



Las emisiones de CO₂ generadas por el desplazamiento de la población en modo de transporte privado en el Gran Santiago

CO₂ EMISSIONS ARISING FROM THE DISPLACEMENT OF THE POPULATION IN PRIVATE TRANSPORT MODE IN GRAN SANTIAGO

Paula Garrido-Díaz

Geógrafa, máster en planificación territorial y gestión ambiental, consultor especialista en transporte.
E-mail: paulagarrido@ingeniar.cl

Resumen

El sector transporte, específicamente el sector automotriz, tiene una participación importante en las emisiones de CO₂ y, por lo tanto, en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), siendo en las grandes ciudades un tema trascendental ya que el automóvil es una de las principales fuentes de emisión. El presente trabajo tiene por objeto estimar las emisiones de CO₂ generadas por los desplazamientos motorizados en modo de transporte privado en el Gran Santiago (Chile), e identificar aquellos sectores que generan mayores aportaciones de CO₂ como consecuencia de estos desplazamientos. Para ello, se desarrolla un ejercicio metodológico que combina la utilización de datos de la Encuesta Origen Destino (2001), datos de Población y tenencia de vehículo del Censo de Población (2002) y emisiones promedio de CO₂ asociadas a la distancia recorrida por un vehículo. Los resultados obtenidos permiten cuantificar las emisiones de CO₂ por manzana, las que son agrupadas y comparadas entre comunas y entre seis sectores del Gran Santiago, definidos por la autoridad (sector Norte, Sur, Oriente, Sur Oriente, Sector Occidente y Centro). Los resultados obtenidos indican que las emisiones anuales son de un orden de magnitud comparable a los resultados obtenidos por otros estudios, y se identificaron los sectores Oriente y Sur Oriente como los con mayor aportación a las emisiones de CO₂.

Palabras claves: Movilidad, Transporte, Contaminación, Gases Efecto Invernadero, Partición Modal.

Abstract

The transport sector, specifically the automotive sector, has a major share of CO₂ emissions and, therefore, greenhouse gases (GHG) emissions, (GHG) in large cities, being a major issue since the car is one of the main source of emissions. This paper aims to estimate the CO₂ emissions generated by motorized travel in private transport mode in Greater Santiago (Chile), and identify those sectors that generate more input of CO₂ as a result of these shifts. For this purpose, a methodological exercise is developed, combining the use of data from the Origin Destination Survey (2001) population and vehicle ownership from the Population Census (2002) and the average CO₂ emissions associated to the distance traveled by a vehicle. The results allowed to quantify CO₂ emissions per block, which were grouped and compared between municipalities and six sectors of Greater Santiago, defined by the authority (sectors : North, South , East, South East, West and Central). The results indicate that the annual emissions are comparable to the ones obtained by other studies, and that the East and South East sectors are the major contributors to CO₂ emissions.

Keywords: Mobility, Transport, Pollution, Greenhouse gases, Modal split.

Introducción

En las grandes ciudades y entornos metropolitanos los movimientos de la población suelen realizarse en vehículo privado, constituyéndose éste como el principal elemento conector con el conjunto del territorio (Cebollada, 2006). En Chile, según la Encuesta Origen Destino (EOD) 2001, entre los años 1991 y 2001 el patrón de viajes creció a una tasa de un 4% al año, produciéndose el mayor aumento en los viajes en auto (Fernández & Valenzuela, 2004). La ciudad de Santiago, en tanto, según la EOD 2001, para el mismo período registró una tasa de crecimiento anual del 11% en los viajes en auto.

Sin embargo, el transporte terrestre es también una de las actividades que mayores aportaciones de CO₂ genera al medioambiente, siendo el responsable de las tres cuartas partes de CO₂ emitidas a nivel mundial (IEA, 2012), sobrepasado sólo por las emisiones generadas por el transporte aéreo (AAE, 2001). Esta situación se debe, por una parte, a la necesidad de movilidad y, por otra, al uso masivo de transportes contaminantes como es el caso de los transportes viarios que suponen el 81% del consu-

mo de energía y el 93% de las emisiones del sector (Miralles- Guasch, 2012).

Conocer el reparto modal de cada ciudad, es decir la cantidad de viajes en los diferentes modos de transporte, es fundamental para evaluar el impacto de éstos sobre el medio. La proporción de trayectos realizados por los diferentes modos de transporte, especialmente en grandes ciudades, representa un factor importante en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (ONU, 2011). En esta línea, se entiende que los impactos ambientales de la movilidad son desiguales y no se deben tanto al desplazamiento mismo sino al uso (tipo) de los medios de transporte (AAE, 2005; en Miralles-Guasch & Cebollada, 2009).

Considerando lo anterior, este artículo presenta un ejercicio metodológico para cuantificar las emisiones de CO₂ generadas por el modo transporte privado en el Gran Santiago (Chile). El estudio se sustenta en valorar, desde el punto vista de las emisiones, uno de los modos de transporte más contaminantes (vehículo) e identificar las comunas donde se utiliza con mayor frecuencia (mayores viajes).

La participación del sector transporte en las emisiones de CO₂

El Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha señalado que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y entre los principales responsables de éste se encuentran las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), por causa de actividades humanas, en donde el dióxido de carbono (CO₂) es el mayor contribuyente (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC],

2007). Por otro lado, un estudio de la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency [IEA], 2012), ha señalado que el CO₂, a nivel mundial, es emitido en un porcentaje importante por el sector transporte, siendo éste el responsable del 22% de las emisiones totales de CO₂ para el año 2010; de este porcentaje, casi las tres cuartas partes son emitidas por el transporte terrestre.

Particularmente en Chile, el Ministerio de Medio Ambiente (2012) ha señalado que las emisiones netas de GEI para el año 2006 fueron 60 millones t CO₂-eq aproximadamente, en donde el CO₂ tiene la mayor participación (65%), siguiéndole el CH₄ (21%) y el N₂O (14%). En términos absolutos, el sector energía aporta en forma dominante y creciente a los valores de emisiones nacionales de CO₂, por ejemplo para el período 1990 – 2006 las emisiones de este sector aumentaron en un 85%, alcanzando un valor de 58 MM t CO₂-eq aproximadamente. Dentro del sector energía, los subsectores que más contribuyen a las emisiones de GEI son la generación eléctrica (29%), el transporte (29%) y la industria manufacturera, construcción y minas (23%), asociados al alto consumo de energéticos fósiles (MMA, 2012).

Según la CONAMA (2010) las actividades con mayor aporte a las emisiones de CO₂ dentro del subsector transporte terrestre son los vehículos livianos y camiones interurbanos (carga), con aproximadamente un 77% del total de las emisiones del subsector. Las proyecciones a nivel mundial prevén un aumento de las emisiones de dióxido de carbono para el sector automotriz, este aumento podría llegar incluso a un 54% (1,8 gigatoneladas) para el período 2006 -

2030 (de 730 millones a 1,3 billones en ese mismo período) (McKinsey& Company, 2009; en SECTRA, 2010). En Chile, las cifras advierten un comportamiento similar. Si observamos la Figura 1, podemos visualizar que el modo caminero (transporte viario) es aquel que presenta mayores aportaciones de CO₂, representando el 89% del total de CO₂ para el año 2008, con una proyección de aumento para el año 2025 del 88% (SECTRA, 2010).

Según la SECTRA el aumento de las emisiones del sector automotriz y su proyección tiene su origen en la constante necesidad de movilidad, tanto de personas como de productos y también, a cauda del “efecto del crecimiento de las ciudades o centros urbanos en conjugación con el aumento de la tasa de motorización, el aumento real del ingreso, los cambios en la estructura de los viajes y el deterioro del transporte público” (SECTRA, 2010:4). Chile ha presentado cifras que ratifican el aumento del parque automotriz a lo largo de los años. Por ejemplo, para el período 1990 – 2010 el número de vehículos en circulación se triplicó, resultando una tasa de motorización de 6,1 personas por vehículo. Durante ese período se pasó de un total de 960 mil vehículos en 1990, a 2,8 millones en 2010, cifra que aumentó en directa relación con

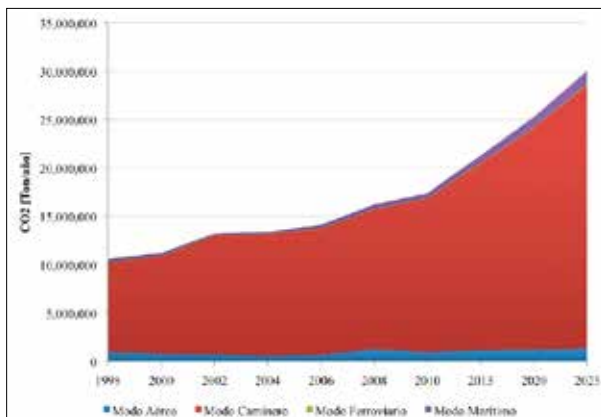


Figura 1. Emisiones de CO₂ a nivel nacional por modo de transporte.
Fuente: SECTRA (2010).

el PIB per cápita del país, el cual, también, se triplicó en ese período (CONICYT, 2010).

Considerando lo anterior, el sector transporte y específicamente el sector automotriz tienen una participación importante en las emisiones de CO₂ y con ello en las emisiones de GEI, siendo en las grandes ciudades un tema tras-

cedental ya que el automóvil es una de las principales fuentes de emisión. Por tal motivo, tiene sentido e interés cuantificar las emisiones de CO₂ generadas a partir de los viajes realizados en transporte privado en el Gran Santiago y lograr con ello identificar las comunas y sectores que generan mayores viajes en este modo y con ello mayores aportaciones de CO₂.

El parque automotriz en Chile y la partición modal en el Gran Santiago

La invasión del automóvil en América Latina durante el siglo XX se debió, entre otros factores, a las reformas económicas de los años noventa que trajeron consigo tasas de crecimiento económico más altas y la reducción del precio del automóvil. También, es posible considerar como causa de este aumento la marcada preferencia de las personas por usar el automóvil debido al estatus social que otorgaba (CEPAL, 2003). Además de estos factores, otras consideraciones influyen en la elección del automóvil por sobre otros medios de transporte, entre ellos: la deficiente calidad de los autobuses en relación con las aspiraciones de los propietarios de los autos, los altos coeficientes de ocupación de los autobuses en horas punta, la sensación de inseguridad ante formas temerarias de conducir de algunos operadores de buses y la posibilidad, real o supuesta, de ser víctima de la delincuencia a bordo de vehículos de transporte colectivo (CEPAL, 2003).

En el caso de Santiago de Chile es posible agregar que el crecimiento urbano por extensión y dispersión sumada a la concentración de actividades en el centro de la ciudad y la localización de la población en la periferia, junto a servicios de transporte público deficientes, han favorecido un uso mayor del automóvil por sobre otros medios de transporte. Según los datos del Instituto Nacional de Estadísticas (2012), el mayor porcentaje de vehículos en circulación¹ en Chile se localiza en la Región Metropolitana de Santiago, concentrando ésta el 41,4% del total nacional. Particularmente en el Gran Santiago para el período 2000 - 2010, los vehículos motorizados en circulación² han tenido una tasa de crecimiento anual del 4%, aunque es menor en comparación a otras ciudades como La Serena - Coquimbo en donde para el mismo período se registra un crecimiento del 8% anual. La tasa de crecimiento calculada para el Gran Santiago

1 Los vehículos en circulación corresponde a la cantidad de vehículos motorizados y no motorizados, que obtienen su respectivo Permiso de Circulación otorgado por las Municipalidades del país, para el año de referencia (INE, 2012).

2 Se refiere principalmente a un vehículo autopropulsado por un motor propio y destinado al transporte terrestre por carretera de personas o mercancías (INE, 2012)

sigue siendo considerable, ya que se encuentra por sobre la tasa de crecimiento mundial³.

Por otro lado, aunque el parque vehicular ha ido en aumento, en el Gran Santiago la participación modal sigue siendo mayor para el modo caminata (37%) y transporte público (33%), lo cual es favorable desde el punto de vista de las emisiones de CO₂. No obstante, los viajes en modo transporte privado siguen presentando

porcentajes altos con un 22% de participación (EOD, 2006). La Tabla 1 muestra el total de viajes y la partición modal para los años 1991, 2001 y 2006 en el Gran Santiago. En ella se observa que si bien los viajes totales en modo de transporte privado han ido en aumento, según el registro de las dos últimas EOD, la participación de ellos se ha mantenido.

Tabla 1
Generación de viajes por modo Gran Santiago 2001, 2006 y 1991

Año	Viajes totales	Viajes Motorizados						Viajes No Motorizados			
		Transporte Privado		Transporte Público		Otros		Caminata		Bicicleta	
2006	17.333.013	3.822.034	22,01%	5.697.790	32,9%	922.896	5,32%	6.379.734	36,8%	510.569	2,95%
2001	15.585.633	3.465.063	22,2%	5.205.006	30,0%	622.128	3,59%	5.964.457	34,4%	328.979	1,90%
1991	7.230.222	1.180.716	16,3%	3.898.313	22,5%	416.953	2,41%	1.604.068	9,3%	130.172	0,75%

Fuente: EOD 2001, 2006 y 1991.

Privilegiar el uso del automóvil por sobre otros medios de transporte, sin duda, genera una serie de externalidades negativas que son de interés de conocer, ya que como señala Miralles-Guasch “no todos los medios de transporte contribuyen del mismo modo ni al consumo energético ni a las emisiones de gases contaminantes” (2012:33), de hecho, el modo caminero o viario, según lo que hemos visto hasta ahora, suele ser el responsable en Chile de cerca del 89% de las emisiones de CO₂ (SECTRA, 2010).

Cabe señalar que en la literatura especializada existen diversas metodologías para estimar emisiones producidas por la actividad vehicu-

lar (IPCC, 2006; SECTRA, 2010; CONAMA, 2007, 2009 y 2010, entre otros). En general, se suelen ocupar datos del parque vehicular, es decir derivadas de la oferta (Miralles-Guasch, 2012), utilizando modelos a través de software especializados que permiten calcular las emisiones. Los cálculos de detalle suelen realizarse con interacción entre modelos de transporte terrestre y sistemas de información geográfica (CONAMA, 2007).

A nivel urbano, en general, se utilizan cálculos mediante modelos estratégicos de transporte, que otorgan la posibilidad de recalculer los parámetros utilizados (CONAMA, 2007). A ni-

3 Según un estudio de la SECTRA (2010) la tasa de crecimiento de vehículos motorizados (autos, camiones, buses, scooters, motocicletas y bicicletas eléctricas) aumentará a una tasa mundial del orden de 3% anualmente, con lo cual el año 2020 más de 2 billones de vehículos poblarán el planeta, siendo la mitad de éstos automóviles (1,1 billones de autos, 0,3 billones de camiones y buses, 0,7 billones de motocicletas y scooters).

vel internacional los protocolos para medir las emisiones de CO₂ y las emisiones de GEI han sido elaborados por el IPCC y se han preparado inventarios nacionales de acuerdo a los puntos desarrollados por este organismo (ONU, 2011). Así, por ejemplo, según las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006) las emisiones estimadas procedentes del transporte terrestre pueden basarse en dos conjuntos de datos independientes ya sea a través del combustible vendido o los kilómetros recorridos por el vehículo. Estas metodologías han pro-

porcionado una base para calcular las emisiones de CO₂ en diferentes sectores o actividades.

Utilizando las metodologías señaladas, en Santiago de Chile se han realizado diversos estudios (SECTRA, 2010; CONAMA, 2007, 2009 y 2010, entre otros) en los cuales se han calculado y proyectado las emisiones de CO₂ para el transporte. Según el estudio "Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana" (CONAMA, 2005), las emisiones de CO₂ correspondientes a vehículos particulares ascendería a 1.793.258,06 (Ton/año).

Métodos

Este trabajo se concentró en el análisis de los desplazamientos de la población en modo de transporte privado y, a partir de ello, se calculó las emisiones de CO₂ generadas. Como se señaló antes, múltiples estudios están basados en simulaciones, cálculos mediante modelos estratégicos de transporte (CONAMA, 2007) que resultan complejos de abordar según el campo de aplicación y la precisión requerida, considerando diferencias en la escala espacial o temporal. Como un factor diferenciador, este trabajo propone un procedimiento basado en el principio de parsimonia, lo que implica una búsqueda de resultados similares a los obtenidos en otros estudios con metodologías complejas y validadas, pero mediante un procedimiento simplificado que guarde un margen de

incertidumbre aceptable, acorde con los datos disponibles y los objetivos propuestos. Las etapas de la metodología aplicada se resumen en la Figura 2.

Para la estimación de emisiones de CO₂ por manzanas (ton/día) se consideró la distancia recorrida en un día (d; en km/día) y las emisiones asociadas a una distancia unitaria (Edía; en gCO₂/km) (Ecuación 1).

$$\text{Ecuación 1} \quad \text{CO}_2 \frac{\text{ton}}{\text{día}} = d_{\frac{\text{km}}{\text{día}}} \cdot E_{\frac{\text{g CO}_2}{\text{km}}}$$

Para el desarrollo de la Ecuación 1 (Ec.1), específicamente para calcular la distancia recorrida en un día (d, km/día) fue necesario calcular los viajes totales en un día en modo de transporte

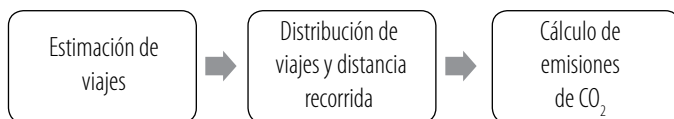


Figura 2. Etapas de la metodología aplicada en el estudio.

Fuente: Elaboración propia.

privado (VTP) y la distancia recorrida por estos viajes (dTTP). Los antecedentes y fuentes de información utilizadas se resumen en la Tabla 2.

Cabe precisar que se decidió trabajar con el Censo de Población 2002 ya que corresponde al último Censo de Población desagregado a nivel de manzana. Asimismo, se optó por utili-

zar la EOD⁴ de 2001 para mantener una relación temporal más próxima entre las fuentes de información utilizadas.

La Encuesta Origen Destino (2001) de Santiago fue realizada para 38 municipios de la Región Metropolitana⁵ y el Censo de Población (2002), desagregado a nivel de manzana, se dispuso

Tabla 2
Antecedentes y fuentes de información utilizadas.

Proceso	Datos utilizados	Fuente de información
Cálculo de los desplazamientos en modo de transporte privado.	-Tabla resumen con estadística del número de viajes en modo transporte privado por comuna. -Tasa de motorización por sector de la EOD y estrato socioeconómico. -Cantidad de vehículos destinados para uso particular.	-Encuesta Origen Destino (EOD) 2001 (SECTRA, 2001). -Censo de Población y Vivienda 2002 (INE, 2002).
Identificación de aquellos sectores del Gran Santiago que generan mayores aportaciones de CO ₂ producto de la movilidad generada en modo transporte privado.	-Proporción de viajes en modo transporte privado por manzana. -Matrices de viajes origen - destino. -Distancia recorrida por cada manzana un día laboral de temporada normal. -Cantidad de CO ₂ emitido por un vehículo por kilómetro recorrido.	-Encuesta Origen Destino (EOD) 2001 (SECTRA, 2001). -Censo de Población y Vivienda 2002 (INE, 2002). -EPA (2011). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Office of Transportation and Air Quality. EPA – 420 – F – 11 – 041.
Categorización de los municipios del Gran Santiago de acuerdo a sus aportaciones de CO ₂ .	-Tablas resúmenes con las emisiones de CO ₂ calculadas para cada manzana y comuna del Gran Santiago.	Fórmula diseñada para el presente estudio (Ec.1).

Fuente: elaboración propia.

4 La Encuesta Origen Destino (2001) fue realizada para la temporada normal entre agosto y la primera quincena de diciembre de 2001, y durante marzo y abril de 2002. Para la temporada estival, en tanto, la recolección de información se realizó en enero y febrero de 2002 (SECTRA, 2001).

5 Las comunas consideradas en la EOD (SECTRA, 2001) fueron las siguientes: Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Pirque, Providencia, Pudahuel, Puente Alto, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Bernardo, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Santiago, Vitacura, Colina, Lampa y Calera de Tango.

para 37 comunas, coincidentes con las comunas de la EOD exceptuando la comuna de Pirque⁶. Por lo tanto, todos los resultados obtenidos fueron para 37 comunas de la Región Metropolitana de Santiago, las cuales forman parte del Gran Santiago o Área Metropolitana. Respecto a la cantidad de vehículos, el Censo de Población considera sólo aquellos vehículos destinados para uso particular, excluyendo aquellos de uso comercial. De esta base de datos se excluyeron los vehículos no motorizados, como son las bicicletas y los vehículos no terrestres como lanchas, botes o veleros.

Estimación de viajes

La información del Censo de Población (INE, 2002), como ya se ha mencionado, se encuentra desagregada a nivel de manzana y para cada una de ellas se dispone con la información de tenencia por tipo de vehículos, cantidad de

hogares y estrato socioeconómico. A partir de ello, y tomando algunos antecedentes de la Encuesta Origen Destino (SECTRA, 2001), se calculó el número de viajes totales generados en modo de transporte privado (VTP) para cada manzana del Gran Santiago. A continuación se presentan los antecedentes de la EOD utilizados en este trabajo.

Para efectos de una correcta utilización de la información de la EOD (2001) se trabajó con la división territorial establecida en ella para el Gran Santiago. En ésta se establecen 6 sectores (Norte, Sur, Oriente, Sur Oriente, Sector Occidente y Centro) tal como se muestra en la Figura. 3.

De la EOD se obtuvo la tasa de generación de viajes (TV), la partición modal y la tasa de motorización. En la Tabla 3 se presenta la TV desagregada según nivel de ingresos. En ella se observan los viajes por hogar para cada zona del Gran Santiago.

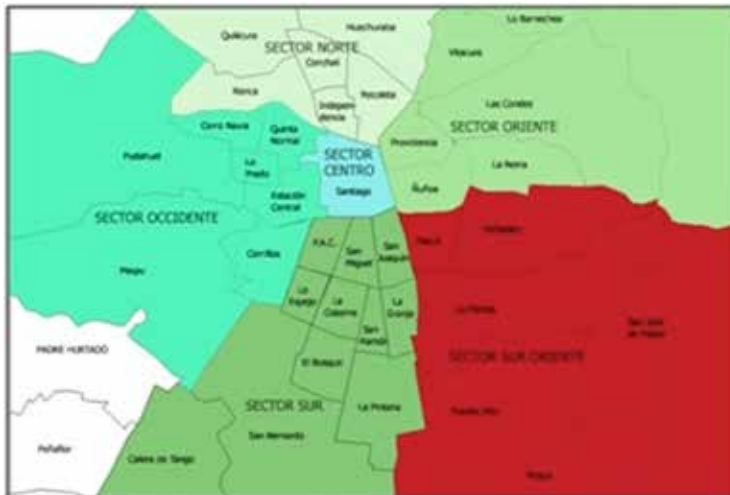


Figura 3. Sectores de la Encuesta Origen Destino 2001.

Fuente: SECTRA (2001).

6 A la fecha de realización de este estudio no se dispuso de la información del Censo de Población 2002 para la comuna de Pirque desagregada a nivel de manzana en formato shapefile, por lo que no fue posible incluirla en el estudio. No obstante, se deja constancia que la comuna de Pirque representaba para el año 2002 el 2% del parque automotriz del Gran Santiago (INE, 2002).

Tabla 3
Tasa de viajes motorizados (TV) según nivel de ingreso y sector.

Zona	Estrato						Todos	
	Bajo		Medio		Alto			
	Viajes/ Hogar	Viajes/ Pers	Viajes/ Hogar	Viajes/ Pers	Viajes/ Hogar	Viajes/ Pers	Viajes/ Hogar	Viajes/ Pers
Norte	5,0	1,4	8,3	1,9	9,3	2,1	6,8	1,7
Occidente	5,2	1,5	8,6	2,0	11,1	2,7	7,1	1,8
Oriente	3,6	1,4	7,0	2,2	11,2	2,6	7,6	2,3
Centro	2,7	1,1	4,6	1,5	12,6	3,2	4,3	1,5
Sur	3,9	1,1	7,5	1,7	11,4	2,3	5,6	1,4
Sur - Oriente	4,6	1,3	8,2	1,9	11,7	2,5	6,8	1,7
Todas	4,5	1,3	7,7	1,9	11,2	2,6	6,6	1,7

Fuente: SECTRA (2001).

El número de viajes motorizados por día en cada manzana (VMT día) se obtuvo multiplicando la cantidad de hogares de cada manzana (Hmz) por la tasa de viajes que correspondía (TV), de acuerdo a su estrato socioeconómico y según el sector de ubicación (Ec. 2).

$$\text{Ecuación 2 } V_{\text{MTdía}} = H_{\text{mz}} \cdot TV$$

Hay que mencionar que la tasa de viajes motorizados (Tabla 3), incluye el transporte público, por lo cual fue necesario excluirlo para conocer sólo los viajes en transporte privado. Para ello, se utilizaron los datos disponibles de generación del total de viajes según modo de trans-

porte. Para obtener la participación de los viajes motorizados se excluyeron los viajes en modo Caminata y Otros. A modo de ejemplo, en la Tabla 4 se presenta un extracto de la tabla original que considera el total de 37 comunas.

Luego, en la Tabla 5 se muestra un extracto de la tabla trabajada en donde se presenta el porcentaje de viajes en modo transporte privado (%VTP) y público (%VTPU). Este porcentaje incluye todos los estratos socioeconómicos de cada zona, y la Tabla 6 muestra la tasa de motorización (TM) que corresponde a la cantidad de vehículos por hogar (veh /hogar) según sector y estrato.

Tabla 4
Generación de viajes por modo de transporte en día laboral de temporada normal

Comuna	Transporte público	Transporte privado	Caminata	Otros	Total
Barnechea	33.765	151.475	32.712	15.979	233.931
Calera de Tango	13.152	13.740	23.699	8.152	58.743
Cerrillos	72.259	47.582	94.391	11.105	225.337
Cerro Navia	147.465	61.481	203.114	29.010	441.070
Colina	61.094	54.612	84.333	18.089	218.128

Fuente: SECTRA (2001).

Tabla 5
Partición modal agregada

Comuna	Transporte público (%VTPU)	Transporte privado (%VTP)	Total
Barnechea	18%	82%	100%
Calera de Tango	49%	51%	100%
Cerrillos	60%	40%	100%
Cerro Navia	71%	29%	100%
Colina	53%	47%	100%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la EOD 2001 (SECTRA, 2001).

Tabla 6
Tasa de motorización (vehículos / hogar) según sector y estrato

Sector	Estrato			
	Alto	Medio	Bajo	Todos
Norte	1,99	0,61	0,23	0,45
Occidente	1,6	0,69	0,22	0,48
Oriente	1,86	0,96	0,25	1,11
Centro	1,35	0,44	0,08	0,36
Sur	2,32	0,58	0,17	0,36
Sur-Oriente	1,91	0,71	0,21	0,53
Total	1,86	0,7	0,2	0,56

Fuente: SECTRA (2001)

El presente estudio asumió el siguiente supuesto: el flujo vehicular generado por una manzana tiene directa relación con la cantidad de vehículos presentes en ella. Considerando lo anterior, se aplicó una corrección a la proporción de viajes en transporte privado (Correc.%VTP), ponderando la participación vinculada a viajes en modo transporte privado (%VTP) por el cociente entre la tasa de motorización estimada para cada manzana (TMmz) y la tasa de motorización según sector y estrato socioeconómico (TM). Cabe señalar que la tasa de motorización de cada manzana (TMmz) se obtuvo dividiendo el número de vehículos por

la cantidad de hogares presentes en cada manzana (Ver Ecuación 3).

Para obtener la cantidad de viajes motorizados al día en cada manzana en modo transporte privado (VTP), se utilizó la Ecuación 4.

Se consideró, además, en conformidad con la información presente en la EOD (2001), la tasa de ocupación promedio de vehículos, la cual ascendería a 1,5 pasajeros / vehículos (pax/veh), para un día laboral de temporada normal. Por tal motivo, la expresión final para el cálculo de los viajes en modo de transporte privado (VTP) se resume en la Ecuación 5.

Distancia recorrida en un día

A partir de la información obtenida de las matrices de viajes origen – destino (OD) presente en la EOD (2001), fue posible distribuir los viajes generados hacia cada sector del Gran Santiago (VTPN; viajes en transporte privado al norte, VTPS; viajes en transporte privado al sur, etc.). Para ello se utilizó una herramienta de ruteo que permitió calcular la distancia recorrida por cada manzana para un día laboral normal, en este caso se asumió la distancia desde cada manzana al centroide de los sectores (Norte [dTPN], Centro [dTPC], Sur [dTPS], etc.) definidos en la EOD. Este criterio se aplicó por considerarse un escenario promedio de distancia diaria recorrida por cada vehículo.

A partir de la sumatoria del porcentaje de viajes a cada sector, por la distancia recorrida a éste por manzana (Ecuación 6), se estimó la emisión de CO₂ asociada a estas distancias recorridas

en modo de transporte privado, utilizando la Ecuación 1.

Cálculo de emisiones de CO₂

Según la EPA (2011), un vehículo de pasajeros promedio emite alrededor de 423 gramos de CO₂ por milla; equivalente a 264,3 gramos de CO₂ por kilómetro recorrido. No obstante, este número puede variar, al menos, sobre la base de dos factores: el rendimiento de combustible del vehículo y el contenido de carbono del combustible (EPA, 2011). En los EE.UU. los vehículos de gasolina en carretera, rinden aproximadamente 21 millas por galón (MPG), y cada galón de gasolina genera unos 8.887 gramos de CO₂ cuando se quema. Por lo tanto, las emisiones de CO₂ de los vehículos por milla recorrida queda expresada por la Fórmula 1 (EPA, 2011).

Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ en gramos por kilómetro se utilizó la Ecuación 7.

Ecuación 3	$\text{Correc}_{\%V_{TP}} = \%V_{TP} \cdot \frac{TM_{mz}}{TM}$
Ecuación 4	$V_{TP} = V_{MTdía} \cdot \text{Correc}_{\%V_{TP}}$
Ecuación 5	$V_{TP} = \frac{V_{MTdía} \cdot \text{Correc}_{\%V_{TP}}}{1,5_{\text{pax/veh}}}$
Ecuación 6	$d = (V_{TP,N} \cdot d_{TP,N}) + (V_{TP,S} \cdot d_{TP,S}) + (V_{TP,C} \cdot d_{TP,C}) + (V_{TP,O} \cdot d_{TP,O}) \\ + (V_{TP,SO} \cdot d_{TP,SO}) + (V_{TP,W} \cdot d_{TP,W})$
Ecuación 7	$E_{\frac{\text{gr CO}_2}{\text{km}}} = 423 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{milla}} \cdot \frac{1 \text{ milla}}{1,6 \text{ km}}$
Fórmula 1 (EPA, 2011)	$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ por milla} = \text{CO}_2 \text{ por galón} \frac{\text{CO}_2 \text{ por galón}}{\text{MPG}} = \frac{8887}{21} = 423 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{milla}}$

Análisis de sensibilidad

Dado que existe variabilidad en las emisiones de CO₂ dependiendo del tipo de vehículo y considerando que el parque vehicular de los EE.UU. está compuesto por automóviles de mayor cilindrada que las chilenas (MMA, 2012) se

optó por utilizar 3 escenarios que permitiesen comparar los resultados obtenidos. Los escenarios utilizados fueron los siguientes:

- Escenario 1: considera 264,3 gCO₂/km
- Escenario 2: considera 200,0 gCO₂/km
- Escenario 3: considera 100,0 gCO₂/km

Resultados

Los viajes motorizados en transporte privado

La proporción de viajes motorizados generados en modo transporte privado para el Gran Santiago en un día laboral normal quedan representados en la Figura 4. Las comunas que presentan una proporción mayor de viajes en modo transporte privado, respecto del total de viajes motorizados generados en la misma comuna, son aquellas situadas en el sector oriente del Gran Santiago, específicamente las comunas de La Reina, Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea se ubican en el rango 30% a 50%. Según la EOD (2001), las comunas pertenecientes al sector oriente son aquellas que mayor número de vehículos por habitante poseen, destacando las comunas de Vitacura y Las Condes. En contraste, los menores valores de este indicador se presentan en las comunas de La Pintana y Lo Espejo, ubicadas en el sector sur (SECTRA, 2001).

En consecuencia con lo antes dicho, aquellas comunas que generan menores viajes en modo transporte privado se sitúan en el sector sur, poniente y norte del Gran Santiago, entre ellas cabe mencionar las comunas de La Pintana, Puente Alto, San Ramón, Lo Espejo, Pedro Aguirre Cerda, entre otras. Éstas generan entre 6% y 11% de sus viajes motorizados

en modo transporte privado. Por otro lado, las comunas situadas en la sector centro y sector occidente del Gran Santiago, como es el caso de la comuna de Santiago, Quinta Normal y Estación Central generan entre 11% y 17% de sus viajes motorizados en modo transporte privado. En consecuencia, las comunas que mayores viajes generan son aquellas que se localizan, fundamentalmente, en el sector oriente y sur oriente del Gran Santiago.

Las emisiones de CO₂ debido a los desplazamientos de la población en modo de transporte privado

Considerando la proporción de viajes motorizados en modo transporte privado y la distancia recorrida en un día laboral de temporada normal, se han obtenido las emisiones de CO₂ para cada manzana del Gran Santiago. Las cifras obtenidas para los tres escenarios son: 7.066,9 Ton/día (Escenario 1); 5.350,5 Ton/día (Escenario 2) y 2.675,2 Ton/día (Escenario 3). Estas cifras son consistentes con órdenes de magnitud revisados en otros estudios. Por ejemplo, según la CONAMA (2007) las emisiones de CO₂ estimadas para vehículos particulares en la Región Metropolitana para el año 2005, fueron de 1.793.258 Ton/año CO₂, lo es equivalente a 7.116 Ton/día CO₂ (días laborales). Considerando lo anterior,

Las emisiones de CO₂ generadas por el desplazamiento de la población Garrido-Díaz

asumir un rendimiento de 264,3 gCO₂/km (Escenario1) permite obtener valores similares a los estimados por otras metodologías.

La distribución espacial de las emisiones de CO₂ generadas por cada manzana del Gran Santiago, para los tres escenarios evaluados, queda representada en la Figura 5a), 5b) y 5c). Las emisiones calculadas para los tres escenarios muestran una mayor cantidad de emisiones generadas por el sector oriente y suroriente del Gran Santiago y una menor cantidad de emisiones hacia el sector sur y poniente de la ciudad. Lo cual está, en este caso, en directa relación con la cantidad de viajes generados en modo transporte privado, ya que el sector oriente, según lo señalado hasta ahora, es el que mayores viajes genera. No obstante, la cantidad de manzanas que emiten en el mayor rango, disminuyen al avanzar de Escenario. Lo cual quiere decir que

sin modificar la cantidad de viajes en modo de transporte privado, es posible disminuir la cantidad de manzanas que emiten en el mayor rango si utilizamos para estos desplazamientos un vehículo más eficiente, en términos de emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido.

En esta línea, un estudio del Ministerio del Medio Ambiente (2012) ha señalado que si bien en Chile se ha disminuido en emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido en el mercado automotriz, el país aún presenta emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido un 30% mayor que las de la Unión Europea y Japón, situación que se explica debido a la falta de normas con estándares mínimos de rendimiento en el consumo de combustibles como sí ocurre en otras naciones. Frente a ello, se entiende que el mejoramiento de las tecnologías asociadas a los automóviles es una tarea

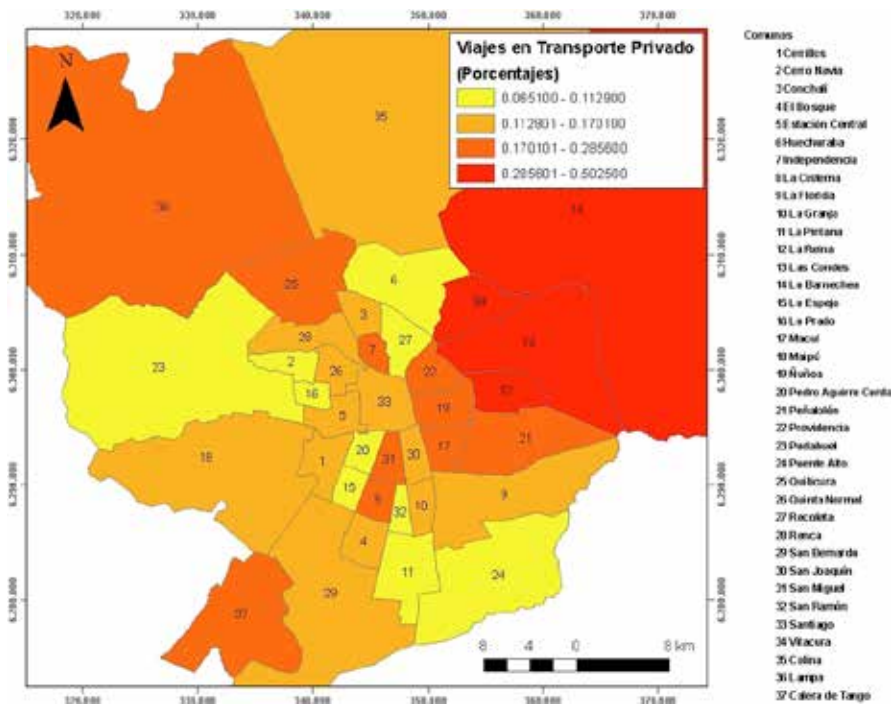


Figura 4. Viajes motorizados generados en modo transporte privado un día laboral en temporada normal para el Gran Santiago.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos recogidos en la Encuesta Origen Destino 2001 (SECTRA, 2001).

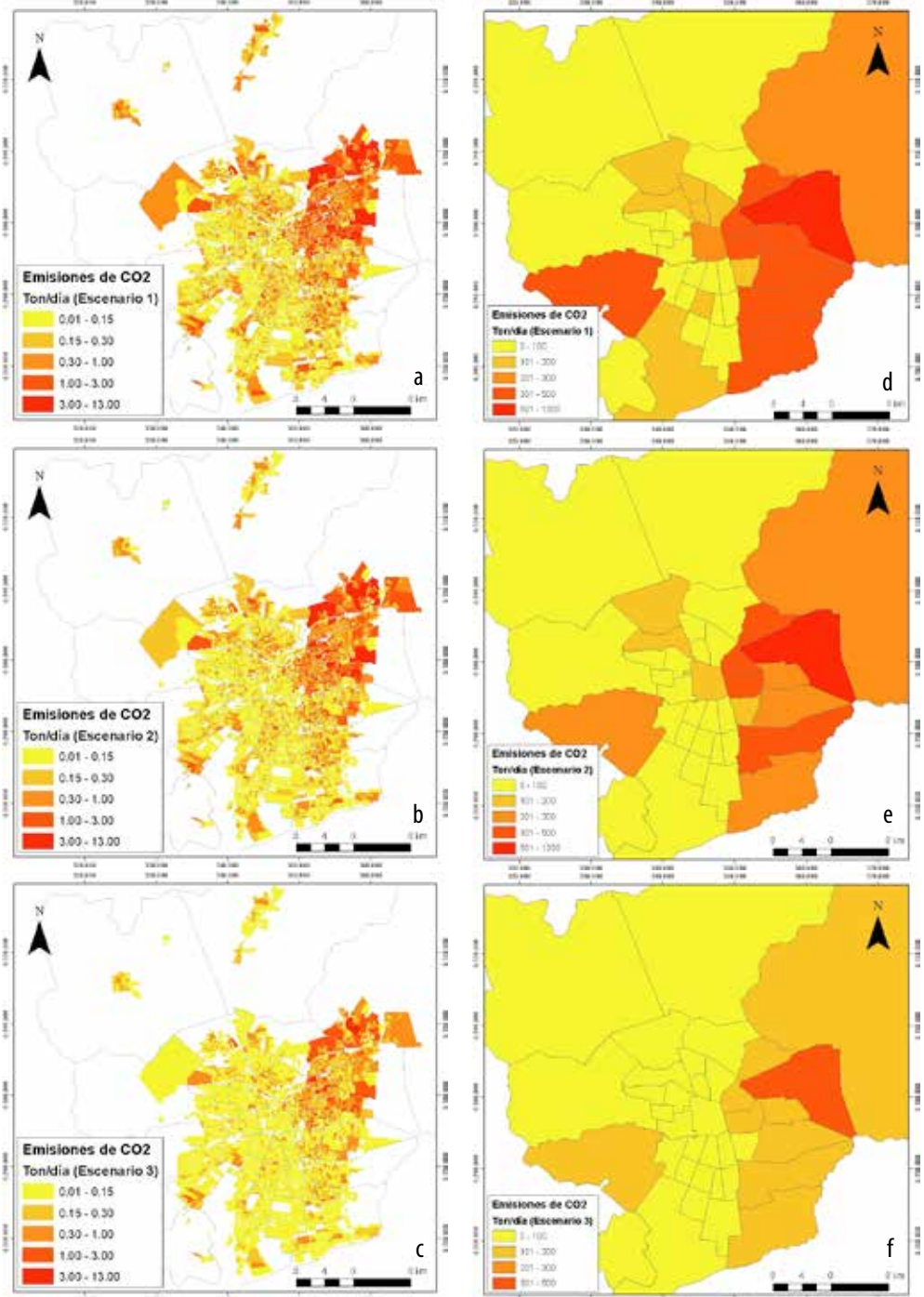
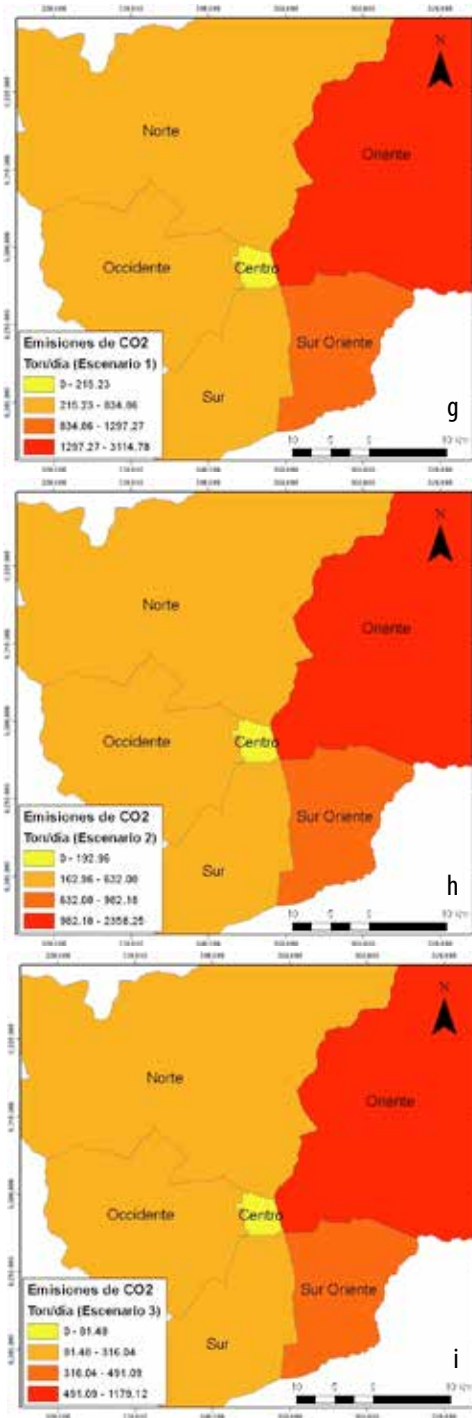


Figura 5. Emisiones de CO2 por manzana (a, b y c), comunas (d, e, f) y sectores (g, h, i) del Gran Santiago, para un día laboral de temporada normal.

Fuente: Elaboración propia.



pendiente que permite disminuir, de modo efectivo, la cantidad de emisiones de CO₂.

Al revisar de forma agregada la información obtenida por manzana, y que se presenta en la Figura 5d), 5e) y 5f), es posible verificar que las comunas del Sector Oriente y Sur Oriente son las que aportan mayores emisiones de CO₂. Los diferentes escenarios expuestos en la Figura 5, permiten dar cuenta que la comuna de Las Condes es aquella que mantiene emisiones en los mayores rangos, incluso en el Escenario 3 (300 y 500 CO₂ ton/día). En relación con ello cabe mencionar que la comuna de Las Condes es la que más distancia recorre en un día y sus viajes se realizan fundamentalmente dentro del mismo Sector Oriente. Esto quiere decir que las emisiones de CO₂ en esta comuna son el resultado de una mayor cantidad de viajes generados (más viajes en un día) en automóvil al interior del mismo sector y no a mayores distancias recorridas por desplazamientos hacia otros sectores, como ocurre en otras comunas.

Al ordenar las comunas por la cantidad de emisiones de CO₂ (Ton/día) se obtiene que las comunas de Las Condes, Ñuñoa y La Florida son las que mayor participación tienen en las emisiones. Por el contrario, aquellas que menor participación tienen son: Calera de Tango, Lampa y San Ramón. En relación a estas últimas, específicamente Calera de Tango y Lampa generan una proporción importante de sus viajes motorizados en vehículo particular. No obstante, la menor cantidad de emisiones obtenidas en este estudio se debe a una menor distancia recorrida durante el día. Con todo, se puede mencionar que los escenarios expuestos, evidencian un contexto desigual en la distribución de las emisiones de CO₂ para las

unidades territoriales revisadas, situación que se deriva de la cantidad de viajes generados por cada manzana, la distancia recorrida y la

eficiencia del automóvil utilizada en cada una de ellas.

Discusión

A lo largo del presente trabajo se mostró una metodología que permitió obtener la cantidad de emisiones de CO₂ generadas por los desplazamientos de la población en modo transporte privado. Se observó que las emisiones estimadas se encuentran dentro de los rangos de magnitud estimadas por otros estudios, lo cual permite aseverar que la metodología utilizada, pese a las simplificaciones asumidas, permitió obtener resultados de un orden de magnitud comparable. Adicionalmente, se puede destacar que la metodología utilizada presenta la ventaja del ahorro de tiempo de cálculo, en comparación a otras metodologías desarrolladas. Sin embargo, alberga incertidumbres cuya relevancia debe ser evaluada a partir de la comparación con otros métodos previamente validados.

En relación con los resultados obtenidos en el presente estudio, se ha logrado identificar el Escenario 1 como aquel más cercano a los valores obtenidos en otros estudios considerados como referencias. Se logró identificar los sectores oriente y sur oriente de la ciudad de San-

tiago, como las zonas que mayores emisiones generan para todos los escenarios evaluados. Finalmente, se logró identificar a las comunas de Las Condes, Ñuñoa y La Florida como las mayores generadoras de emisiones de CO₂ producto de sus desplazamientos en modo de transporte privado.

Si bien el presente trabajo abordó a través de una metodología simplificada las emisiones de CO₂ generadas por los desplazamientos de la población en modo de transporte privado, en futuras investigaciones un asunto a responder es la validación de la metodología. Esto implicaría emplear la metodología propuesta en otros escenarios (ciudades) y utilizar datos actualizados del Censo de Población y de la Encuesta Origen Destino. Así, también, se considera recomendable llevar a cabo la sensibilización de los resultados considerando el motivo de los desplazamientos, con ello se podría dar cuenta de aquellos propósitos que generan mayores viajes motorizados en modo transporte privado y las emisiones asociadas éstos.

Agradecimientos

Este documento es parte de un trabajo final de asignatura del Máster Oficial Europeo en Planificación Territorial y Gestión Ambiental de la

Universidad de Barcelona, y ha sido dirigido por el Doctor Javier Martín-Vide.

Bibliografía

- Agencia Ambiental Europea [AAE] (2001). Indicadores de seguimiento de la integración del transporte y el medio ambiente en la Unión Europea. Resumen (TERM). AAE.
- Cebollada, A. (2006). Aproximación a los procesos de exclusión social a partir de la relación entre el territorio y la movilidad cotidiana. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*. 48: 105-121
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2003). Congestión de Tránsito. El problema y cómo enfrentarlo. Cuadernos de la CEPAL 87. Naciones Unidas. Santiago, Chile.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] (2010). Análisis de opciones futuras de mitigación de gases de efecto invernadero para Chile en el sector energía. Centro de Cambio Global UC & POCH Ambiental.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Departamento de Control de Contaminación. Santiago, Chile.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] (2007). Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosférico en la Región Metropolitana de Santiago 2005. Ingeniería DITUC. Santiago, Chile.
- Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica [CONICYT] (2010). Investigación en transporte en Chile: áreas de investigación y capacidades. Informe de Estado del Arte. Ministerio de Educación. Chile, Santiago.
- United States Environmental Protection Agency [EPA] (2011). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Office of Transportation and Air Quality. EPA – 420 – F – 11 – 041.
- Fernández & Valenzuela (2004). Gestión ambiental de tránsito: cómo la ingeniería de transporte puede contribuir a la mejoría del ambiente urbano. *EURE (Santiago)* vol.30. 89: 97-107.
- Instituto Nacional De Estadísticas [INE] (2002). Censo de Población y Vivienda 2002. Gobierno de Chile.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2006). Combustión Móvil. En Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2 Energía. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES) para el IPCC. IPCC, Ginebra, Suiza. Capítulo 3: 3.1 – 3.74
- International Energy Agency [IEA] (2012). CO₂ emissions from fuel combustion Highlights. París, Francia. [En línea] <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente [MMA] (2012). Cambio Climático. En Informe del Estado del Medio Ambiente 2011: Cambios atmosféricos globales. MMA, Gobierno de Chile. Chile: Santiago. Capítulo 11: 427-448.
- Miralles-Guasch, C. (2012) Las Encuestas de Movilidad y los Referentes Ambientales de los Transportes. *Revista Eure (Santiago)* vol. 38. 115: 33 – 45.
- Miralles-Guasch, C. & Cebollada, A. (2009). Movilidad cotidiana y sostenibilidad, una interpretación desde la geografía humana. *Boletín de la A.G.E.* 50: 193-216
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2011). Las ciudades y el cambio climático: Orientaciones para políticas. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Resumen Ejecutivo. ONU-HABITAT.

Secretaría de Planificación de Transporte [SEC-TRA] (2010). Análisis y Desarrollo de una metodología de estimación de consumos energéticos y emisiones para el transporte. Ministerio de Planificación, Gobierno de Chile. Santiago, Chile.

Secretaría de Planificación de Transporte [SEC-TRA] (2001). Encuesta Origen Destino (EOD). Gobierno de Chile. Santiago, Chile.

Fecha de recepción: 30 de abril del 2013
Fecha de aceptación: 15 de julio del 2013