



**HAL**  
open science

# Movilidad en transporte privado y emisión de CO<sub>2</sub>: patrones geoespaciales e implicancias en el ordenamiento territorial para el Área Metropolitana de Santiago, Chile

Francisca Pérez-Criado, Gerardo Ubilla-Bravo

## ► To cite this version:

Francisca Pérez-Criado, Gerardo Ubilla-Bravo. Movilidad en transporte privado y emisión de CO<sub>2</sub>: patrones geoespaciales e implicancias en el ordenamiento territorial para el Área Metropolitana de Santiago, Chile. Revista transporte y territorio, 2023, 28, pp.169-199. 10.34096/rtt.i28.10934 . halshs-04174482

**HAL Id: halshs-04174482**

**<https://shs.hal.science/halshs-04174482>**

Submitted on 31 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

# Movilidad en transporte privado y emisión de CO<sub>2</sub>: patrones geoespaciales e implicancias en el ordenamiento territorial para el Área Metropolitana de Santiago, Chile



Francisca Pérez-Criado

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Chile.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8131-0861>.

Gerardo Ubilla-Bravo

Departamento de Gestión e Innovación Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas,  
Universidad de Chile, Chile.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2716-5852>.

*Recibido: 18 de diciembre de 2021. Aceptado: 31 de octubre de 2022.*

## Resumen

El transporte es el segundo sector que más dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emite a nivel mundial, según datos del año 2012. Este fenómeno se ve potenciado por la expansión física de las ciudades, la fragmentación urbana y la desigualdad en su estructura. Un caso destacado es el Área Metropolitana de Santiago (AMS). En este contexto, el objetivo de esta investigación es determinar los patrones geoespaciales de emisión de CO<sub>2</sub> causados por la movilidad intercomunal en transporte privado en el AMS. En primer lugar, se cuantificaron las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la movilidad, y se obtuvo un resultado de 2.838.199 toneladas por año. A continuación, se analizaron los patrones geoespaciales de emisión utilizando tres indicadores. Estos confirman la alta concentración de la movilidad privada en un sector específico del AMS, debido a la desigual distribución de servicios. Esto refuerza el patrón geoespacial de movilidad de la población hacia el cono nororiente de la ciudad. Se discute y se promueve la necesidad de planificar el AMS con una perspectiva integral de ordenamiento territorial, con el objetivo de lograr una ciudad más sustentable, mejorar la calidad de vida y fomentar una mayor igualdad de oportunidades para todos los habitantes.

**Palabras clave:** Movilidad. CO<sub>2</sub>. Área Metropolitana de Santiago. Transporte privado. Ordenamiento Territorial.

## Mobility in private transport and CO<sub>2</sub> emission: Geospatial patterns and implications in land use<sup>2</sup> planning for the Santiago Metropolitan Area, Chile

### Abstract

Transportation ranks as the second sector with the highest contribution of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions in the world for the year 2012. This phenomenon is exacerbated by physical expansion, urban fragmentation, and inequality in cities, with the Metropolitan Area of Santiago (AMS) serving as a notable example. Therefore, the objective of this study is to determine the geospatial patterns of CO<sub>2</sub> emissions resulting from intercommunal mobility in private transportation within the AMS. To begin, the emissions of CO<sub>2</sub> from mobility were quantified, resulting in a total of 2,838,199 tonnes per year. Subsequently, the geospatial emission patterns were identified using three indicators. These indicators substantiate the existence of a significant concentration of private mobility due to the unequal distribution of services in a specific sector of the AMS. This reinforces the geospatial pattern of population mobility towards the northeastern region of the city. The discussion and promotion of planning initiatives within the AMS emphasize the need for a comprehensive approach to land use planning. This approach aims to foster a more sustainable city, enhance the quality of life, and promote greater equality of opportunities for all residents.

**Keywords:** Mobility. CO<sub>2</sub>. Santiago Metropolitan Area. Private transport. Land Use Planning.

**Financiamiento:** Fondo U-Inicia VID 2021. Proyecto código UI-002/21.

### Introducción

El cambio climático es un fenómeno constatado que se ha producido como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), según señala el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en su Cuarto Informe (IPCC, citado por Miralles-Guasch, 2012). Estas emisiones han aumentado desde 1850, especialmente a partir del año 2000. El crecimiento económico y demográfico en el planeta es la principal fuente de origen de estas emisiones (IPCC, 2014a). Entre los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) representa el 78% de las emisiones totales en el período comprendido entre 1970 y 2010 (IPCC, 2014b).

En relación con la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, las evidencias son sólidas al indicar que el aumento de este gas ha llevado a un incremento de la temperatura superficial del planeta (Benavides Ballesteros y León Aristizábal, 2007). Si las emisiones continúan al ritmo actual, se estima que la temperatura de la Tierra aumentará en 1,5°C entre los años 2030 y 2052 en comparación con el promedio del período 1960-1990 (IPCC, 2018).

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2014) señala que dos sectores son responsables de casi dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> causadas por actividades humanas en el año 2012, donde el sector del transporte es responsable de un 23% de las emisiones. Además, el transporte por carretera representó aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones de este sector en el año 2012 (IEA, 2014). A pesar que en los últimos años la eficiencia de los motores y la calidad del combustible han mejorado, estos avances se han visto mermado por el incremento del parque vehicular y el aumento de los desplazamientos (Bull, 2003). Es por este motivo que la participación del transporte en estas emisiones no puede solo

reducirse a avances en la tecnología, sino que también es necesario apuntar a estrategias territoriales que afecten de una manera directa los patrones de movilidad por parte de la población en distintas partes del mundo (Banister, 2011).

En el caso de las ciudades latinoamericanas, estas se caracterizan por su fragmentación urbana y su constante expansión física (García Palomares, 2008), lo cual conlleva un aumento en la movilidad y la dependencia del automóvil privado debido al incremento de las distancias en los desplazamientos (Mac-Clure & Calvo, 2013). En el caso de Chile, el Censo 2002 incluyó algunas preguntas sobre la movilidad y la ocupación de los habitantes. A través de esto, se pudo constatar que en el Área Metropolitana de Santiago (AMS), las comunas de Santiago, Providencia y Las Condes concentran aproximadamente la mitad de los puestos de trabajo de la ciudad, a pesar de que solo residen algo más del 10% de los trabajadores (Rodríguez Vignoli, 2008). Además, estas comunas también albergan alrededor del 30% del equipamiento urbano<sup>1</sup> (deporte, educación, cultura y salud), lo que evidencia una distribución desigual a nivel comunal. Como resultado de estas condiciones, el corredor centro-oriente (Santiago, Providencia y Las Condes) atrae la mayoría de los desplazamientos, ya que alrededor del 40% de los viajes motorizados en el periodo punta de la mañana se realizan en transporte privado hacia esta área de la ciudad (Subsecretaría de Transporte, 2013).

Esta configuración del Área Metropolitana de Santiago refleja la falta de un sistema público de ordenamiento territorial (Ubilla Bravo, 2015), ya que es el mercado inmobiliario el principal regulador del acceso al suelo (Valencia, 2006). Actualmente, en Chile no se han establecido normas específicas para el ordenamiento territorial, sino que se han propuesto instrumentos que abordan el tema de manera sectorial (Ubilla Bravo, 2008). Si bien, recién en 2021 se publicó una Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT) (Decreto N° 469), esta es solo una declaración de principios no vinculante. Consideramos que estos déficits del sistema normativo podrían disminuirse con un plan vinculante de ordenamiento territorial que proponga una distribución equilibrada de usos. De esta forma se podría evitar que el mercado sea quien determine las características de cada comuna respecto de sus servicios y en consecuencia de la distancia que debe recorrer la población para satisfacer sus necesidades influyendo esto directamente en la calidad de vida de los habitantes. Además, los instrumentos que debiesen preocuparse por la planificación de las áreas urbanas tales como los Planes Reguladores Comunales, Planes Reguladores Intercomunales y Planes Reguladores Metropolitanos no planifican el territorio sino más bien regulan la zonificación del uso de suelo sin una mirada integral que propone el ordenamiento territorial (Ubilla-Bravo & Chia, 2021). Esta planificación y ordenamiento territorial implican la modificación de patrones y procesos geospaciales de los fenómenos en el espacio geográfico. Para esta investigación, el concepto patrón geoespacial de emisión se basa en la noción de patrón de movilidad, el cual se refiere al comportamiento del transporte al interior de un área geográfica donde se realizan desplazamientos, además de incluir los modos de transporte (Krüger, 2010). A partir de ello y para fines de este trabajo, el concepto patrón geoespacial de emisión se considera como la distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> dentro de un espacio geográfico donde se realizan desplazamientos de un lugar a otro.

Tomando en cuenta los antecedentes mencionados, este artículo tiene como propósito comprender el desarrollo de este fenómeno a través de dos objetivos. El primero consiste en cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que el segundo busca determinar los patrones geospaciales de emisión de CO<sub>2</sub> generados por la movilidad intercomunal a través del transporte privado en el Área Metropolitana de Santiago durante el año 2012.

<sup>1</sup> Según la Base Catastral de Roles No Agrícolas del Servicio de Impuestos Internos (SII) (2010, citado por Subsecretaría de Transporte, 2013).

Es importante destacar que se justifica el uso de este año debido a que corresponde a la última base de datos disponible sobre el transporte privado<sup>2</sup>, que cubre de manera detallada el Área Metropolitana de Santiago.

## Metodología

### *Área de Estudio*

Antes de entrar en detalle sobre el área de estudio, es importante señalar que en Chile la división política administrativa se compone de tres niveles: región, provincia y comuna. Asimismo, se utiliza el término “área metropolitana” para hacer referencia a aquellas zonas conurbadas que cuentan con más de 500.000 habitantes, con fines estadísticos en el Censo de Población y Vivienda.

En este sentido, el presente estudio se centra en el Área Metropolitana<sup>3</sup> de Santiago (AMS), también conocida como Gran Santiago (Figura 1), que comprende la zona urbana continua de la capital chilena. La AMS se encuentra ubicada dentro de la Región Metropolitana de Santiago (RMS)<sup>4</sup> y está compuesta por las 32 comunas de la Provincia de Santiago, así como las comunas de San Bernardo de la Provincia del Maipo y Puente Alto correspondiente a la Provincia de Cordillera, según el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE Chile, 2019).

De acuerdo con el último Censo realizado en 2017, la AMS cuenta con una población de 6.119.984 habitantes. Esto implica un crecimiento de aproximadamente el 13% en comparación con el Censo realizado en 2002, a lo largo de un período de 15 años. Es relevante destacar que casi la totalidad (99,73%) de la población de la AMS reside en la zona urbana, según datos del INE Chile (2019).

El motivo por el cual se seleccionó el AMS como área de estudio radica en la disponibilidad y calidad de los datos sobre la movilidad a través del transporte privado en dicha zona.

### *Materiales*

La principal fuente de datos utilizada en este trabajo es la Encuesta Origen-Destino de Viajes de Santiago (EODS) realizada en 2012, que constituye la última base de datos disponible. Esta encuesta fue llevada a cabo y posteriormente publicada por el Observatorio Social de la Universidad Alberto Hurtado (OSUAH, 2014) por encargo del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través de la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA). La EODS se enmarca en un proceso de monitoreo del sistema de transporte urbano, que se realiza normalmente cada 10 años para obtener los patrones de comportamiento de los desplazamientos (Muñoz, Thomas, Navarrete & Contreras, 2015). Esta encuesta proporciona información relevante para mejorar las condiciones de movilidad de la población y para la creación de políticas de transporte, medio ambiente y desarrollo urbano, según lo establecido por la Subsecretaría de Transporte (2013).

<sup>2</sup> Dentro de la metodología se explica en detalle el alcance geográfico de los datos.

<sup>3</sup> Esta área metropolitana se asocia al término de “Gran ciudad” y tiene como principal criterio la continuidad extensa de construcciones y edificaciones. Además debe tener presente que puede reunir a varios territorios de diferentes jurisdicciones (Kralich, 2016b), que para este caso son las comunas.

<sup>4</sup> La RMS contiene seis provincias y 52 comunas. Dentro de esta región se encuentra el AMS o también llamado Gran Santiago.

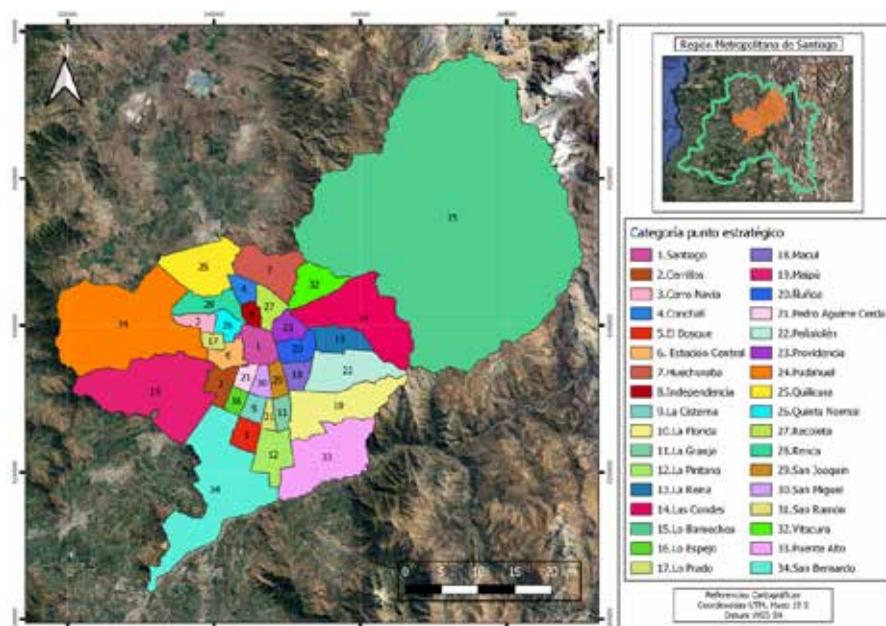


Figura 1. Área de estudio: Área Metropolitana de Santiago. Fuente: Elaboración propia con base en INE Chile (2019).

El levantamiento de datos de esta encuesta abarcó una muestra de aproximadamente 18.000 hogares seleccionados al azar en 45 comunas de la Región Metropolitana de Santiago (RMS) (OSUAH, 2014). Cabe destacar que la base de datos es representativa y tiene un nivel de confianza del 96,42% con un margen de error del 1%. Además, es importante mencionar que los datos recopilados que alimentan la matriz origen-destino en transporte privado corresponden a un día laboral durante la temporada normal. Se entiende por día laboral aquel que se encuentra entre lunes y viernes, inclusive. En cuanto a la temporada normal, se refiere al período comprendido entre los meses de marzo y diciembre. Teniendo en cuenta esta información, a continuación se describen los métodos asociados a los objetivos de la investigación.

## Método objetivo 1: cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Primero se desarrolla una cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el desplazamiento de transporte privado en 34 comunas de la AMS en el año 2012. La movilidad está basada en motivos asociados a trabajo, estudio, cuidado de la salud, compras, participación de actividades sociales y de ocio. Para llegar a dicha cuantificación fue necesaria la realización de tres etapas que se plantean en la Figura 2.

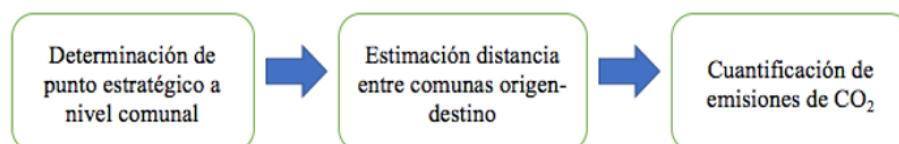


Figura 2. Etapas de la metodología del objetivo 1. Fuente: Elaboración propia con base en Garrido-Díaz (2013).

A continuación, se describen correlativamente las etapas indicadas en la Figura 2 para alcanzar la cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### *Etapas 1: determinación de punto estratégico a nivel comunal*

Respecto de las 34 comunas estudiadas, se seleccionó un lugar específico dentro de cada una de ellas para simplificar el cálculo de distancias. Es decir, cada comuna tiene un punto de origen y destino definido, determinado según las características físicas de cada comuna, especialmente si cuentan o no con un centro establecido. En esta investigación, se considera este supuesto, ya que este centro corresponde al lugar que concentra la mayor cantidad de movilidad en cada comuna. La determinación de este punto estratégico se realizó a través de dos categorías con el objetivo de identificar los puntos con mayor flujo de movilidad dentro de cada comuna.

La categoría de comunas con centro establecido se refiere a aquellas que presentan una estructura tradicional de cuadrícula, donde se encuentra una plaza central vacía rodeada por los edificios de la autoridad local, que representan las funciones administrativas de la comuna (Hardoy, 1983; citado por Durston, 1994). Este centro se identifica como una unidad territorial articuladora, con una alta densidad de empleos y oferta de bienes y servicios, lo que genera altos flujos de movilidad y concentración de personas (Ruiz-Lineros & Marmolejo Duarte, 2008). Para identificar estas comunas con centro establecido, se realizó una búsqueda en Google Maps del edificio municipal correspondiente y, posteriormente, de una plaza cercana. Si se cumplía esta condición, se seleccionaba la respectiva plaza como punto estratégico. En caso de no contar con esta característica, se pasaba a la categoría que se menciona a continuación.

La categoría de comunas sin centro establecido se caracterizan por la ausencia del modelo tradicional, dejando a la vista un origen espontáneo a la que se le fue incorporando posteriormente cierto ordenamiento físico dada su importancia económica, administrativa o estratégica (Zambrano Pérez, 2010). En otros casos, estas comunas sin centro establecido se originan a raíz de transformaciones con el paso del tiempo, donde se produjeron otras centralidades dentro de la comuna con una mayor influencia privada (Yañez Sánchez, 2014). Pese a los distintos orígenes que pueda tener una comuna sin un modelo tradicional, para estos casos el punto estratégico se seleccionó en el centroide de la comuna por medio del software libre Qgis. Este criterio del centroide se aplicó por considerarse un escenario promedio de las distancias en los focos de atracción y de origen en la comuna.

### *Etapas 2: estimación de distancia entre comunas origen-destino*

Posteriormente, para el cálculo de distancia se utilizó la información recopilada anteriormente. Así se elaboró una ruta tendencial en transporte privado entre cada punto estratégico de cada comuna a partir del software libre Google Maps. La función de esta herramienta corresponde a establecer distintas rutas por medio de la vialidad presente (calles y autopistas), estimando el tiempo y la distancia en kilómetros (Chillagano Vizcaíno, 2017). Esta técnica se utilizó debido a su representatividad en comparación al método de distancia lineal, puesto que este último solo toma la distancia más corta (Cáceres Márquez, Moreno Caicedo, Tello Cardona & Vargas, 2016) sin considerar la trama de la red vial en el territorio.

Cabe mencionar que se excluyeron las distancias cuando la comuna de origen y destino eran las mismas. De esta manera, los viajes realizados dentro de una misma comuna no se tuvieron en cuenta, ya que la investigación se centra en la movilidad intercomunal para definir los patrones geoespaciales.

### Etapa 3: cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>

En esta última etapa se asumió una emisión constante de CO<sub>2</sub> a lo largo de todo el desplazamiento, sin tener en cuenta la velocidad del vehículo ni el tiempo de desplazamiento. Por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> dependieron únicamente de los kilómetros recorridos en el viaje. Para estimar estas emisiones, se utilizó la ecuación propuesta por el IPCC (2006) (ver ecuación 1 en Figura 3). Esta ecuación fue empleada con el objetivo de estimar la emisión diaria en un día laboral en temporada normal, utilizando gasolina como fuente de combustible.

En relación con el factor de emisión (EF) mencionado en la ecuación 1 (ver Figura 3), este se entiende como un valor representativo que está relacionado con la cantidad de contaminante emitido en una actividad específica. Por lo general, se expresa como la masa del contaminante dividida por una unidad de peso, volumen, distancia o duración (Velasco & Bernabé, 2004). Estos factores de emisión dependen del año en que se estiman, del tipo de combustible y del tipo de vehículo que se considera<sup>5</sup>. En este estudio, se utilizó un factor de emisión de 264,3 [g CO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup>] para vehículos que utilizan gasolina, el cual fue propuesto por la *Environmental Protection Agency* (US EPA, 2018). La utilización de un factor de emisión internacional tiene como propósito facilitar la comparación posterior con otros estudios similares realizados en diferentes ciudades del mundo.

En cuanto a la distancia recorrida ( $AD_p$ ) indicada en la ecuación 1 (ver Figura 3), esta se refiere a los kilómetros asociados a la movilidad producida en un día laboral en temporada normal. Para obtener este valor, fue necesario conocer los viajes realizados en esta categoría ( $V_p$ ) y la distancia asociada a estos desplazamientos ( $D$ ). Respecto a  $V_p$ , este dato proviene de la matriz origen-destino (OSUAH, 2014), mientras que el valor de  $D$  fue obtenido en la etapa anterior. Por lo tanto, la distancia recorrida fue estimada utilizando la ecuación 2 (ver Figura 3).

Posteriormente, se utilizó la ecuación 3 (ver Figura 3) para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> en un año, y se procedió a calibrar el cálculo mediante la incorporación de la variación de los viajes a lo largo del año. Para ello, se multiplicaron los viajes en un día laboral durante la temporada normal por la cantidad de días laborales en un año (220 días, correspondientes a 44 semanas). En cuanto a los fines de semana, los desplazamientos disminuyeron en un 20% los sábados y en un 32% los domingos, en comparación con un día laboral en temporada normal. Estos valores, junto con su respectiva disminución porcentual, se multiplicaron por 44, que corresponde al número de fines de semana en un año en temporada normal. Por otro lado, un día en la temporada estival (enero-febrero) tuvo una disminución del 28% en los viajes, en comparación con un día laboral en temporada normal. Se aplicó esta disminución y se multiplicó por 56, considerando 8 semanas para la época estival. Por último, todos estos viajes se multiplicaron por la distancia respectiva entre los desplazamientos. Las disminuciones porcentuales fueron establecidas por la EODS de 2012 (OSUAH, 2014). Por ende, la emisión en un año queda expresada en la ecuación 4 indicada al final de la Figura 3.

<sup>5</sup> Comunicación personal con un profesional de la Universidad Federico Santa María.

**Fórmula N° 1**

$$g \text{ CO}_2 \text{ emitidos} = AD_i \times EF$$

Donde:

 $AD_i$ : distancia recorrida en un día laboral en temporada normal [km]. $EF$ : factor de emisión de  $\text{CO}_2$  por kilómetro recorrido [ $\text{g CO}_2 \text{ km}^{-1}$ ].**Fórmula N° 2**

$$AD_i = V_i \times D$$

Donde:

 $AD_i$ : distancia recorrida en un día laboral en temporada normal [km]. $V_i$ : viajes en un día laboral en temporada normal [N°]. $D$ : distancia entre puntos estratégicos [km].**Fórmula N° 3**

$$AD = ((V_I \times 220) + (V_I - (V_I \times 0,2) + V_I - (V_I \times 0,32)) \times 44 + (V_I - (V_I \times 0,28)) \times 56) \times D$$

Donde:

 $AD$ : distancia recorrida en un año [km]. $V_I$ : viajes en un día laboral en temporada normal [N°]. $D$ : distancia entre puntos estratégicos [km].**Fórmula N° 4**

$$\text{CO}_2 \text{ año} = AD \times EF$$

Figura 3. Fórmulas para el cálculo de emisiones de  $\text{CO}_2$ . Fuente: Elaboración propia.

## Método objetivo 2: determinación de los patrones de emisión de $\text{CO}_2$ por la movilidad intercomunal

La determinación de los patrones geoespaciales de emisión se realizó a partir de la información obtenida en la cuantificación de  $\text{CO}_2$  en el AMS. Estos valores fueron trabajados considerando la escala intercomunal e incorporando las macrozonas en el estudio (Cuadro 1), aplicando los tres indicadores con el fin de analizar la distribución de las emisiones de  $\text{CO}_2$  (Cuadro 2).

Cuadro 1. Determinación de macrozonas en el Área Metropolitana de Santiago (AMS). Fuente: OSUAH (2014)

Macrozonas	Comunas
Centro	Santiago.
Norte	Renca, Independencia, Recoleta, Conchalí, Quilicura y Huechuraba.
Occidente	Pudahuel, Cerro Navia, Quinta Normal, Lo Prado, Estación Central, Cerrillos y Maipú.
Oriente	Lo Barnechea, Las Condes, La Reina, Ñuñoa, Providencia y Vitacura.
Sur	Pedro Aguirre Cerda, La Pintana, El Bosque, La Granja, San Bernardo, San Miguel, La Cisterna, San Ramón, San Joaquín y Lo Espejo.
Sur-Oriente	Macul, Peñalolén, La Florida y Puente Alto.

Cuadro 2. Indicadores para determinar los patrones de emisión de  $\text{CO}_2$ . Fuente: Elaboración propia

Variable	Indicador	Unidad de medida	Fuente
Emisión comuna de origen	Emisión anual de $\text{CO}_2$ según comuna de origen	T año <sup>-1</sup>	Elaboración propia con base en la OSUAH (2014)
Emisión comuna de destino	Emisión anual de $\text{CO}_2$ según comuna de destino	T año <sup>-1</sup>	Elaboración propia con base en la OSUAH (2014)
Emisión por vehículo privado	Emisión anual de $\text{CO}_2$ según número de autos disponibles con base en gasolina	T año <sup>-1</sup>	INE Chile (2012)

## Resultados

### *Resultados del objetivo 1: cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte privado intercomunal en el Área Metropolitana de Santiago, año 2012*

En este punto se indican los resultados de la cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub> provocadas por el transporte privado ordenadas según las tres etapas señaladas en el método.

#### *Determinación del punto estratégico a nivel comunal*

De las 34 comunas incluidas en el estudio, 19 de ellas cuentan con un centro establecido, mientras que 15 comunas no presentan esta característica y se utilizó el criterio del centroide para representarlas.

En la Figura 4 se muestra la distribución de los puntos céntricos de cada comuna y su respectiva categoría. Se puede observar que las comunas con centro establecido se distribuyen principalmente en la zona sur, norte y occidente del Área Metropolitana de Santiago (AMS). En cambio, la distribución geoespacial de las comunas con centroides se encuentra marcado por aquellas aledañas a Santiago y por las comunas pertenecientes al sector oriente. Este espacio se caracteriza por tener una distribución policéntrica de equipamientos y servicios. Esto se manifiesta con varios centros de atracción en la propia comuna, donde se localiza infraestructura de oficinas privadas, infraestructura de ocio y recreación e instalaciones de salud (SEREMI Viv. y Urb. RMS, 2019). Estas características se ven potenciadas por su accesibilidad y usos de suelo dominantes en términos de comercio, lo que conlleva a una concentración de peatones y vehículos en este sector (Yáñez Sánchez, 2014).

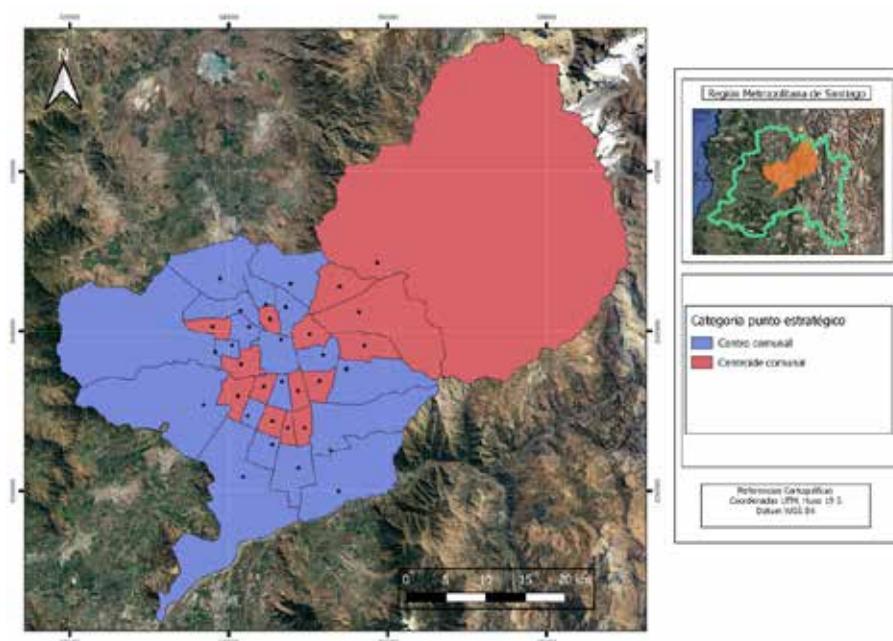


Figura 4. Categorías de selección y localización de punto estratégico a nivel comunal. Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps.

### Estimación de distancia entre comunas origen-destino

En el Cuadro 3 se presenta el total de las distancias estimadas para cada comuna, junto con su respectivo ranking<sup>6</sup>. De acuerdo con estos datos, las comunas más alejadas son Lo Barnechea (15)<sup>7</sup> con una distancia total de 864,7 km, seguida de Puente Alto (33) con 823,7 km y Quilicura (25) con 721,7 km. Estas distancias máximas se deben a la ubicación geográfica de estas comunas en la periferia del Área Metropolitana de Santiago (AMS).

Por otro lado, las comunas de San Miguel (30), Pedro Aguirre Cerda (21) y Santiago (1) presentan distancias menores en comparación con las demás comunas, con valores de 395,3 km, 416,3 km y 418,8 km, respectivamente. Estas comunas se encuentran ubicadas en el centro del AMS.

El promedio total de distancia entre las comunas del AMS es de 557,9 km. Se observa que un 38% de las comunas (poco más de un tercio) supera este promedio. Estos resultados proporcionan una primera idea de la distribución de las distancias para la movilidad intercomunal de origen y destino en el AMS.

**Cuadro 3.** Distancia en km entre las comunas del AMS. Fuente Elaboración propia con base en Google Earth 2021.

N° (asociado a mapas)	Comuna	Sumatoria km	Ranking distancia (orden decreciente según km)
15	Lo Barnechea	864,7	1
33	Puente Alto	823,7	2
25	Quilicura	721,7	3
34	San Bernardo	710,7	4
7	Huechuraba	679,4	5
3	Cerro Navia	660,4	6
12	La Pintana	659,9	7
14	Las Condes	659,6	8
32	Vitacura	636,7	9
19	Maipú	624,8	10
10	La Florida	615,8	11
22	Peñalolén	612,0	12
13	La Reina	575,6	13
24	Pudahuel	555,1	14
5	El Bosque	554,4	15
31	San Ramón	531,5	16
4	Conchalí	527,7	17
2	Cerrillos	519,7	18
17	Lo Prado	518,5	19
11	La Granja	518,4	20

<sup>6</sup> En el Cuadro 4 situado en el apartado anexos se indican las distancias estimadas de la ruta de menor desplazamiento asociada a un menor kilometraje de cada comuna entre sí.

<sup>7</sup> De ahora en adelante se agrega un número a cada comuna para poder identificarla en los mapas (cf. Figura 1).

N° (asociado a mapas)	Comuna	Sumatoria km	Ranking distancia (orden decreciente según km)
28	Renca	515,7	21
9	La Cisterna	503,5	22
27	Recoleta	496,4	23
16	Lo Espejo	494,3	24
26	Quinta Normal	467,9	25
23	Providencia	465,3	26
20	Ñuñoa	460,1	27
6	Estación Central	456,6	28
18	Macul	452,0	29
8	Independencia	430,1	30
29	San Joaquín	426,7	31
1	Santiago	418,8	32
21	Pedro Aguirre Cerda	416,3	33
30	San Miguel	395,3	34

### *Cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> y comparación con otro estudio*

La movilidad intercomunal del transporte privado en el AMS ocasiona una emisión de 8.721 toneladas de CO<sub>2</sub> en un día laboral en temporada normal. Por lo tanto, la emisión anual del año 2012 asciende a 2.838.199 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Este resultado anual se considera consistente en comparación con un estudio de la Universidad de Santiago de Chile (USACH, 2014), que indica que la emisión de CO<sub>2</sub> anual para el año 2012 correspondió a 10.401.297 toneladas provenientes del sector transporte global. Dado que el presente estudio solo se enfoca en las emisiones del transporte privado y no del sector transporte terrestre en su totalidad, se estimó que el 28% de 10.401.297 toneladas (OSUAH, 2014) equivale a los viajes realizados por medio de transporte privado. Por lo tanto, el resultado con el cual se compara este estudio equivale a 2.912.363 toneladas de CO<sub>2</sub> por año.

De esta manera, considerando las 2.838.199 toneladas de CO<sub>2</sub> en el año 2012, obtenidas en esta cuantificación utilizando la metodología propuesta, y las 2.912.363 toneladas estimadas por el Inventario de la USACH (2014), se afirma que ambos resultados poseen un orden de magnitud comparable. Contando con una diferencia del 2,61% del Inventario USACH por sobre el resultado obtenido en esta cuantificación. Las posibles causas de esta diferencia pueden deberse a la cantidad de comunas del área de estudio en la presente investigación que consideró al AMS, mientras que el trabajo de la USACH (2014) también comprendió a comunas rurales y suburbanas.

## Resultados del objetivo 2: determinación de los patrones geospaciales de emisión de CO<sub>2</sub> por la movilidad privada intercomunal en el Área Metropolitana de Santiago

A continuación se exponen los tres indicadores ya señalados en el método para determinar los diferentes patrones geospaciales de emisión de CO<sub>2</sub>, demostrando que estas emisiones no se producen de manera uniforme dentro del AMS.

### Indicador 1: patrones geospaciales de emisiones de CO<sub>2</sub> según comuna origen en el AMS

En la Figura 5 se indica la distribución a nivel comunal, donde se aprecia que los valores mayores provienen desde las comunas de Las Condes (14) con una emisión de 310.256 t año<sup>-1</sup>, seguido por Santiago (1) con 282.742 t año<sup>-1</sup>, luego la comuna de Providencia (23) con un aporte de 240.169 t año<sup>-1</sup> y en una cuarta posición de forma descendente se sitúa la comuna de Maipú (19) con una emisión de 160.404 t año<sup>-1</sup>. Estas comunas provienen desde las macrozonas oriente, centro y occidente. La emisión de estas cuatro comunas equivale al 35,01% del total de las emisiones ocasionadas por el origen de la movilidad. A partir de la Figura 5 también se logra apreciar una evidente diferencia entre las comunas con mayores y menores emisiones. Para ejemplificar, la comuna de Las Condes (14) cuenta con una emisión 22 veces mayor que la emisión de la comuna de Lo Prado (17), la cual posee una emisión de 13.968 t año<sup>-1</sup>. Por otro lado, Las Condes (14) comparada con la comuna de Conchalí (4) (22.046 t año<sup>-1</sup>) presenta una emisión 14 veces más alta. En el caso de la comuna de Independencia (8) (24.198 t año<sup>-1</sup>), Las Condes (14) cuenta con una emisión 12 veces superior. Las diferencias de los patrones geospaciales entre estas comunas se pueden explicar por la cantidad de ingresos monetarios de los habitantes.

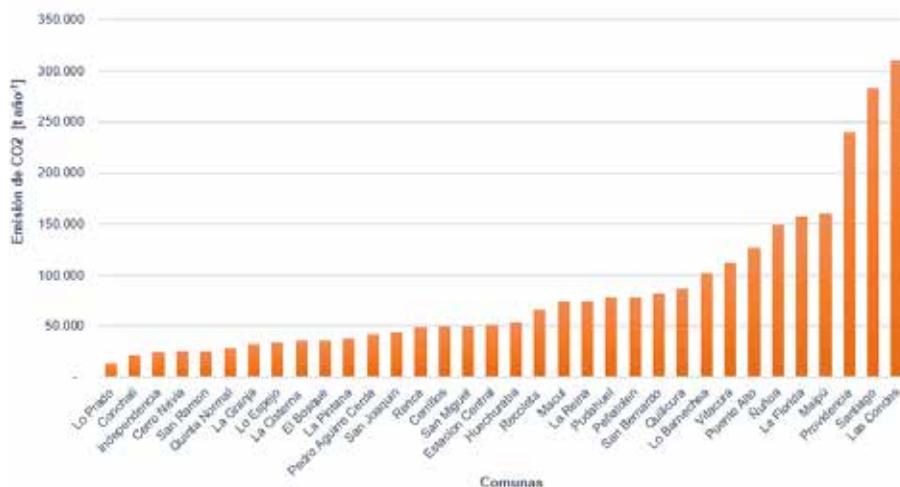


Figura 5. Emisiones de CO<sub>2</sub> según comuna de origen en el AMS, año 2012. Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014.

El promedio de emisión anual a nivel comunal del origen de la movilidad es de 83.476 t año<sup>-1</sup>. Este promedio se ve ampliamente afectado por las comunas de mayores emisiones, ya que del total de comunas, el 70% (24 comunas) se encuentran bajo ese número. Por otro lado, diez comunas tienen emisiones tan significativas que representan el 30%

e influyen de forma mayoritaria en el porcentaje restante al calcular el promedio. En el caso de las comunas de Las Condes (14), Providencia (23), Ñuñoa (20), Vitacura (32) y Lo Barnechea (15); estas se encuentran en el sector oriente y sus emisiones se ocasionan debido al alto nivel de ingreso de sus habitantes, lo que tiene como consecuencia una alta presencia de vehículos motorizados y por consiguiente de desplazamientos (Rodríguez Vignoli, 2008).

La Figura 6 muestra que la mayoría de las emisiones provienen del sector oriente del AMS, siendo Las Condes (14) la comuna que más contribuye a estas emisiones. En el mapa (Figura 6) se representa con el tono de color más intenso, seguida por Providencia (23) y Santiago (1). Además, se observa una distribución geográfica con valores más altos tanto en el sector oriente como en la periferia del AMS, con la participación de comunas como Maipú (19), Puente Alto (33) y La Florida (10). Una de las causas de estas emisiones está relacionada con las distancias que los vehículos de estas comunas periféricas deben recorrer para llegar a sus destinos en el AMS. Esto refleja los patrones geoespaciales de emisión según la comuna de origen.

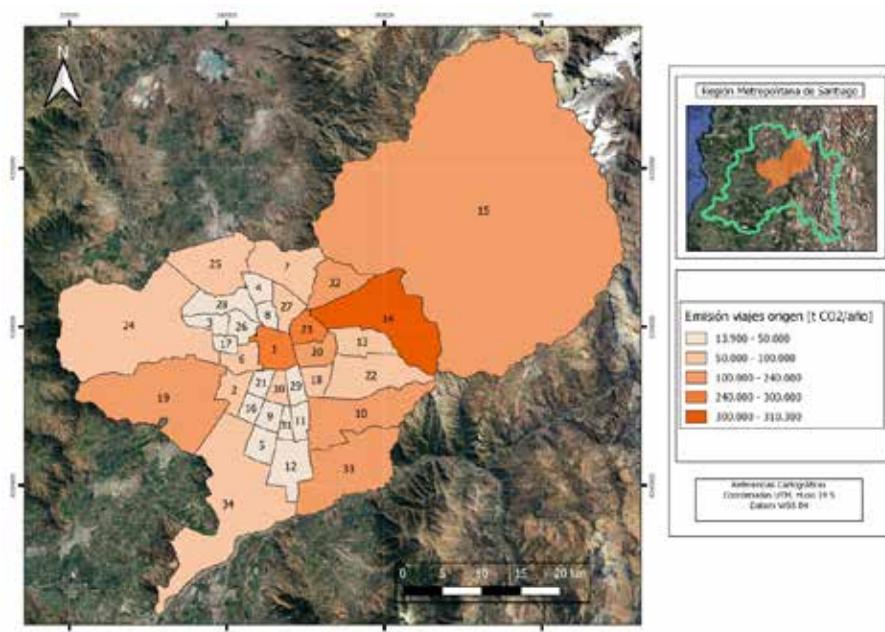


Figura 6. Patrones geoespaciales según las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por las comunas de origen del desplazamiento [t año<sup>-1</sup>] en el AMS, año 2012. Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014.

### Indicador 2: patrones geoespaciales de emisiones de CO<sub>2</sub> según comuna destino en el AMS

Los destinos de los desplazamientos se concentran principalmente en el sector oriente debido a la presencia de numerosos puestos de trabajo en las comunas de Las Condes (14) y Providencia (23) (SII Chile, s. f.). Esto se debe también a la concentración de zonas designadas para equipamiento, que incluyen actividades deportivas, de salud, culturales y educativas. En el caso de la comuna de Santiago (1), aproximadamente el 17,5% del uso de suelo se clasifica como equipamiento (SEREMI Viv. y Urb. RMS, 2019).

A nivel comunal, las mayores emisiones de CO<sub>2</sub> provienen principalmente de Las Condes (14), con una contribución de 303.884 toneladas por año<sup>-1</sup>. En segundo lugar se encuentra Santiago (1) con una emisión de 292.999 toneladas por año<sup>-1</sup>, seguida de Providencia (23) con 230.483 toneladas por año<sup>-1</sup>, y Ñuñoa (20) en cuarto lugar con 162.512 toneladas por año<sup>-1</sup> (ver Figura 7). Estas cuatro comunas representan el 34,88%

del total de las emisiones por desplazamientos hacia los destinos, lo que corresponde a más de un tercio del total de emisiones. Por otro lado, las comunas que generan menos emisiones de CO<sub>2</sub> son Lo Prado (17), Conchalí (4), Quinta Normal (26) y San Ramón (31), ubicadas en el sector occidente, norte y sur del AMS. Estos resultados indican que estas comunas no cuentan con una oferta suficiente de servicios urbanos que atraigan los desplazamientos como ocurre en Las Condes (14), Santiago (1) y Providencia (23). La Figura 7 muestra una clara diferencia entre las comunas con mayores y menores emisiones. Por ejemplo, Las Condes (14) tiene una emisión 21 veces mayor que Lo Prado (17), 16 veces mayor que Conchalí (4) y 12 veces mayor que Quinta Normal (26).

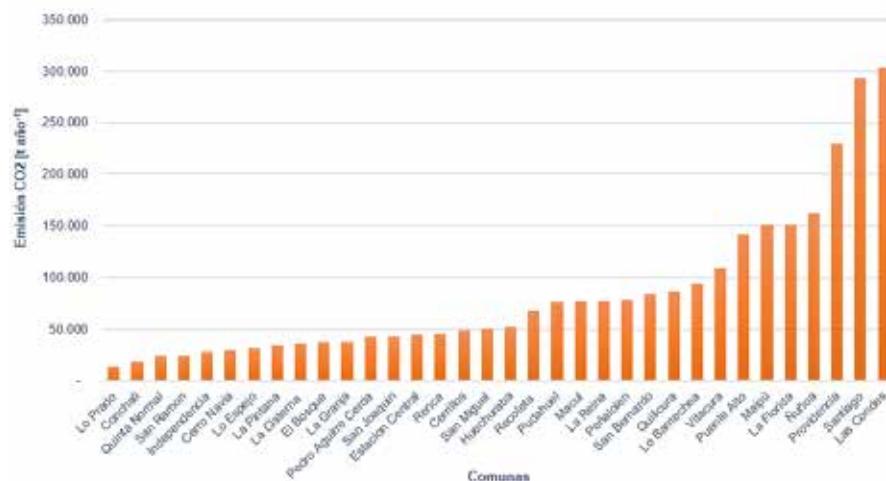


Figura 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> según comuna de destino en el AMS, año 2012. Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014.

En la Figura 8 se presenta la distribución de los patrones geospaciales de estas emisiones a nivel comunal. En esta se advierte que las emisiones más altas se ubican en Las Condes (14), Santiago (1) y Providencia (23), además se observa una distribución de altas emisiones también en la periferia del AMS, originadas en las comunas de La Florida (10), Puente Alto (33) y Maipú (19) debido a que se configuran como nuevos polos de atracción, conformando así una nueva dinámica de la estructura de la ciudad (Yáñez Sánchez, 2014). Esto ha modificado en parte los patrones geospaciales de movilidad en cuanto al consumo. Sin embargo, esto no ha ocurrido con la movilidad de los habitantes en funciones más especializadas, como es el lugar de trabajo o estudio que sigue siendo principalmente el centro tradicional de la ciudad, cuyo caso en la AMS corresponde a las comunas de Las Condes (14), Providencia (23) y Santiago (1) (SII Chile, s. f.) (ver Figura 8).

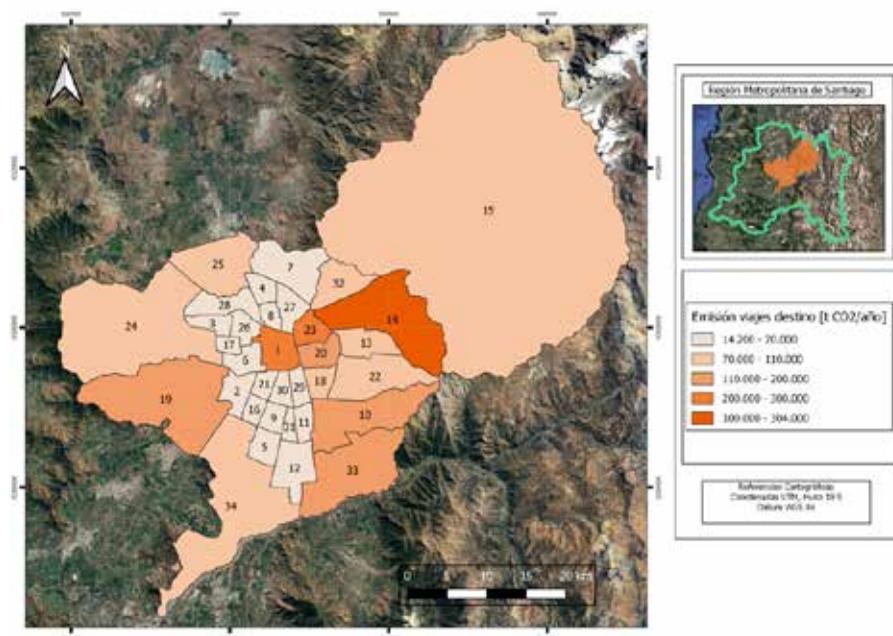


Figura 8. Patrones geoespaciales según las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por las comunas de destino del desplazamiento [t año<sup>-1</sup>] en el AMS, año 2012. Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014.

### Indicador 3: patrones geoespaciales de emisiones de CO<sub>2</sub> por vehículo privado en el AMS

La emisión por vehículo privado corresponde al cociente entre las emisiones según comuna de origen (indicador 1) por la cantidad de vehículos que utilizan gasolina inscritos en cada comuna según el permiso de circulación del año 2012. Este indicador proporciona una calibración de la cuantificación realizada anteriormente en el indicador 1, ya que el número de viajes de cada comuna está directamente relacionado con los vehículos disponibles en cada una de ellas. Por lo tanto, los resultados de este indicador proporcionan las emisiones de CO<sub>2</sub> de cada habitante que posee un automóvil privado.

En la Figura 9 se muestra la distribución de emisiones a nivel de macrozonas del AMS (ver Cuadro 1), donde el sector sur (31%) y el sector norte (19%) tienen los mayores porcentajes en las emisiones de CO<sub>2</sub>, representando el 50% del total anual. Posteriormente, se encuentra el sector occidente (18%) junto con el sector oriente (17%), mientras que el sector suroriente (9%) y el sector centro (6%) tienen porcentajes menores. De este modo, se deduce que los habitantes del sector sur son los que deben recorrer mayores distancias dentro del AMS por motivos de trabajo, estudio, compras, cuidado de la salud y ocio, entre otras actividades. Por lo tanto, este sector es el principal responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub> al moverse entre varias comunas.

Por otro lado, se destaca una particularidad con respecto al porcentaje del sector oriente (ver Figura 9). En los indicadores anteriores, este sector tenía porcentajes superiores al 30% en sus comunas. Sin embargo, en este caso su participación es menor. Esta situación se infiere en vista que los habitantes de dicha área se movilizan principalmente a comunas aledañas de su comuna de residencia: Las Condes (14), Vitacura (32), Lo Barnechea (15) y La Reina (13). Por ende, los habitantes de estas comunas no se trasladan grandes distancias como sí lo hacen otros sectores para satisfacer sus distintas necesidades.

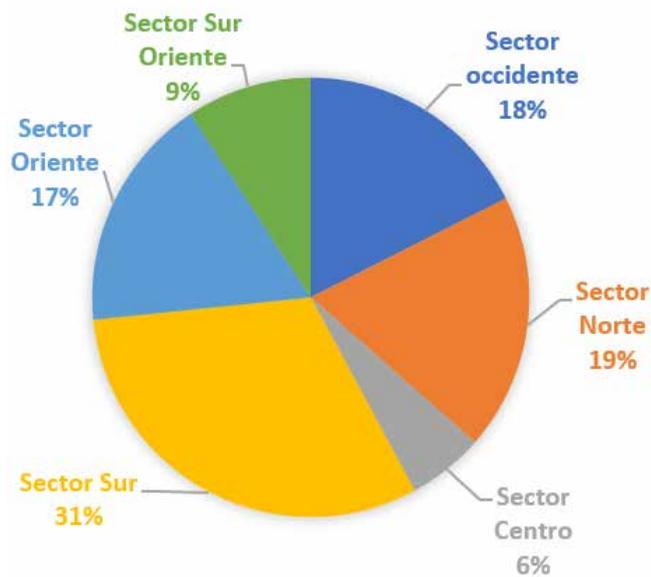


Figura 9. Distribución porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel de macrozonas del AMS según la emisión por vehículos disponibles en cada comuna, año 2012. Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014.

Los patrones geoespaciales de emisión a nivel comunal (ver Figura 10) revelan que las emisiones más altas se originan en las comunas de Santiago (1) (5.177 kg año<sup>-1</sup>) y Renca (28) (4.577 kg año<sup>-1</sup>), superando los 4.000 kg año<sup>-1</sup>. Esto indica que estas comunas tienen un mayor kilometraje recorrido para satisfacer necesidades de trabajo, estudio, ocio, salud, entre otros. Por otro lado, se observan ocho comunas con las emisiones más bajas, que no superan los 2.000 kg año<sup>-1</sup> (ver Figura 10). Esto sugiere que estos desplazamientos se concentran principalmente en comunas cercanas.

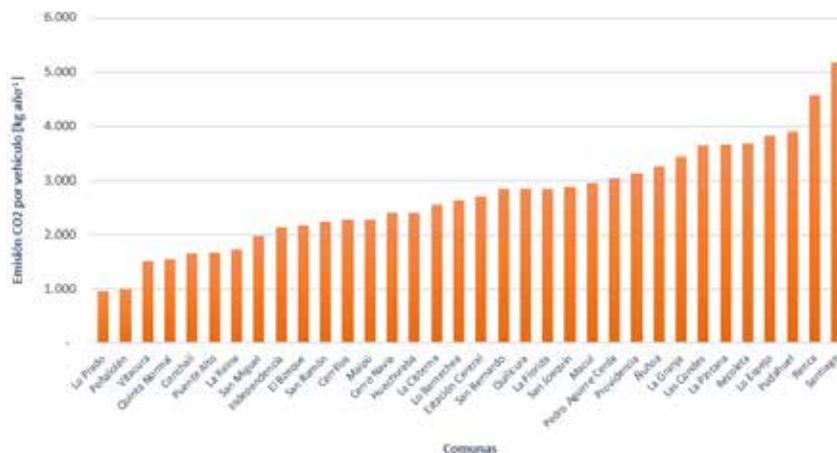


Figura 10. Emisión de CO<sub>2</sub> por vehículo privado según comuna de origen en el AMS, año 2012 Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014.

Gracias a la Figura 11 se puede afirmar que la distribución de los patrones geoespaciales de las emisiones es más diversa en el AMS en comparación a los indicadores anteriores. Los valores más altos de emisión se localizan en el sector centro, en el sector norte y occidente, acentuado por la comuna de Renca (28) y Pudahuel (24). También en el

sector sur con Lo Espejo (16), La Granja (11) y La Pintana (12). Sumado a un caso del sector oriente, donde destaca nuevamente la comuna de Las Condes (14).

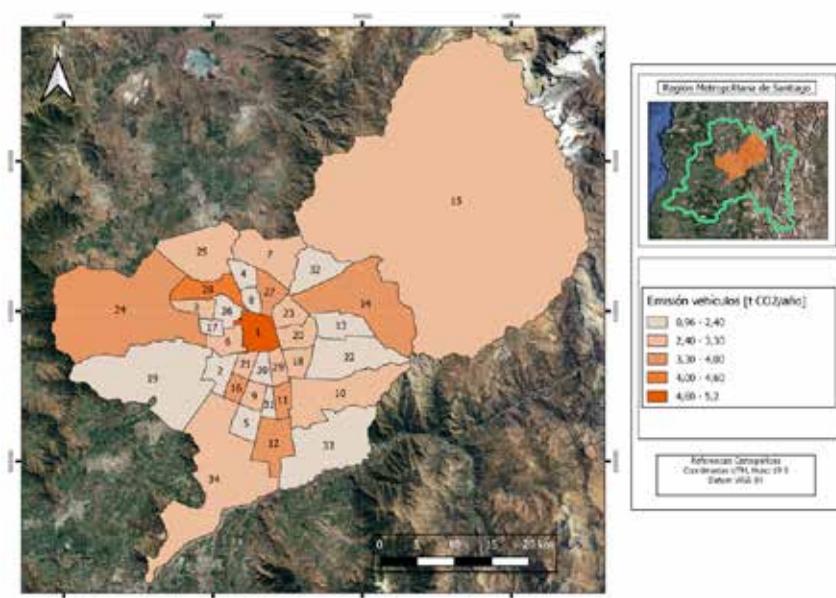


Figura 11. Patrones geoespaciales según la emisión de CO<sub>2</sub> por vehículo privado [t año<sup>-1</sup>] en el AMS, año 2012. Fuente: Elaboración propia con base en OSUAH, 2014

Es importante destacar que la distancia entre las comunas no es un factor significativo en la estimación de las emisiones. Lo que influye de manera más importante es el destino de estos desplazamientos. Por ejemplo, a pesar de que la comuna de Lo Barnechea (15) se encuentra más alejada del centro, (cf. Cuadro 3), no genera las mayores emisiones como podría esperarse. En cambio, las mayores emisiones en este indicador corresponden a Santiago (1), Renca (28) y Pudahuel (24). Esto sugiere que los habitantes de la comuna de Lo Barnechea (15) realizan desplazamientos con destinos más cercanos utilizando vehículos privados, a diferencia de las comunas mencionadas anteriormente. Estas diferencias en la distribución de equipamiento y servicios dentro de la AMS pueden abordarse desde una perspectiva integral de ordenamiento territorial para equilibrar los servicios urbanos de manera más eficiente.

## Discusión

### *Patrones geoespaciales de emisión de CO<sub>2</sub> y sus implicancias en el ordenamiento territorial*

En este estudio se constata que los patrones geoespaciales de emisión de CO<sub>2</sub> asociado a la movilidad del transporte privado a nivel intercomunal se concentra en el sector oriente en el AMS, según los indicadores de emisión comuna de origen y de destino de los desplazamientos. Respecto al origen de la movilidad, el sector oriente predomina por la cantidad de vehículos que existen en esta zona (INE Chile, 2012). En cuanto al destino de los desplazamientos, la causa de la concentración de las emisiones se debe a la localización de la disposición de servicios y empleos como se ha venido describiendo en los resultados. En el caso del indicador que considera el número de vehículos disponibles, los patrones de emisión cuentan con una presencia mayor de las comunas de zona sur y norte, lo que permite deducir que los habitantes de estas

macrozonas son los que deben trasladarse mayores distancias hacia sus destinos de movilidad producto de la ausencia de servicios y equipamiento. Esto se explica por la ausencia de un sistema público de ordenamiento territorial (Ubilla Bravo, 2015), una PNOT que es solo una declaración de principios de nivel indicativo (Decreto N° 469, 2021) y el abordaje sectorial de la planificación territorial (Ubilla Bravo, 2008), como se señaló en la introducción. Como consecuencia de lo anterior, el mercado inmobiliario es el principal agente que regula el acceso al suelo (Valencia P, 2006) y las políticas habitacionales en el pasado han promovido localizaciones periféricas de las viviendas sociales (Morales, Levy, Aldunate & Rojas, 1990). De este modo, las comunas periféricas del sur y del norte del AMS no logran atraer la localización de servicios y lugares de trabajo como ocurre en las zonas donde se sitúan los grupos de mayor nivel de ingresos. De esta manera se ven obligados a movilizarse grandes distancias, aumentando así las emisiones de CO<sub>2</sub> en la ciudad (Moliní Fernández & Salgado, 2012).

Vinculando este estudio con el argumento anterior, se pudo constatar la importante participación del sector sur de la AMS en las emisiones de CO<sub>2</sub> producto de su movilidad intercomunal. Según Celedón Forster (2019) esto se puede asociar a las decisiones que tomó la Dictadura cívico-militar en Chile con el fin de reorganizar el espacio trasladando a los habitantes de menores recursos entre los años 1976 y 1979. Estos traslados ocurrieron desde las áreas urbanas estratégicas para el desarrollo inmobiliario: Vitacura, La Reina, Las Condes y Providencia (Morales, Levy, Aldunate & Rojas, 1990) hacia territorios periféricos, generalmente ubicados en el sector sur del Área Metropolitana de Santiago. Por lo tanto, el desarrollo de esta urbanización en el sector sur no fue planeada considerando servicios y empleos, lo que provocó la alta movilidad intercomunal ya que no se satisfacían las distintas necesidades de los habitantes (Vergara Perucich, Correa Parra & Aguirre Núñez, 2020).

De las decisiones públicas depende el devenir territorial, económico, social y ambiental para hacer frente a las distintas desigualdades que se reflejan dentro del AMS. A propósito de ello, en 2005 se publicó el informe final del proyecto de Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS) (Contreras Alonso, Opazo, Núñez Pino & Ubilla Bravo, 2005), el cual tenía como objetivo disponer las bases técnicas para orientar y definir una política de ordenamiento territorial que apuntara hacia un desarrollo regional equilibrado. Para ello se propuso una imagen objetivo de la Región Metropolitana de Santiago que establecía lineamientos como la concentración descentralizada y las ciudades compactas.

Respecto del primer concepto, este busca una concentración de funciones en un grupo de centros distribuidos por la ciudad, evitando los desplazamientos de elevadas distancias, tiempo y por consiguiente de emisiones. En cuanto al segundo concepto, este señala que el tamaño de la urbe debiese ser menor y más compacta, por lo tanto, la distribución de la vivienda, el trabajo, el estudio, el ocio y el descanso se ubicarían en áreas cercanas, disminuyendo tiempo en los desplazamientos (Contreras Alonso *et al.*, 2005). De esta manera se puede constatar que hace más de 15 años se planteaban lineamientos para evitar o disminuir la problemática actualmente abarcada en esta investigación sobre la movilidad de los habitantes a causa de la desigualdad territorial en la localización de servicios.

Sin embargo, a pesar de la información proporcionada por el proyecto OTAS, solo algunos aspectos fueron considerados en la toma de decisiones por parte de las autoridades políticas del AMS. El Gobierno Regional (GORE) publicó al año siguiente el Atlas Socioeconómico de la RMS (Rossetti Gallardo *et al.*, 2006), que representó la desigualdad en relación con el destino de los desplazamientos (ver Figura 12). Estos patrones de movilidad persisten en el tiempo debido a la falta de acciones para regular este fenómeno. Es necesario cuestionarse cuándo se implementará de manera integrada y coordinada un sistema de ordenamiento territorial que contribuya a superar esta visión fragmentada del espacio geográfico metropolitano en el AMS.

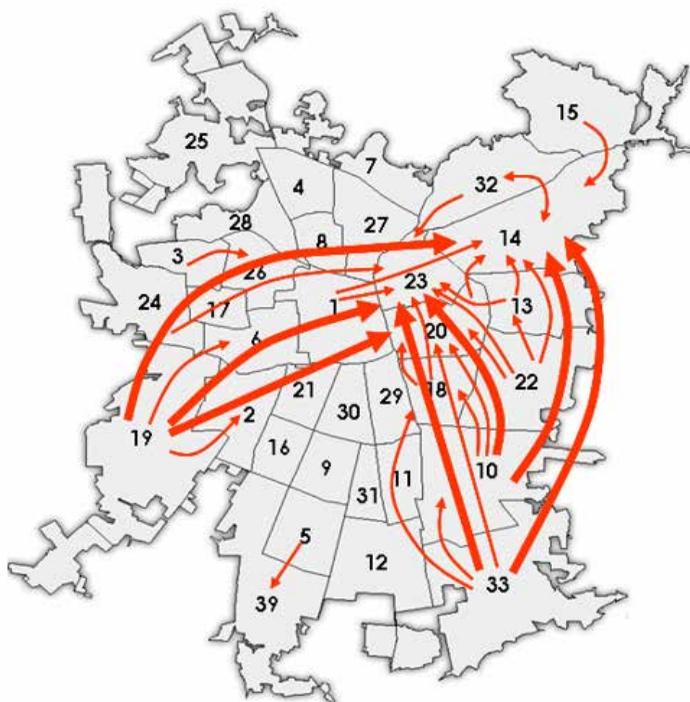


Figura 12. Principales flujos de desplazamiento diario de personas en el AMS, año 2002. Fuente: Rossetti Gallardo et al. (2006)

## Relación con estudios similares y otros territorios

Este artículo se enmarca dentro de una línea de investigación que se centra en el análisis de la geografía del transporte (Torrego Serrano, 1986), la relación entre el espacio geográfico y el transporte (Kralich, 2016a), y los estudios que buscan comprender las dinámicas del transporte urbano (Bertolini, le Clercq & Straatemeier, 2008). En relación con otros estudios, se pueden identificar cuatro temas principales: (i) la movilidad dentro de un área metropolitana, (ii) la falta de planificación urbana y ordenamiento territorial, (iii) el análisis de viajes origen-destino, y (iv) la estimación de emisiones de gases.

En este sentido, se destaca la similitud con un estudio realizado en Medellín por Ríos Bedoya, Marquet & Miralles-Guasch (2016), que aborda estos mismos cuatro temas y pone énfasis en las desigualdades observadas. También hay dos estudios desarrollados en Caracas entre 2005 y 2007 (Lizarraga, 2012) y en Ciudad de México en 2017 (Castañeda-Olvera, 2020), que abordan tres de los cuatro temas mencionados, reflexionando sobre las distancias intercomunales y sus efectos en la desigualdad. Lizarraga (2012) aborda más detalladamente las externalidades negativas, como la contaminación, la congestión y los accidentes, mientras que Castañeda-Olvera (2020) presta mayor atención al nivel de vulnerabilidad de la población.

Además, hay estudios que se centran en la movilidad metropolitana y la falta de un sistema de planificación, como los realizados en Barcelona entre 2008 y 2018 (Cubells, Marquet & Miralles-Guasch, 2020) y en Guadalajara para el período 2010-2014 (De Quevedo García, Asprilla Lara & González Pérez, 2017). Este último introduce los conceptos de homeostasis y entropía para analizar la situación de la movilidad urbana

y su relación con la calidad del aire. Otro estudio que también aborda la estimación de emisiones es el realizado por Plakolb, Jäger, Hofer & Füllsack (2019) en la ciudad de Salzburgo, Austria, aunque se centra en el gas NO<sub>x</sub> y utiliza una geometría geoespacial de datos de transporte privado en forma de vectores de líneas que representan las principales vías de la ciudad.

Otro trabajo que coincide con el área de trabajo (Área Metropolitana de Santiago), pero no con el mismo propósito, es el estudio de Cerda Troncoso & Marmolejo Duarte (2010) quienes trabajaron para las ciudades de Santiago y Barcelona con datos de 2001, enfocándose en la identificación de centralidades urbanas de destino considerando los servicios metropolitanos. Un último estudio que se destaca en este subapartado es el de Seguel Aburto & Samaniego (2020) quienes constataron la relación similar que hay entre el tamaño de la población, el área de las ciudades intermedias chilenas (no metropolitanas) y la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub>. De todas estas lecturas emerge un hallazgo, donde se advierte que el presente artículo tiene el mayor nivel de profundización en torno al debate sobre la mirada integral de la planificación y el ordenamiento territorial en relación con la movilidad por transporte privado.

## Límites metodológicos de la investigación

Como se mencionó en la introducción y la metodología de este estudio, los datos utilizados fueron recopilados mediante la Encuesta de Origen y Destino (EOD) en 2012. Aunque estos datos tienen cierta antigüedad, se considera probable que los patrones geoespaciales de emisiones se mantengan e incluso se intensifiquen con el tiempo. Se espera que la distribución geoespacial de los desplazamientos continúe dirigiéndose hacia las comunas de Santiago, Providencia y Las Condes (Subsecretaría de Transporte, 2013).

La situación estudiada en este artículo seguirá persistiendo si no se realizan cambios fundamentales en el modelo territorial desigual que está establecido. Esto se evidencia en otro estudio en el que se encontró que varias comunas del AMS tienen la intención política, a través de sus Planes de Desarrollo Comunal (PLADECO), de convertirse en centralidades urbanas a pesar de no serlo en la práctica (Ubilla Bravo & Villegas Salgado, 2017). Estos hallazgos se relacionan con los resultados de los patrones geoespaciales analizados en este estudio.

Otro aspecto que se debe considerar como una limitación de la investigación es la falta de información sobre la incertidumbre en los resultados al suponer el punto estratégico a nivel comunal. En el presente estudio no se consideró el valor de la incertidumbre en los resultados, dada la dificultad para obtener dicho valor real. En este sentido hay que considerar que cualquier punto dentro de un área de una comuna podría ser válido en relación con el punto estratégico. Y ese valor puede tender al infinito. Es justamente por ello que se propuso este supuesto del punto estratégico comunal en el estudio.

A esto se suma que los datos obtenidos desde SECTRA venían agrupados por comuna y no con un nivel inferior que esta, por lo tanto no se podía homologar. A pesar de ello, consideramos que si otros autores desearan desarrollar una metodología para minimizar la incertidumbre de los resultados sobre el punto estratégico a nivel comunal, dicho estudio podría utilizar como base los datos de tránsito vehicular a partir de las plataformas digitales móviles. A modo de extensión, se recomienda entonces un análisis de datos de tránsito vehicular, con base en la información de plataformas móviles como Waze. Esto permitirá mejorar el límite de esta investigación asociado a la precisión de los puntos estratégicos a nivel comunal, teniendo presente sus recorridos y distancias.

Otra pregunta que merece atención en este subapartado es ¿qué tanto afecta el resultado de la emisión agregada de CO<sub>2</sub> el uso de un único factor de emisión (264,3 gCO<sub>2</sub>/km) considerando que la flota vehicular es heterogénea en modelo, cilindraje, categoría y tipo de combustible? Si bien la flota vehicular es heterogénea en cuanto a modelo, cilindraje, categorías y tipo de combustible, se utilizó un único factor de emisión debido a los propios límites de la investigación, puesto que no se cuenta (considerando el año 2012) con ese nivel de detalle para cada uno de los viajes en la Encuesta Origen-Destino (EOD) 2012.

De hecho, tal como lo menciona Tolvett Caro, Henríquez & Osses (2016) en el país no existe una base oficial de factores de emisión de vehículos motorizados. De todas formas, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones realiza un control de la entrada de vehículos a través del Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV). A través de estos datos para el año 2012 se estimó un factor de emisión promedio para vehículos que utilizan gasolina como fuente de combustible entre los años 2008-2012 dando como resultado 200,2 g CO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup>. Sin embargo, este factor estimado no se considera representativo para ser utilizado, pues considera los factores de emisión de los modelos de vehículos que entraron al país para ser comercializados sin considerar la cantidad de cada modelo. Por lo tanto, se utilizó un único factor de emisión internacional debido a la inexistencia de información con ese nivel de detalle (modelo, cilindraje, categorías y tipo de combustible), sumado a la ausencia de una base oficial de factores de emisión en el país.

Es importante tener en cuenta que, a pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos son del mismo orden de magnitud que los del estudio de USACH (2014), lo que indica que el factor de emisión utilizado es consistente en términos generales con las emisiones de CO<sub>2</sub> por movilidad en el contexto estudiado.

Dado que toda investigación tiene limitaciones metodológicas, es importante seguir evaluando este fenómeno de movilidad utilizando otros insumos que proporcionen una cobertura y especificidad mayores. Se sugiere considerar variables adicionales, como el nivel educacional de los habitantes de cada comuna, el nivel socioeconómico y los motivos de los desplazamientos, entre otros factores, para obtener un mayor entendimiento de la movilidad de la población y sus patrones geoespaciales de emisión.

Como hipótesis para futuros estudios, se plantea que el motivo de los viajes influirá directamente en la distribución y alcance de los desplazamientos, lo cual podría ser explorado en mayor profundidad.

Además, se recomienda realizar el mismo análisis metodológico utilizando datos de transporte público, a fin de analizar los patrones geoespaciales de emisión asociados a este modo de transporte.

Por último, se invita a utilizar la metodología propuesta con datos más actualizados, lo cual permitirá obtener una visión más precisa y actual de los patrones de movilidad y emisión en el área de estudio.

## Contribución extensiva de la investigación

Una primera contribución de este trabajo es la cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub>. En este sentido es relevante mencionar que pese a los avances tecnológicos y a la eficiencia de los motores en cuanto a las emisiones también es necesario ejecutar estrategias territoriales que modifiquen los patrones de movilidad (Banister, 2011), ya que el parque automotriz en la AMS seguirá en aumento (Subsecretaría de Transporte, 2013). En cuanto a la metodología de la cuantificación de emisiones, esta se basó en la fórmula del IPCC (2006) incorporando pasos previos que fueron estructurados basados en la investigación de Garrido-Díaz (2013) quien utilizó datos de 2001 para Santiago de Chile. Además, se apreció que los resultados aquí presentados arrojaron un orden de magnitud comparable con una diferencia menor al 3% en comparación al estudio realizado con la metodología MODEM (USACH, 2014).

Este trabajo también contribuye a una mejor comprensión de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que la información generada aquí es y será útil para reiterar la necesidad de reducir la carga contaminante asociada al parque automotor en áreas metropolitanas y centros urbanos. Además, las cifras de emisiones de GEI obtenidas en los resultados del objetivo 1 pueden ser utilizadas como insumo para los inventarios nacionales, especialmente para la próxima Comunicación Nacional ante el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.

Otra contribución importante de este artículo es su enfoque en la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y la planificación y ordenamiento territorial, un tema que no ha sido abordado en profundidad en otros estudios. En este sentido, se destaca la importancia de contar con una cuantificación precisa de las emisiones generadas por la movilidad del transporte motorizado privado.

## Conclusiones

En la presente investigación se cuantificaron las emisiones y posteriormente se determinaron los patrones geoespaciales de emisión de CO<sub>2</sub> ocasionado por el transporte privado en el AMS mediante distintos indicadores, utilizando como base los datos disponibles de la EODS (OSUAH, 2014) e incluyendo etapas previas para realizar dicha cuantificación. Se afirma que las diferentes características de cada comuna como la cantidad de viajes, la distancia hacia sus destinos y la tasa de motorización influyen en estos patrones geoespaciales de emisión.

A partir de este estudio, se puede concluir que hay grupos de la población en el AMS que se ven afectados en términos de movilidad debido a la organización espacial de los servicios urbanos. Por lo tanto, se propone que la planificación de la ciudad debe tener una visión integral de ordenamiento territorial, teniendo en cuenta la calidad de vida de los habitantes y buscando construir una ciudad sustentable a largo plazo. Es importante considerar la cantidad y diversidad de servicios en cada comuna. Ante el constante crecimiento de la ciudad y el aumento del parque vehicular, la planificación del territorio se vuelve una necesidad urgente.

No es suficiente plantear discursos y buenas intenciones políticas (Ubilla Bravo y Villegas Salgado, 2017), también es necesario utilizar estudios e instrumentos disponibles, como el proyecto OTAS (Contreras Alonso *et al.*, 2005) y la Estrategia Regional de Desarrollo (Ubilla Bravo, Mombiola Garrido, Sepúlveda Miranda, Robles Vargas & Díaz Seguel, 2014), de manera vinculante para contribuir a la construcción de una ciudad más sustentable y equitativa desde una perspectiva territorial.

Además, es importante destacar que comprender los patrones geoespaciales de emisión causados por la movilidad de los habitantes proporciona puntos clave para el desarrollo de políticas efectivas de reducción de emisiones (Palazzi, citado por Ríos Bedoya, Marquet & Miralles-Guasch, 2016). La cuantificación de emisiones también es un tema significativo en el contexto del cambio climático en las ciudades, ya que el sector automotriz contribuye de manera considerable a las emisiones de CO<sub>2</sub> y, por lo tanto, a las emisiones de gases de efecto invernadero (Garrido-Díaz, 2013). Por lo tanto, este cálculo proporciona información relevante para comprender de manera cuantitativa la importancia de establecer un sistema de ordenamiento territorial en el país.

La inclusión de este estudio en los instrumentos vinculantes (PRM, PRI, PRC) podría ayudar a reducir la movilidad y las distancias de los desplazamientos, lo que a su vez conduciría a la reducción de las emisiones y a la mejora de la calidad de vida de la población.

En conclusión, se destaca la importancia de este tipo de investigaciones para obtener una comprensión cuantitativa de las diferentes emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la movilidad de cada comuna. Esto es especialmente relevante considerando la desigualdad territorial que existe en el AMS debido a la falta de un sistema público de ordenamiento territorial. Además, se considera pertinente utilizar los resultados de esta investigación en el contexto del cambio climático y ambiental en el siglo XXI, donde el sector del transporte juega un papel destacado en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los dos pares evaluadores que permitieron profundizar la reflexión sobre algunos aspectos críticos para el análisis de este artículo. De igual forma, manifestamos nuestro agradecimiento a Paula Garrido-Díaz (2013) cuya investigación inspiró la nuestra sentando las bases para este trabajo. Asimismo, agradecemos a los profesionales de la Secretaría de Transporte (SECTRA) quienes facilitaron la base de datos disponible de la Encuesta Origen-Destino.

## BIBLIOGRAFÍA

- » Banister, D. (2011). Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1538–1546. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.03.009>
- » Benavides Ballesteros, H., & León Aristizábal, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Medellín, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- » Bertolini, L., le Clercq, F., & Straatemeier, T. (2008). Urban transportation planning in transition. *Transport Policy*, 15(2), 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.11.002>
- » Bull, A. (Ed.). (2003). *Congestión de tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. Santiago, Chile: CEPAL. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27813>
- » Cáceres Márquez, M., Moreno Caicedo, Y. C., Tello Cardona, J. A., & Vargas, I. J. (2016). *Cálculo de la distancia entre dos puntos* (Tesis de maestría, Universidad de los Andes). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/13726>
- » Castañeda-Olvera, D. R. (2020). Movilidad, experiencia urbana y desigualdad social. Un análisis de la Ciudad de México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 85–103.
- » Celedón Forster, A. (2019). Operación Piloto: Santiago en tres actos. *Revista 180*, 43(1), 1-12.
- » Cerda Troncoso, J., & Marmolejo Duarte, C. (2010). De la accesibilidad a la funcionalidad del territorio: Una nueva dimensión para entender la estructura urbano-residencial de las áreas metropolitanas de Santiago (Chile) y Barcelona (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, (46), 5–27. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000200001>
- » Chillagano Vizcaíno, P. (2017). *Google Maps como herramienta de sensibilización vial: Un estudio en la escuela de conducción "ECCOSYTUR"*. Leiria, Portugal: Instituto politécnico de Leiria.
- » Contreras, M., Opazo, D., Núñez, C., & Ubilla, G. (2005). *Informe Final del Proyecto "Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable" (OTAS)*. Santiago, Chile: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, Universidad de Chile y Agencia Técnica Alemana. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1393.2801>
- » Cubells, J., Marquet, O., & Miralles-Guasch, C. (2020). Gender and Age Differences in Metropolitan Car Use. Recent Gender Gap Trends in Private Transport. *Sustainability*, 12(18), 7286. <https://doi.org/10.3390/su12187286>
- » De Quevedo García, F., Asprilla Lara, Y., & González Pérez, M. G. (2017). Entropías de la movilidad urbana en el espacio metropolitano de Guadalajara: Transporte privado y calidad del aire. *Tecnura*, 21(53), 138–140. <https://doi.org/10.14483/22487638.10725>
- » Decreto N° 469. (2021). *Aprueba Política Nacional de Ordenamiento Territorial*.
- » Durston, A. (1994). Un régimen urbanístico en la América Hispana Colonial:

- El trazado en damero durante los siglos XVI Y XVII. [en línea]. *Historia*, 28(1), 59-115.
- » García Palomares, J. (2008). Incidencia en la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante. [en línea]. *Eure*, 34(101), 5-24.
  - » Garrido-Díaz, P. (2013). Las emisiones de CO<sub>2</sub> generados por el desplazamiento de la población en modo de transporte privado en el Gran Santiago. [en línea]. *Revista de Geografía Espacios*, 3(5), 69-85.
  - » Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Combustión móvil*. Ginebra, Suiza: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES).
  - » Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014a). *Cambio climático 2014 Reporte de Síntesis*.
  - » Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014b). *Cambio climático 2014: Mitigación al cambio climático*.
  - » Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2018). *Calentamiento global de 1,5°C*.
  - » International Energy Agency (IEA). (2014). *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion. Highlights*. Paris, France: IEA Publications.
  - » Instituto Nacional de Estadística (INE) Chile. (2012). *Permisos de circulación*. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Estadísticas. Recuperado de: <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion>
  - » Instituto Nacional de Estadística (INE) Chile. (2019). *División Político Administrativa y Censal. Región Metropolitana de Santiago* (p. 13). Santiago, Chile: Instituto Nacional de Estadísticas. Recuperado de Instituto Nacional de Estadísticas website: <https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/poblaci%C3%B3n-y-vivienda-metropolitana.pdf>
  - » Kralich, S. (2016a). Celebrando tres décadas de trabajo en Geografía del Transporte (carta a los lectores). *Revista Transporte y Territorio*, (15), 2–15. <https://doi.org/10.34096/rtt.i15.2845>
  - » Kralich, S. (2016b). Urbanización y transporte. Algunos aportes conceptuales. *Revista Transporte y Territorio*, (15), 41–67. <https://doi.org/10.34096/rtt.i15.2848>
  - » Krüger, R. (2010). Diferentes patrones de movilidad en el Área Metropolitana de Buenos Aires. Una perspectiva desde las urbanizaciones suburbanas. [en línea]. *Scripta Nova*, 14(331).
  - » Lizarraga, C. (2012). Expansión metropolitana y movilidad: El caso de Caracas. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 38(113), 99-125. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612012000100005>
  - » Mac-Clure, O., y Calvo, R. (2013). Desigualdades sociales y tipos de territorios en Chile. [en línea]. *Polis*, 12(34), 467-490.
  - » Miralles-Guasch, C. (2012). Las encuestas de movilidad y los referentes ambientales de los transportes. [en línea]. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 38(115), 33-45.
  - » Moliní Fernández, F., y Salgado, M. (2012). Los impactos ambientales de la

ciudad de baja densidad en relación con los de la ciudad compacta. [en línea]. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 18(958), 25-93.

- » Morales, E., Levy S., Aldunate A., y Rojas, S. (1990). *Erradicados en el régimen militar: una evaluación de los beneficiarios*. Santiago, Chile: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).
- » Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C., y Contreras, R. (2015). Encuesta origen-destino de Santiago 2012: Resultados y validaciones. *Ingeniería de Transporte*, 19(01), 21-36.
- » OSUAH (2012). *Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano, etapa IX, Informe final Vol. 2: Encuesta Origen Destino Santiago 2012*. Santiago. *Encuesta Origen Destino de viajes: Documento de difusión*.
- » Plakolb, S., Jäger, G., Hofer, C., y Füllsack, M. (2019). Mesoscopic Urban-Traffic Simulation Based on Mobility Behavior to Calculate NO<sub>x</sub> Emissions Caused by Private Motorized Transport. *Atmosphere*, 10(6), 293. <https://doi.org/10.3390/atmos10060293>
- » Ríos Bedoya, V., Marquet, O., y Miralles-Guasch, C. (2016). Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín. *Revista Transporte y Territorio*, 15(1), 302-322.
- » Rodríguez Vignoli, J. (2008). Dinámica sociodemográfica metropolitana y segregación residencial: ¿qué aporta la CASEN 2006? [en línea]. *Revista de Geografía Norte Grande*, (41), 81-102.
- » Rossetti, M., Saa, R., Rodríguez, J., Contreras, M., Montecinos, T., Ibáñez, J., y Ubilla, G. (2006). *Atlas Socioeconómico de la Región Metropolitana de Santiago*. Santiago, Chile: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.2443.9041>
- » Ruiz-Lineros, M., y Marmolejo Duarte, C. (2008). Hacia una metodología para la detección de subcentros comerciales: un análisis para Barcelona y su área metropolitana. [en línea]. *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 3(8), 199-218.
- » Seguel Aburto, M. A., y Samaniego, H. (2020). Observación espacial y análisis de la relación entre las emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y el tamaño de las ciudades en Chile. *Cuadernos Geográficos*, 59(2), 73-92. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.9519>
- » Subsecretaría de Transporte. (2013). *Plan Maestro de Transporte para Santiago 2025*. Santiago: Ministerio de transporte.
- » Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Viv. y Urb. RMS. (2019). *Ordenanza del Plan Regulador Metropolitano de Santiago. Actualización de 2019*. Santiago, Chile: Secretaría Regional Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, Región Metropolitana de Santiago.
- » Servicio de Impuestos Internos (SII) Chile. (s. f.). Estadísticas de Empresas por Rubro Económico. Recuperado de [http://www.sii.cl/estadisticas/empresas\\_rubro.htm](http://www.sii.cl/estadisticas/empresas_rubro.htm)
- » Tolvett Caro, S., Henríquez, P., y Osses, M. (2016). Análisis de variables significativas para la generación de un inventario de emisiones de fuentes móviles y su proyección. 24(Especial), 32-39.
- » Torrego Serrano, F. (1986). Geografía de los transportes. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 6, 285-285.
- » Ubilla Bravo, G. (2008). Diagnóstico y Propuesta de Ordenamiento

Territorial para la Comuna de Melipilla, Región Metropolitana de Santiago-Chile. *Revista geográfica de Chile Terra Australis*, (51-52), 191-215. <https://doi.org/10.13140/2.1.1679.8088>

- » Ubilla Bravo, G. (2015). *Hacia una propuesta de Ordenamiento Territorial para Melipilla, Chile*. Santiago, Chile; Montpellier, France: Editorial Académica Española. Recuperado de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01265073>
- » Ubilla Bravo, G., Mombiola Garrido, M., Sepúlveda Miranda, N., Robles Vargas, R., y Díaz Seguel, A. (2014). *Estrategia Regional de Desarrollo 2012-2021. Región Metropolitana de Santiago* (P. Fuentes Flores, Ed.). Santiago, Chile: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. <https://doi.org/10.13140/2.1.4161.9844>
- » Ubilla Bravo, G., y Villegas Salgado, R. (2017). Objetivos de los planes de desarrollo comunal (PLADECO) y ordenamiento territorial regional: Servicios ecosistémicos y el desarrollo de nuevas centralidades para la Región Metropolitana de Santiago. *Revista Geográfica Venezolana*, 58(1), 62-85.
- » Ubilla-Bravo, G., y Chia, E. (2021). Construcción del periurbano mediante instrumentos de regulación urbana: Caso de ciudades intermedias en la Región Metropolitana de Santiago-Chile. *Cuadernos Geográficos*, 60(2), 275-296. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i2.8701>
- » United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle [Overviews and Factsheets]. Recuperado de <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>
- » Universidad de Santiago de Chile (USACH). (2014). *Estudio Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana*. Santiago, Chile: Departamento de Física Universidad de Santiago de Chile.
- » Valencia P, M. (2006). La ciudad del libre mercado. Emergencia del neoliberalismo y transformaciones en el espacio metropolitano: El caso de Santiago de Chile. 1975-1985. [en línea]. *Revista Electrónica DU&P. Diseño Urbano y Paisaje*, III(7).
- » Velasco, E., y Bernabé, R. (2004). *Emisiones biogénicas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Instituto Nacional de Ecología.
- » Vergara Perucich, F., Correa Parra, J., & Aguirre Núñez, C. (2020). *Contra el urbanismo de la desigualdad: propuestas para el futuro de nuestras ciudades*. Santiago, Chile: CIPER. Recuperado de <<https://www.ciperchile.cl/2020/01/03/contra-el-urbanismo-de-la-desigualdad-propuestas-para-el-futuro-de-nuestras-ciudades/>> (23/04/2020).
- » Yáñez Sánchez, J. (2014). *Cambios en la estructura funcional del espacio intraurbano del Gran Santiago: Período 1990-2010*. Memoria de Geógrafo. Santiago, Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- » Zambrano Pérez, M. (2010). La urbanización latinoamericana durante la época colonial: una mirada para su enseñanza. [en línea]. *Revista Educación y Humanismo*, 12(18), 116-128.

## ANEXOS

Distancia en km entre las comunas del AMS. Fuente *Elaboración propia con base en Google Earth 2021.*

N	Comuna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Santiago	-	9,9	12,4	8,0	17,3	7,3	9,4	3,7	12,5	18,4	17,8	24,4
2	Cerrillos	9,9	-	16,8	14,6	11,4	5,2	23,5	13,2	9,8	20,9	13,4	20,0
3	Cerro Navia	12,4	16,8	-	9,9	26,1	7,9	21,9	10,2	22,1	34,1	29,0	31,7
4	Conchalí	8,0	14,6	9,9	-	21,7	11,7	5,9	3,2	18,4	28,9	23,9	26,6
5	El Bosque	17,3	11,4	26,1	21,7	-	15,0	32,4	18,2	3,5	8,6	6,3	5,8
6	Estación Central	7,3	5,2	7,9	11,7	15,0	-	19,5	9,2	12,7	22,6	14,2	20,3
7	Huechuraba	9,4	23,5	21,9	5,9	32,4	19,5	-	7,3	25,5	39,6	34,6	37,3
8	Independencia	3,7	13,2	10,2	3,2	18,2	9,2	7,3	-	14,5	23,2	17,3	16,0
9	La Cisterna	12,5	9,8	22,1	18,4	3,5	12,7	25,5	14,5	-	10,8	4,6	8,4
10	La Florida	18,4	20,9	34,1	28,9	8,6	22,6	39,6	23,2	10,8	-	5,5	6,5
11	La Granja	17,8	13,4	29,0	23,9	6,3	14,2	34,6	17,3	4,6	5,5	-	6,3
12	La Pintana	24,4	20,0	31,7	26,6	5,8	20,3	37,3	16,0	8,4	6,5	6,3	-
13	La Reina	13,9	19,8	24,6	20,0	21,9	17,4	15,2	15,9	20,8	17,0	15,1	21,0
14	Las Condes	16,1	29,1	25,0	20,1	25,5	22,8	15,4	16,5	24,8	20,7	19,4	26,2
15	Lo Barnechea	21,9	33,2	30,0	25,1	36,7	29,1	16,4	21,5	32,7	28,6	27,9	34,6
16	Lo Espejo	14,0	5,5	23,7	18,8	6,2	9,8	26,1	15,3	4,3	13,4	7,9	11,5
17	Lo Prado	7,5	10,7	5,4	10,1	18,8	3,8	18,6	8,0	15,7	24,8	20,3	27,2
18	Macul	10,4	22,5	21,3	16,4	15,4	13,0	15,6	12,9	11,1	10,1	8,9	14,9
19	Maipú	17,8	7,8	17,7	23,1	12,4	8,4	30,0	19,7	10,5	21,6	14,1	20,8
20	Ñuñoa	9,2	25,9	20,2	15,4	18,3	11,1	11,9	9,8	15,2	13,6	13,2	20,1
21	Pedro Aguirre Cerda	7,2	6,5	17,6	12,2	10,0	6,7	23,4	9,2	6,4	13,4	11,7	15,3
22	Peñalolén	10,5	23,8	39,2	19,4	17,7	27,9	18,2	15,9	31,2	12,1	10,8	17,5
23	Providencia	5,3	18,9	17,1	12,3	22,6	10,7	9,1	7,5	19,4	17,6	16,3	25,3
24	Pudahuel	10,0	7,8	3,6	12,8	17,7	5,1	22,7	11,6	15,8	24,9	19,4	26,1
25	Quilicura	14,0	20,6	12,0	10,0	29,3	16,9	11,4	11,5	25,3	32,4	30,6	37,3
26	Quinta Normal	8,5	9,4	5,5	5,9	18,4	5,9	14,6	4,7	15,9	27,6	20,0	26,8
27	Recoleta	6,0	18,4	15,0	3,7	21,4	14,2	3,4	4,4	17,4	19,7	22,7	29,4
28	Renca	9,4	12,3	5,7	3,8	21,6	9,1	9,2	4,1	17,9	24,9	23,2	29,8
29	San Joaquín	8,8	11,1	20,2	15,3	10,1	9,9	26,0	11,0	6,7	9,5	5,6	11,4
30	San Miguel	6,7	7,3	17,1	12,2	11,1	8,4	15,4	8,7	5,3	11,9	8,6	12,6
31	San Ramón	16,7	12,3	27,1	22,1	5,8	15,8	32,7	18,6	2,4	7,4	2,4	6,5
32	Vitacura	11,9	25,7	22,0	17,8	29,1	20,5	9,1	14,3	25,5	22,1	20,8	27,5
33	Puente Alto	30,5	24,0	39,1	34,0	13,7	27,3	44,7	30,5	15,8	5,6	11,2	8,0
34	San Bernardo	21,6	14,3	30,8	25,9	4,7	17,3	33,3	22,5	20,6	15,7	15,1	8,8

N	Comuna	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Santiago	13,9	16,1	21,9	14,0	7,5	10,4	17,8	9,2	7,2	10,5	5,1	10,0
2	Cerrillos	19,8	29,1	33,2	5,5	10,7	22,5	7,8	25,9	6,5	23,8	13,0	7,8
3	Cerro Navia	24,6	25,0	30,0	23,7	5,4	21,3	17,7	20,2	17,6	39,2	15,5	3,6
4	Conchalí	20,0	20,1	25,1	18,8	10,1	16,4	23,1	15,4	12,2	19,4	10,8	12,8
5	El Bosque	21,9	25,5	36,7	6,2	18,8	15,4	12,4	18,3	10,0	17,7	22,3	17,7
6	Estación Central	17,4	22,8	29,1	9,8	3,8	13,0	8,4	11,1	6,7	27,9	10,6	5,1
7	Huechuraba	15,2	15,4	16,4	26,1	18,6	15,6	30,0	11,9	23,4	18,2	9,2	22,7
8	Independencia	15,9	16,5	21,5	15,3	8,0	12,9	19,7	9,8	9,2	15,9	7,5	11,6
9	La Cisterna	20,8	24,8	32,7	4,3	15,7	11,1	10,5	15,2	6,4	31,2	19,4	15,8
10	La Florida	17,0	20,7	28,6	13,4	24,8	10,1	21,6	13,6	13,4	12,1	19,7	24,9
11	La Granja	15,1	19,4	27,9	7,9	20,3	8,9	14,1	13,2	11,7	10,8	16,6	19,4
12	La Pintana	21,0	26,2	34,6	11,5	27,2	14,9	20,8	20,1	15,3	17,5	23,3	26,1
13	La Reina	-	5,3	13,6	22,6	20,4	9,1	28,8	6,5	19,2	4,7	8,8	29,7
14	Las Condes	5,3	-	8,4	26,6	24,3	13,4	32,8	8,8	23,2	9,1	8,5	25,6
15	Lo Barnechea	13,6	8,4	-	32,8	27,2	22,2	39,7	17,1	27,3	16,9	17,8	32,5
16	Lo Espejo	22,6	26,6	32,8	-	11,5	14,1	6,3	16,8	6,8	18,7	19,0	11,6
17	Lo Prado	20,4	24,3	27,2	11,5	-	16,7	11,6	17,5	11,1	32,3	11,6	2,7
18	Macul	9,1	13,4	22,2	14,1	16,7	-	18,7	3,7	8,0	4,9	7,5	19,9
19	Maipú	28,8	32,8	39,7	6,3	11,6	18,7	-	20,6	12,8	23,1	23,4	7,8
20	Ñuñoa	6,5	8,8	17,1	16,8	17,5	3,7	20,6	-	10,4	4,4	4,4	16,5
21	Pedro Aguirre Cerda	19,2	23,2	27,3	6,8	11,1	8,0	12,8	10,4	-	12,4	11,4	11,5
22	Peñalolén	4,7	9,1	16,9	18,7	32,3	4,9	23,1	4,4	12,4	-	8,5	30,9
23	Providencia	8,8	8,1	16,6	17,5	15,5	6,9	25,2	5,1	10,5	8,4	-	13,3
24	Pudahuel	29,7	25,6	32,5	11,6	2,7	19,9	7,8	16,5	11,5	30,9	13,1	-
25	Quilicura	24,2	24,5	28,0	23,0	16,2	23,1	19,9	21,5	20,0	41,9	17,8	15,7
26	Quinta Normal	18,8	20,1	23,8	12,3	4,9	13,5	17,0	14,0	10,3	17,8	8,1	8,8
27	Recoleta	15,0	15,3	18,8	19,0	11,5	12,7	22,8	11,6	12,1	13,8	7,3	17,7
28	Renca	19,0	20,5	24,1	15,5	5,8	15,6	19,7	14,3	12,6	34,0	10,3	9,0
29	San Joaquín	14,4	19,2	26,2	10,4	14,4	5,3	16,4	8,8	3,6	8,9	10,4	17,0
30	San Miguel	14,1	21,4	26,2	8,8	12,3	6,3	14,0	8,9	2,0	10,7	9,8	13,9
31	San Ramón	17,6	21,6	36,1	6,3	20,0	12,1	13,5	15,5	7,9	13,4	19,1	18,3
32	Vitacura	9,5	5,7	6,8	27	21,6	14,6	30,8	11,6	20,2	13,4	9,2	23,3
33	Puente Alto	21,9	29,9	40,9	18,6	32,2	16,4	25,7	19,8	19,7	21,4	27,4	30,0
34	San Bernardo	29,8	33,8	40,6	10,1	21,8	21,7	15,5	23,5	14,2	26,6	26,2	22,1

N	Comuna	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	Santiago	14,0	8,5	6,0	9,4	8,8	6,7	16,7	11,9	30,5	21,6
2	Cerrillos	20,6	9,4	18,4	12,3	11,1	7,3	12,3	25,7	24,0	14,3
3	Cerro Navia	12,0	5,5	15,0	5,7	20,2	17,1	27,1	22,0	39,1	30,8
4	Conchalí	10,0	5,9	3,7	3,8	15,3	12,2	22,1	17,8	34,0	25,9
5	El Bosque	29,3	18,4	21,4	21,6	10,1	11,1	5,8	29,1	13,7	4,7
6	Estación Central	16,9	5,9	14,2	9,1	9,9	8,4	15,8	20,5	27,3	17,3
7	Huechuraba	11,4	14,6	3,4	9,2	26,0	15,4	32,7	9,1	44,7	33,3
8	Independencia	11,5	4,7	4,4	4,1	11,0	8,7	18,6	14,3	30,5	22,5
9	La Cisterna	25,3	15,9	17,4	17,9	6,7	5,3	2,4	25,5	15,8	20,6
10	La Florida	32,4	27,6	19,7	24,9	9,5	11,9	7,4	22,1	5,6	15,7
11	La Granja	30,6	20,0	22,7	23,2	5,6	8,6	2,4	20,8	11,2	15,1
12	La Pintana	37,3	26,8	29,4	29,8	11,4	12,6	6,5	27,5	8,0	8,8
13	La Reina	24,2	18,8	15,0	19,0	14,4	14,1	17,6	9,5	21,9	29,8
14	Las Condes	24,5	20,1	15,3	20,5	19,2	21,4	21,6	5,7	29,9	33,8
15	Lo Barnechea	28,0	23,8	18,8	24,1	26,2	26,2	36,1	6,8	40,9	40,6
16	Lo Espejo	23,0	12,3	19,0	15,5	10,4	8,8	6,3	27,0	18,6	10,1
17	Lo Prado	16,2	4,9	11,5	5,8	14,4	12,3	20,0	21,6	32,2	21,8
18	Macul	23,1	13,5	12,7	15,6	5,3	6,3	12,1	14,6	16,4	21,7
19	Maipú	19,9	17,0	22,8	19,7	16,4	14,0	13,5	30,8	25,7	15,5
20	Ñuñoa	21,5	14,0	11,6	14,3	8,8	8,9	15,5	11,6	19,8	23,5
21	Pedro Aguirre Cerda	20,0	10,3	12,1	12,6	3,6	2,0	7,9	20,2	19,7	14,2
22	Peñalolén	41,9	17,8	13,8	34,0	8,9	10,7	13,4	13,4	21,4	26,6
23	Providencia	17,8	8,3	7,0	10,4	10,5	10,3	19,0	9,2	28,6	26,2
24	Pudahuel	15,7	8,8	17,7	9,0	17,0	13,9	18,3	23,3	30	22,1
25	Quilicura	-	10,8	12,9	8,9	21,6	18,4	29,8	19,3	41,3	31,6
26	Quinta Normal	10,8	-	9,2	2,7	13,2	11,6	19,0	17,4	30,8	20,6
27	Recoleta	12,9	9,2	-	6,8	12,5	12,0	21,9	8,6	33,4	25,8
28	Renca	8,9	2,7	6,8	-	15,8	12,7	21,9	18,3	33,8	23,4
29	San Joaquín	21,6	13,2	12,5	15,8	-	3,3	6,8	18,2	16,5	18,2
30	San Miguel	18,4	11,6	12,0	12,7	3,3	-	7,7	19,7	19,7	16,5
31	San Ramón	29,8	19,0	21,9	21,9	6,8	7,7	-	29,7	13,6	9,9
32	Vitacura	19,3	17,4	8,6	18,3	18,2	19,7	29,7	-	31,8	33,7
33	Puente Alto	41,3	30,8	33,4	33,8	16,5	19,7	13,6	31,8	-	14,5
34	San Bernardo	31,6	20,6	25,8	23,4	18,2	16,5	9,9	33,7	14,5	-

**Francisca Pérez-Criado / fperezcriado@gmail.com**

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables (Universidad de Chile) y Licenciada en Ciencias de los Recursos Naturales Renovables (Universidad de Chile).

**Gerardo Ubilla-Bravo / gerardo.ubilla\_bravo@yahoo.fr**

Académico del Departamento de Gestión e Innovación Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Doctor en Géographie et aménagement de l'espace (Université Paul-Valéry Montpellier III e INRAE, Francia) Geógrafo y Licenciado en Geografía (Universidad de Chile), Master Développement durable et aménagement (Université Paul-Valéry Montpellier III), Magister en Proyectos Urbano Regionales (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso). Diplomado en: Planificación Regional (MIDEPLAN), Ordenamiento Territorial Regional (CEPAL-SUBDERE), Gobernabilidad y Gestión Territorial (Universidad Católica de Chile) y Prospectiva y Políticas Públicas (Universidad de Chile).