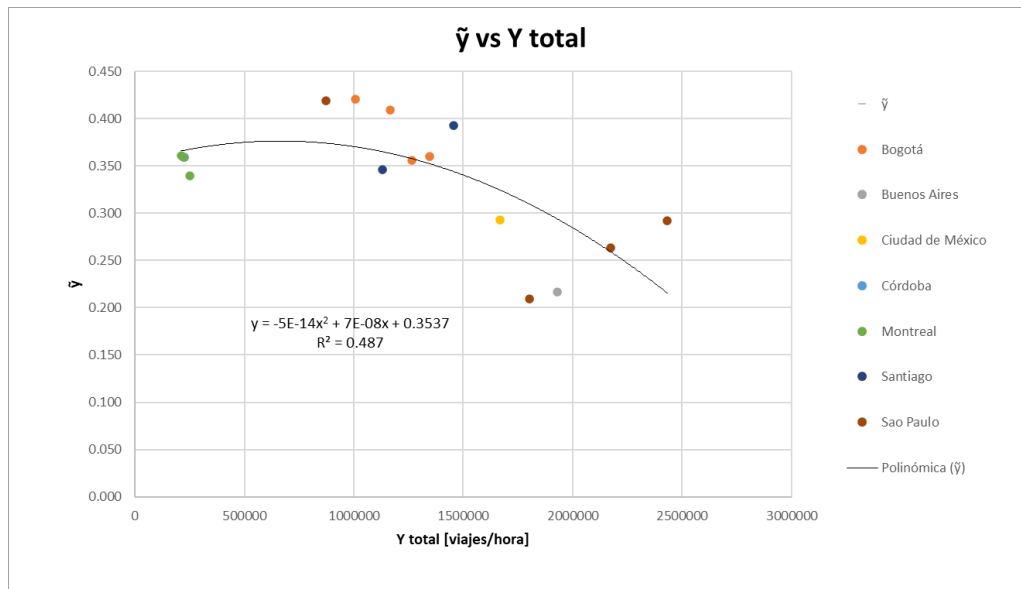
En el caso de los parámetros asociados a los viajes originados en los subcentros (ver Figura 5.20 a 5.22), se obtiene que  $\tilde{\alpha}$  pareciera tener una tendencia al decrecimiento a medida que aumentan los viajes al igual que en el caso de  $\alpha$ . Por otro lado, no se evidencia una relación entre  $\tilde{\gamma}$  e  $Y$  modelo (ver Figura 5.21 y Figura 5.20), pero sí entre  $\tilde{\gamma}$  e  $Y$  total (ver Figura 5.22). Esta relación también es decreciente a partir de cierto umbral, al igual que en el caso de  $\gamma$  vs  $Y$  total.



**Figura 5.20: Gráfico de  $\tilde{\alpha}$  vs Y modelo con ajuste polinómico.**



**Figura 5.21: Gráfico de  $\tilde{\gamma}$  vs Y modelo.**



**Figura 5.22: Gráfico de  $\tilde{\gamma}$  vs Y total con ajuste polinómico.**

Cabe hacer notar que los parámetros de generación y atracción del modelo de Fielbaum et al. (2017) pueden ser usados para obtener indicadores de monocentrismo y de dispersión (semejantes a los antes definidos) que denominaremos  $CM$  y  $CD$ .  $CM$  corresponde a la proporción de viajes atraídos por el CBD sobre el total de viajes modelados;  $CD$  está definido análogamente considerando los viajes atraídos por los subcentros desde periferias ajenas. Es decir

$$CM = \frac{a\alpha Y + b\tilde{\alpha}Y}{Y} \text{ y } CD = \frac{a\gamma Y + b\tilde{\gamma}Y}{Y}$$

$$\text{Luego, } CM = a\alpha + b\tilde{\alpha} \text{ y } CD = a\gamma + b\tilde{\gamma}.$$

$$\text{Y considerando que } \tilde{\alpha} = \frac{\alpha}{1-\beta} \text{ y } \tilde{\gamma} = \frac{\gamma}{1-\beta}.$$

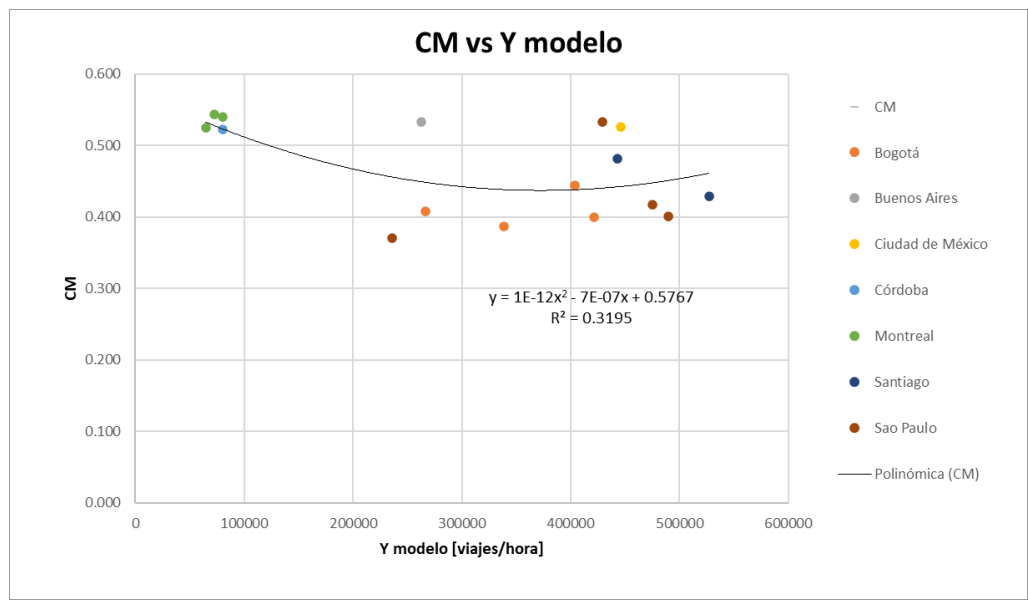
$$\text{Se obtiene que: } CM = \alpha\left(a + \frac{b}{1-\beta}\right) \text{ y } CD = \gamma\left(a + \frac{b}{1-\beta}\right).$$

El resultado obtenido para estos indicadores se presenta en la Tabla 5.13. A partir del gráfico de la Figura 5.22 se aprecia que el indicador  $CM$  no tiene un comportamiento de decrecimiento tan claro como si lo tiene  $\alpha$  con los viajes modelados. Por otro lado, en la Figura 5.23 se aprecia que la tendencia de  $CD$  es al decrecimiento a medida que aumentan los viajes a partir del umbral de los 800.000 viajes, comportamiento que es muy similar al observado entre  $\gamma$  y los viajes totales.

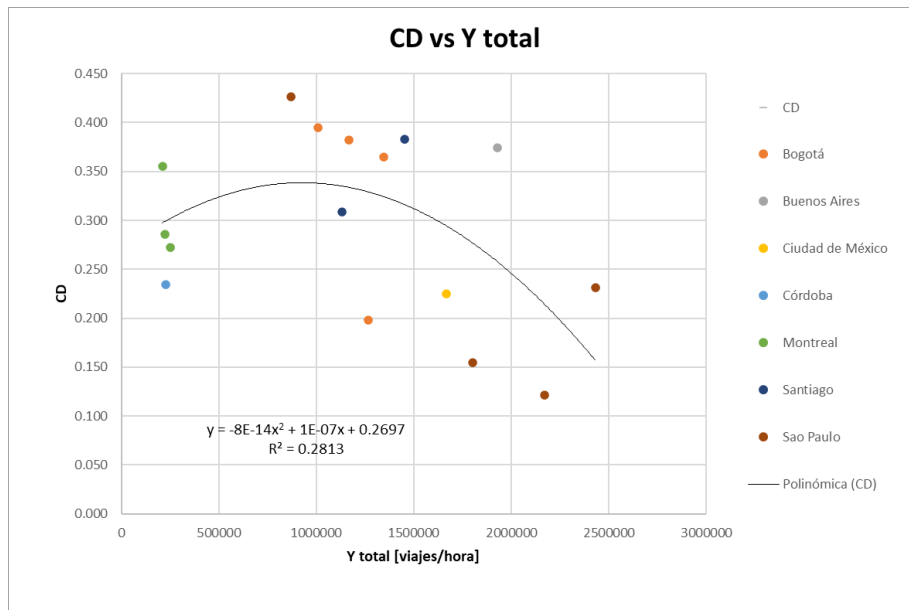


**Tabla 5.13: Índices de monocentrismo y dispersión a partir de los parámetros.**

Ciudad	País	Año	CM	CD
Sao Paulo	Brasil	2017	0.401	0.231
Sao Paulo	Brasil	2007	0.418	0.121
Sao Paulo	Brasil	1987	0.533	0.154
Sao Paulo	Brasil	1977	0.370	0.426
Buenos Aires	Argentina	2012	0.533	0.225
Ciudad de México	México	2017	0.526	0.234
Santiago	Chile	2012	0.429	0.383
Santiago	Chile	2001	0.482	0.308
Bogotá	Colombia	2019	0.387	0.374
Bogotá	Colombia	2015	0.399	0.395
Bogotá	Colombia	2011	0.407	0.382
Bogotá	Colombia	2005	0.444	0.365
Belo Horizonte	Brasil	2012	0.671	0.198
Montreal	Canadá	2013	0.540	0.277
Montreal	Canadá	2008	0.543	0.273
Montreal	Canadá	1998	0.524	0.286
Córdoba	Argentina	2009	0.522	0.355

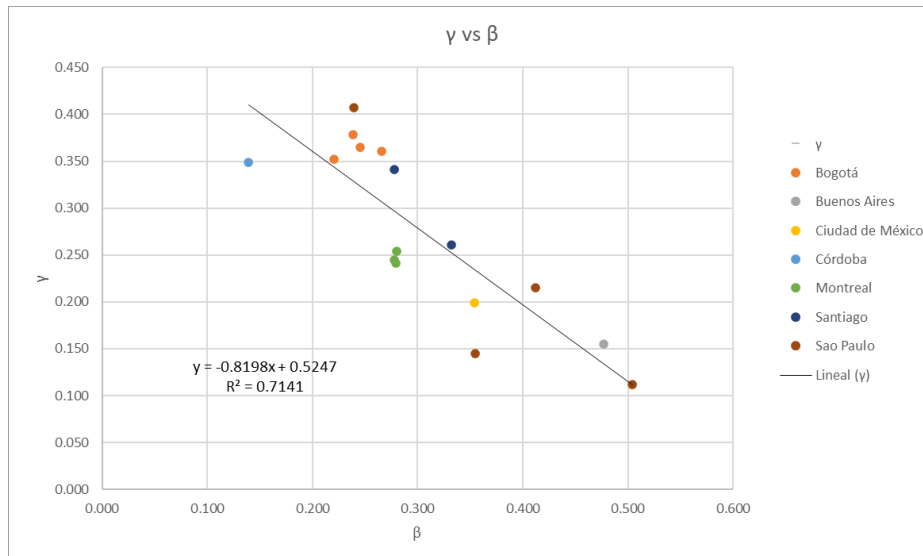


**Figura 5.22: Gráfico de CD vs Y modelo con ajuste polinómico.**



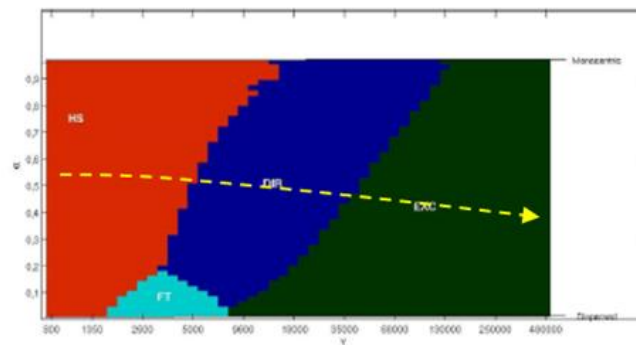
**Figura 5.23: Gráfico de CD vs Y modelo con ajuste polinómico.**

Hasta aquí se ha mostrado que el parámetro  $\alpha$  decrece levemente con los viajes en dos niveles, en tanto que  $\beta$  y  $\gamma$  crecen y decrecen respectivamente. Esto sugiere explorar la posible relación entre policentrismo (representado por  $\beta$ ) y dispersión (representado por  $\gamma$ ). El resultado de esta última relación para las ciudades estudiadas se presenta en la Figura 5.24 apreciándose de manera muy nítida que  $\gamma$  decrece con  $\beta$  de manera lineal según la expresión  $\gamma = 0.53 - 0.82\beta$ . Este resultado es muy interesante y útil ya que, si se considera esta relación en conjunto a la igualdad  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ , para cada valor de  $\alpha$  (i.e. 0.5 o 0.4) se puede obtener los valores asociados de  $\beta$  y  $\gamma$ . Esto significa que, en el análisis de estructuras de líneas más adecuadas en el espacio  $(\alpha, Y)$ , para cada valor de  $\alpha$  hay un único par  $(\beta, \gamma)$  y, por lo tanto, es posible obtener las estructuras de líneas de transporte público más adecuadas en las ciudades en base a tan solo el valor de  $\alpha$  y la demanda de viajes.

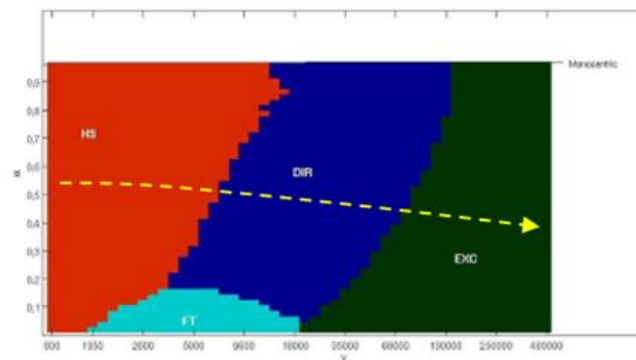


**Figura 5.24: Gráfico de  $\gamma$  vs  $\beta$ .**

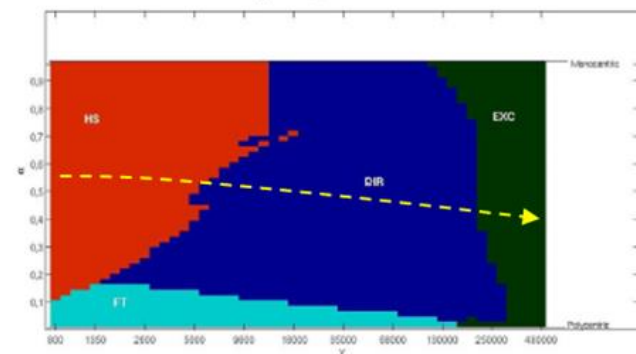
Fielbaum et al. (2016) considera parámetros constantes basados en datos de Santiago, y también asume relaciones entre  $\gamma$  y  $\beta$  diferentes a las encontradas empíricamente en este trabajo. Sin embargo, para tener una noción de las estructuras de líneas más adecuadas en función de  $\alpha$  e  $Y$ , sobre el gráfico de estructuras óptimas para cada una de las relaciones entre  $\gamma$  y  $\beta$  se superpuso el camino descrito por la curva que relaciona  $\alpha$  e  $Y_{modelo}$  (ver Figura 5.25). En esta sobreposición se encuentra para cada uno de los casos que en una etapa inicial (bajo nivel de viajes), la mejor estructura de líneas de transporte son las Hub and Spoke, y, a medida que aumenta el nivel de viajes, cambia a directas para terminar en exclusivas, nunca siendo la mejor opción las líneas Troncal Alimentador (caso con penalización por transbordo). Esta es una aproximación al resultado real, ya que puede variar debido a que la relación entre  $\gamma$  y  $\beta$  es distinta a las consideradas en las figuras y los parámetros constantes pueden variar entre ciudades.



a)  $\beta = \gamma / (n - 1)$ , small



b)  $\beta = \gamma$ , medium



c)  $\beta = 9\gamma$ , large

Figura 5.25: Relación  $(\alpha, Y)$  en el espacio de estructuras óptimas

## 5.4 Síntesis

En este capítulo se presentan indicadores de estructura urbana y su relación con el volumen de viajes total en la ciudad. Se definen indicadores en base a los coeficientes definidos por Hajrasouliha y Hamidi (2017) (monocentrismo, policentrismo, poder y nuclearidad) pero considerando la cantidad de viajes atraídos como variable principal, a diferencia de estos autores que consideran variables asociados a empleo. Estos índices se calculan en dos escenarios, uno en que se consideran todos los viajes y otro en el que se omiten los viajes intrazonales. Además, se calculan los parámetros utilizados en la representación paramétrica de las ciudades del modelo de Fielbaum et al. (2017), los cuales, además de indicar monocentrismo y policentrismo, tienen un parámetro asociado a dispersión. Se visualiza también la evolución de estos parámetros con el número de viajes modelados y totales realizados.

Los resultados de los índices basados en Hajrasouliha y Hamidi (2017) muestran que el poder del CBD y subcentros no se relacionan con el volumen de viajes. Sin embargo, los índices asociados a monocentrismo (grado de monocentrismo y nuclearidad del CBD), decrecen a medida que aumenta el número de viajes; lo contrario ocurre con los índices de policentrismo, los que crecen con el volumen de viajes. Posteriormente se ratificó lo anterior al omitir los viajes intrazonales y considerar solo los viajes de mayor impacto desde un punto de vista funcional de la ciudad.

Al utilizar los parámetros de Fielbaum, et al. (2017), se obtiene que  $\alpha$  (parámetro asociado a monocentrismo) decrece con los viajes en dos niveles. Por otra parte,  $\beta$  (parámetro asociado a policentrismo) aumenta con los viajes totales. Finalmente, el parámetro  $\gamma$  (asociado a dispersión) tiene un comportamiento decreciente a partir de un umbral de viajes.

Se mostró que  $\gamma$  decrece con  $\beta$  de manera lineal según la expresión  $\gamma = 0.53 - 0.82\beta$ . Este resultando es interesante ya que en conjunto a la igualdad  $\alpha + \beta + \gamma = 1$  se puede obtener  $\beta$  y  $\gamma$  para cada valor de  $\alpha$ . Esto significa que, en el análisis de estructuras de líneas más adecuadas en el espacio  $(\alpha, Y)$ , para cada valor de  $\alpha$  hay un único par  $(\beta, \gamma)$  y, por lo tanto, es posible obtener las estructuras de líneas de transporte público más adecuadas en las ciudades en base a tan solo el valor de  $\alpha$  y la demanda de viajes.

## 6 Síntesis, conclusiones y trabajo futuro.

Este trabajo consiste en la búsqueda de relaciones entre parámetros asociados a estructura urbana (monocéntrica, policéntrica, dispersa) - definida a partir de los patrones de viajes registrados en la ciudad - y el volumen total de viajes. Sobre este tema, en la literatura se encuentran mayoritariamente estudios de la estructura urbana a partir de densidades de empleo, entendiendo que éste es la principal fuente atractiva de viajes. A diferencia de estos estudios, en este trabajo se utiliza las matrices origen destino de viajes en el interior de la ciudad que son la mejor fuente para comprender la movilidad, debido a que considera diferentes motivos de viaje. Además, usar como fuente de información las matrices OD, permite conocer el origen de estos viajes.

En este trabajo se mira empíricamente los parámetros de un modelo basado en centros (Fielbaum et al., 2017), que permite estudiar las interacciones entre zonas de la ciudad de manera sencilla, empleando una definición de macrozonas a partir de un CBD, subcentros y periferias. Este procedimiento se realiza a partir de la atractividad y ubicación de cada una de las zonas base de las encuestas de movilidad de las ciudades estudiadas. La representación se construye en dos etapas; en la primera se define si las zonificaciones base pertenecen al CBD, subcentros o periferias, lo que se realiza según criterios de homogeneidad de la atractividad de viajes de las zonas y adyacencia entre zonas, siendo el CBD el conjunto de zonas base de mayor atractividad. Por su parte los subcentros son el siguiente grupo de mayor atracción de viajes, y que cumple con ser adyacente al CBD y contiguo entre sí, es decir, el conjunto de subcentros rodea al CBD. La segunda etapa corresponde a la definición de macrozonas, entendidas como pares subcentro – periferia construidos a partir de los límites obtenidos en la etapa 1 y de la aplicación conjunta de cuatro criterios: tamaños comparables de macrozonas; adyacencia entre subcentro y periferia; consideración de accidentes geográficos que pueden dificultar el acceso entre periferias y subcentros; consideración de pertenencia administrativa de las zonas EOD. La ubicación del CBD (centro o borde de la ciudad) y el tamaño de las zonas EOD también juegan un papel importante en la construcción de las macrozonas.

La aplicación del procedimiento descrito a las ciudades dio por resultado entre una (Ottawa) y cinco (Santiago) macrozonas. Aquellas ciudades con un CBD ubicado en el centro quedan descritas en términos de entre cuatro y cinco macrozonas, en tanto que las que tienen el CBD en un borde contienen tres macrozonas; Sao Paulo y Ottawa son casos especiales que se explican por otras características. El Gran Valparaíso y Belo Horizonte debieron ser descartadas del análisis de parámetros; la primera por presentar dos CBD y la segunda por el gran tamaño relativo de las zonas OD.

A partir de la representación en zonas de las ciudades, se estudiaron indicadores asociados a estructura urbana, basados en los presentados por Hajrasouliha y Hamidi (2017), (monocentrismo, policentrismo, poder y nuclearidad) pero considerando la cantidad de viajes atraídos como variable principal, a diferencia de estos autores que consideran variables asociados a empleo. Se obtuvo que los índices asociados a monocentrismo (grado de monocentrismo y nuclearidad del CBD), decrecen a medida que aumenta el número de viajes y ocurre lo contrario con los índices de policentrismo, los cuales crecen con el volumen de viajes. Posteriormente se ratificó lo anterior al omitir los viajes intrazonales y considerar solo los viajes de mayor impacto desde un punto de vista funcional de la ciudad.

Al utilizar los parámetros de Fielbaum et al. (2017) es posible obtener relaciones más claras. En particular,  $\alpha$  (parámetro asociado a monocentrismo) decrece de manera discreta en función de  $Y$  modelo en dos niveles, el primer nivel para  $Y$  modelo pequeño en torno a  $\alpha = 0.5$  y luego para  $Y$

medio y alto,  $\alpha$  en torno a 0.4 (un ajuste logarítmico muestra una curva decreciente y asintótica a 0.37). Al considerar  $\beta$  (parámetro asociado a policentrismo) versus los viajes totales se aprecia que tiene una tendencia al crecimiento descrita por una curva polinómica. Para el parámetro  $\gamma$  (asociado a dispersión) se aprecia que sigue una curva decreciente a partir de un umbral de 800.000 viajes. Esta última tendencia no se asocia a toda la muestra, ya que las observaciones para Montreal en los tres años presentan un coeficiente que se aleja de la curva que relaciona el parámetro con los viajes totales.

Los resultados muestran un decrecimiento del monocentrismo a medida que aumentan los viajes, tomando mayor importancia los subcentros frente al CBD. En un principio, la importancia atractiva de los subcentros no es desde su propia periferia, pero a medida que se registran más viajes se puede observar que se consolidan las macrozonas teniendo mayor interacción los subcentros con su propia periferia (aumento de  $\beta$ ).

Al explorar la posible relación entre policentrismo (representado por  $\beta$ ) y dispersión (representado por  $\gamma$ ) se aprecia de manera muy nítida que  $\gamma$  decrece con  $\beta$  de manera lineal según la expresión  $\gamma = 0.53 - 0.82\beta$ . Este resultado es muy interesante y útil ya que, si se considera esta relación en conjunto a la igualdad  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ , para cada valor de  $\alpha$  (i.e. 0.5 o 0.4) se puede obtener los valores asociados de  $\beta$  y  $\gamma$ . Esto significa que, en el análisis de estructuras de líneas más adecuadas en el espacio ( $\alpha, Y$ ), para cada valor de  $\alpha$  hay un único par ( $\beta, \gamma$ ) y, por lo tanto, es posible obtener las estructuras de líneas de transporte público más adecuadas en las ciudades en base a tan solo el valor de  $\alpha$  y la demanda de viajes.

Los resultados obtenidos en este trabajo motivan su continuación. La extensión más evidente es añadir observaciones a la muestra, incorporando más ciudades y/o más periodos, para poder generalizar los resultados con mayor poder estadístico.

Junto a esto, sería interesante considerar la influencia que tienen otras variables además de los viajes totales en los parámetros asociados a estructura urbana, es decir, factores físicos como, por ejemplo, la presencia de montañas, ríos y/o valles, y también la influencia de factores socioeconómicos dentro de los cuales se puede considerar como variable el producto interno bruto per cápita. En el trabajo de Oke et al. (2019) utilizan diversas variables para formular una clasificación de tipología urbana, de sus datos abiertos se pueden rescatar variables de interés para hacer pruebas estadísticas de modelos multivariantes para la explicación de los parámetros utilizados en este trabajo para la representación de la estructura urbana. Se recomienda utilizar esta base de datos de ciudades para la obtención de variables y formular un modelo descriptivo multivariable.

Además, es posible extender el trabajo de Fielbaum et al. (2016) encontrando las estructuras de líneas de transporte más adecuadas en el espacio ( $\alpha, Y$ ), utilizando la relación obtenida en este trabajo entre los parámetros ( $\alpha, \beta, \gamma$ ).

## 7 Bibliografía

- Agência de Desenvolvimento da região metropolitana de Belo Horizonte. (2013). *Pesquisa Origem e Destino*.
- Aguilar, A., y Hernandez, J. (2016). Metropolitan Change and Uneven Distribution of Urban Sub-Centres in Mexico City, 1989-2009. *Bulletin of Latin American Research*, 35(2), 191-209.
- Alonso, W. (1964). Location and land use. Toward a general theory of land rent. *Harvard University Press, Cambridge*.
- Anas, A., Arnott, R., y Small, K. (1998). Urban Spatial Structure. *Journal of Economic Literature*, 36, 1426-1464.
- Anas, A., y Kim, I. (1996). General Equilibrium Models of Polycentric Urban Land Use with Endogenous Congestion and Job Agglomeration. *Journal of Urban Economics*, 40, 232-256.
- Argentina.gob.ar. (2019). *Encuestas de Movilidad*. Recuperado el 6 de Junio de 2019, de <https://www.argentina.gob.ar/transporte/dgppse/publicaciones>
- ARTM. (22 de Abril de 2019). *Enquetes Origine-Destination precedentes*. Obtenido de <https://exo.quebec/fr/a-propos/portrait-mobilite/enquetes-precedentes>
- Autoridad Regional de Transporte Metropolitano de Quebec. (2013). *Enquête Origine-Destination 2013*.
- Badia, H. (2020). Comparison of Bus Network Structures in Face of Urban Dispersion for a Ring-Radial City. *Networks and Spatial Economics*, 20(1), 233-271.
- Burgess, E. W. (1925). The Growth of the City: An Introduction to a Research Project. “*The trend of population*”. *Publications of the American Sociological Society*, XVIII, 85-97.
- Daganzo, C. F. (2010). Structure of competitive transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(4), 434-446.
- Fernández-Maldonado, A. M., Romein, A., Verkoren, O., y Pessoa, R. P. (2014). Polycentric Structures in Latin American Metropolitan Areas: Identifying Employment Subcentres. *Regional Studies*, 48(12), 1954-1971.
- Fielbaum, A., Jara-Díaz, S. R., y Gschwender, A. (2017). A Parametric Description of Cities for the Normative Analysis of Transport. *Networks and Spatial Economics*, 17, 343-365.
- Fielbaum, A., Jara-Díaz, S., y Gschwender, A. (2016). Optimal public transport networks for a general urban structure. *Transportation Research Part B*, 94, 298-313.
- Gallo, M. T., y Garrido, R. (2012). Una aproximación a la estructura urbana policéntrica en la Comunidad de Madrid. *Arquitectura, Ciudad y Entorno*, VI, 69-100.
- Giuliano, G., y Small, K. A. (1991). Subcenters in the Los Angeles region. *Regional Science and Urban Economics*, 21(2), 163-182.
- Gordon, P., y Richardson, H. W. (1996). Beyond Polycentricity: The Dispersed Metropolis. *Journal of the American Planning Association*, 62(3), 289-295.

- Gschwender, A., Jara-Díaz, S., y Bravo Labra, C. (2016). Feeder-trunk or direct lines? Economies of density, transfer costs and transit structure in an urban context. *Transportation Research Part A*, 88, 209-22.
- Hajrasouliha, A. H., y Hamidi, S. (2017). The typology of the American metropolis:. *Urban Geography*, 38(3), 420-444.
- Harris, C., y Ullman, E. (1945). The nature of cities. *Annals of the American Academy of Political and Social Sciences*, 242, 7-17.
- Hoyt, H. (1939). *he structure and growth of residential neighborhoods in American cities*. Washington, DC: Federal Housing Administration.
- Huang, D., Liu, Z., y Zhao, X. (2015). Monocentric or Polycentric? The Urban Spatial Structure in Beijing. *Sustainability*, 7, 11632-11656.
- INEGI. (2017). *Encuesta Origen-Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México*.
- INEGI. (2019). *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD) 2017*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>
- Jara-Díaz, S. R., y Gschwender, A. (2003). From the single line model to the spatial structure of transit. *Journal of Transport Economics and Policy*, 37(2), 261-277.
- Lee, B. (2007). “Edge” or “edgeless” cities? urban spatial structure un U.S. Metropolitan areas, 1980 to 2000. *Journal of regional science*, 47(3), 479-515.
- Linares, S. (2016). Evolución histórica sobre la modelización del espacio urbano en Geografía. *Sociedade e Território*, 28(2), 23-41.
- Liu, X., y Wang, M. (2016). How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities. *Landscape and Urban Planning*, 151, 10-20.
- McMillen, D. P. (2001). Nonparametric Employment Subcenter Identification. *Journal of Urban Economics*, 50(3), 448-473.
- Metro de São Paulo. (2008). *Pesquisa Origem e Destino 2007 Região Metropolitana de São Paulo*.
- Metro Sao Paulo. (2019). *Pesquisa Origem e Destino: 50 anos*. Recuperado el 14 de Abril de 2019, de <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/>
- Moghadam, A. S., Soltani, A., Parolina, B., y Alidadid, M. (2018). Analysing the space-time dynamics of urban structure change using. *Cities*, 81, 203-213.
- Montejano-Escamilla, J. A. (2015). ¿Es la ciudad de México policéntrica? Nuevos datos y algoritmos para la detección de centralidades urbanas. *Economía, Sociedad y Territorio*, XV(48), 333-361.
- Muth, R. (1969). *F. Cities and housing: the spatial pattern of urban residential land use*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Observatorio Social Universidad Alberto Hurtado. (2014). *Encuesta Origen Destino Santiago 2012*.



- Oke, J. B., Aboutaleb, Y. M., Akkinepally, A., Azevedo, C. L., Han, Y., Zegras, P. C., Ferreira, J., Ben-Akiva, M. E. (2019). A novel global urban typology framework for sustainable mobility. *Environmental Research Letters*, 14(9): 095006.
- Pontificia Universidad Católica de Chile, DICTUC. (2003). *Actualización de Encuestas de Origen y Destino de Viajes, V etapa*.
- Prefeitura Belo Horizonte. (23 de Junio de 2019). *Pesquisa Origem/Destino*. Obtenido de <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/dados/pesquisa-origem-destino>
- Prudencia Bogotá. (2020). *Encuestas de movilidad*. Recuperado el 15 de Abril de 2020, de <https://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/encuestas-de-movilidad/>
- Real Academia Española. (s.f.). *Diccionario de la lengua española, 23ª ed*, 23.3. Recuperado el 26 de 03 de 2020, de <https://dle.rae.es>
- Saidi, S., Wirasinghe, S., y Kattan, L. (2016). Long-term planning for ring-radial urban rail transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 86, 128-146.
- Schlesinger, J. (2013). Agriculture along the urban-rural continuum a GIS-based analysis of spatio-temporal dynamics in two medium-sized African cities. *Tesis de doctorado*. Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität.
- Secretaría de Transporte de Argentina. (2009). *Zonificación EOD Córdoba*.
- Secretaría de Transporte de Argentina. (2010). *ENMODO Encuesta de Movilidad Domiciliaria*.
- SECTRA. (2019). *Encuestas de movilidad*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de [http://www.sectra.gob.cl/encuestas\\_movilidad/encuestas\\_movilidad.htm](http://www.sectra.gob.cl/encuestas_movilidad/encuestas_movilidad.htm)
- Terán, M. d. (1964). Geografía humana y sociología. Geografía social. *Estudios Geográficos*, 25(97), 464.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., y Jara-Díaz, S. R. (2010). Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit over a radial public transport network. *Research in Transportation Economics*, 29, 231-242.
- TRANS Committee. (2013). *Origin-Destination Survey*.
- TRANS Committee. (2019). *O-D survey*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de <http://www.ncr-trans-rcn.ca/surveys/o-d-survey/>
- TRASA Ingeniería. (2015). *Actualización diagnóstico del S.T.U. del Gran Valparaíso. ETAPA I*.
- Truffello, R., e Hidalgo, R. (2015). Policentrismo en el Área Metropolitana de Santiago de Chile: reestructuración comercial, movilidad y tipificación de subcentros. *EURE (Santiago)*, 41(122), 49-73.
- Unión Temporal Steer - CNC. (2019). *Encuesta de Movilidad 2019*.