

Departament d'Economia Aplicada

El impacto de la forma y estructura
espacial urbana sobre las emisiones de
CO2 en Concepción (Chile).
¿Es compatible una baja densidad
residencial con un bajo nivel de
emisiones?

Ivan Muñiz, Carolina Rojas,
Carles Busuldu, Alejandro
García, Mariana Filipe, Marc
Quintana

**D
O
C
U
M
E
N
T
D
E
T
R
E
B
A
L
L**

16.05

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

Facultat d'Economia i Empresa

Aquest document pertany al Departament d'Economia Aplicada.

Data de publicació : **Abril 2016**

Departament d'Economia Aplicada
Edifici B
Campus de Bellaterra
08193 Bellaterra

Telèfon: 93 581 1680
Fax: 93 581 2292
E-mail: d.econ.aplicada@uab.es
<http://www.uab.cat/departament/economia-aplicada/>

**El impacto de la forma y estructura espacial urbana sobre las
emisiones de CO₂ en Concepción (Chile).
¿Es compatible una baja densidad residencial con un bajo nivel de
emisiones?**

Ivan Muñiz
Carolina Rojas
Carles Busuldu
Alejandro García
Mariana Filipe
Marc Quintana

Resumen: Esta investigación persigue dos objetivos, en primer lugar, calcular las emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad y a la vivienda de los habitantes de Concepción. El segundo objetivo es estimar el impacto de la forma y estructura espacial sobre el volumen de emisiones. A partir de un amplio cuestionario se estimaron las emisiones individuales en 19 barrios, dando como resultado un volumen llamativamente inferior al calculado en otros trabajos de naturaleza similar. En cuanto al impacto de la forma y estructura urbana, contrariamente a lo esperado, la densidad no parece ejercer impacto alguno sobre las emisiones de CO₂. Sí lo hace en cambio la distancia al CBD, por lo que políticas urbanísticas orientadas a frenar la expansión suburbana pueden resultar indicadas para reducir el volumen total de emisiones.

1. Introducción

La batalla contra el cambio climático se ganará o perderá en las ciudades, pues concentran en la actualidad a más de la mitad de la población del planeta (Un-habitat, 2011). Como lugares de producción, las ciudades son responsables de entre un 30 y un 40% de las emisiones mundiales de CO₂. Como centros de consumo, el porcentaje podría llegar hasta el 70%. (Satterthwaite, 2008; Walraven, 2009; Dodman, 2009; Un-habitat, 2011). El volumen de las emisiones depende de multitud de factores como las condiciones climáticas, la demografía, el modelo económico, la tecnología, la renta per cápita o el estilo de vida. También es posible que juegue un papel relevante su forma y estructura espacial. Por ejemplo, el hecho de que las emisiones directas de CO₂ per cápita sean del orden de 20 Tn/año en ciudades de US, 8 en ciudades europeas y 6 en las ciudades asiáticas, probablemente se deba en parte al hecho de que las ciudades de EEUU son más dispersas que las europeas y las europeas más dispersas que las asiáticas (Markham, 2008; Croci et al, 2013; Dhakal, 2008; Un-habitat, 2011). Aunque este patrón parece un buen punto de partida, establecer relaciones de causalidad entre la forma y la estructura espacial urbana y las emisiones de CO₂ requiere de un andamiaje estadístico más sofisticado.

Los principales objetivos de esta investigación son: a) calcular las emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad individual y a la vivienda y b) estimar el impacto de la forma/estructura espacial sobre el volumen individual de emisiones en el Área Metropolitana de Concepción (Chile) mediante un modelo de regresión múltiple. Para ello se estiman las emisiones individuales de CO₂ a partir de la información que aportan los individuos en cuestionarios pormenorizados expresamente diseñados. A continuación se estima el modelo de regresión que presenta las siguientes particularidades: a) La variable dependiente son las emisiones de CO₂ previamente estimadas incluyendo la movilidad de fin de semana y vacaciones y los consumos energéticos de segundas viviendas. De este modo podemos detectar la posible existencia de comportamientos compensatorios (la población que reside en barrios densos podría llevar a cabo una mayor movilidad durante los fines de semana y periodo vacacional) (Hoyer y Holden, 2003; Naess, 2006; Holden, 2007; Muñiz et al. 2013); b) Utiliza dos medidas de forma/estructura espacial: la densidad (más común) y la distancia al CBD (menos común); c) Incorpora información individual de naturaleza socioeconómica; y d) Se controla la endogeneidad asociada a la autoselección que puede sesgar el valor de los parámetros mediante la inclusión de una variable que captura las preferencias de los individuos sobre los diferentes modos de transporte y su importancia a la hora de escoger su lugar de residencia (Naess, 2006; Hoden y Linnerud, 2011; Muñiz et al. 2013).

Los partidarios del llamado *Enfoque de Ciudad Compacta* apuestan por un modelo de ciudad densa y centralizada como estrategia para reducir el volumen de emisiones (CEC, 1990; Ewing, 1997; Newman y Kenworthy, 1999; Jabareen, 2006; Gillham, 2002). En este contexto resulta pertinente analizar el caso de Concepción (Chile). ¿Presenta Concepción unas elevadas emisiones individuales en movilidad y vivienda debido a su forma y estructura espacial (poco densa, policéntrica y descentralizada)? ¿Los individuos que residen en las zonas densas y céntricas tienen un menor volumen de emisiones que los que viven en las zonas menos densas y/o alejadas del centro principal? Conocer el comportamiento espacial de las emisiones individuales permitiría orientar la planificación urbana hacia la consecución de un menor volumen de emisiones. Además, tal como sostiene Patricia Romero Lankao, los países

latinoamericanos han experimentado un incesante aumento en sus emisiones, por lo que debieran plantear estrategias, también en el campo del urbanismo, que persigan reducirlas (Romero Lankao, 2007; Romero Lankao et al. 2005).

En lo que sigue el artículo se estructura del siguiente modo. La sección 2 pasa revista a la evidencia empírica sobre la relación entre forma/estructura urbana y emisiones de CO₂. En la sección 3 se presenta brevemente el Área Metropolitana de Concepción. En la 4 se presentan los datos utilizados y la estrategia empírica adoptada. En la sección 5 se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 6 se resumen los principales hallazgos del estudio y se discuten sus implicaciones sobre la conveniencia o no de aplicar en Latinoamérica una estrategia para la sostenibilidad de sus ciudades basada exclusivamente en el *Enfoque de Ciudad Compacta*.

2. Emisiones de CO₂ y ciudades

2.1. ¿Ciudad compacta = Ciudad sostenible?

Los partidarios del *Enfoque de Ciudad Compacta* defienden la existencia de ventajas medioambientales asociadas a la alta densidad y a la centralidad¹. Las ciudades densas y compactas presentan en general un volumen menor de emisiones per cápita que las ciudades poco densas y descentralizadas, del mismo modo que, en el interior de una gran región urbana, los barrios céntricos y densos suelen presentar un menor volumen de emisiones per cápita que los barrios o municipios poco densos y periféricos. Las razones que explican dicho patrón se hallarían en el impacto que ejerce la forma/estructura espacial urbana sobre la energía utilizada en movilidad y vivienda.

En el caso de la movilidad, las ventajas derivadas de una elevada densidad y centralidad se explican más por el uso de transporte público, un elevado porcentaje de desplazamientos a pie, y las cortas distancias recorridas (Newman y Kenworthy, 1989; Holtzclaw, 1994; Holtzclaw et al. 2002; Ewing y Cervero, 2001; Burer et al. 2004; Leck, 2006; Litman, 2010). En el caso de la vivienda, una elevada densidad y centralidad se traduciría por norma general en un bajo consumo de energía para calentar el espacio gracias a la existencia de muros compartidos y a su reducido tamaño en comparación con las viviendas de los suburbios (Ewing y Anderson, 2008; Ewing y Rong, 2008; Mohaffy et al. 2009; Un-habitat, 2012).

2.2 El impacto de la forma/estructura espacial sobre las emisiones de CO₂ en movilidad y vivienda: un repaso a la evidencia empírica

Emisiones directas de CO₂ y Huella de Carbono. Esta sección revisa los estudios de naturaleza empírica que han abordado la relación entre forma y estructura espacial y

¹ Aunque densidad y centralidad son probablemente las dimensiones asociadas al concepto de compacidad urbana más investigadas, no puede dejarse de lado el papel que juega la mezcla de funciones. Los tejidos urbanos de uso mixto permitirían reducir las distancias de commuting y por tanto el volumen de emisiones. Por otro lado, las ventajas de la densidad no se limitarían al ahorro de energía en vivienda y movilidad, sino que esta energía se usaría de forma más eficiente en términos de CO₂, pues una elevada densidad reduce la infraestructura necesaria por persona (Dong, 2006), facilita la cogeneración (Allen et al. 2004), reduce el consumo de suelo urbanizado permitiendo con ello que el espacio no ocupado pueda utilizarse para la absorción de CO₂ (Knaap et al. 2005), y limita las pérdidas de las líneas eléctricas en la transmisión y distribución de energía (Z)

emisiones directas de CO₂ en movilidad y vivienda. También se han incluido aquellos estudios donde el indicador de impacto ambiental a escala global no son las emisiones directas de CO₂ sino la huella de carbono. Aunque reflejan conceptos similares, no miden exactamente lo mismo. Las emisiones directas de CO₂ se contabilizan en el lugar de emisión (*production based approach*) sumando las emisiones directas asociadas a la generación y suministro de energía, a la producción de bienes, a la agricultura, al transporte, a los edificios (comercios, oficinas y viviendas) y al tratamiento de residuos². Si calculamos las emisiones de CO₂ asignándolas al lugar de consumo (*consumption based approach*), sumando el CO₂ que se ha lanzado a la atmósfera para hacer llegar el producto o servicio al consumidor final, el volumen de emisiones resultante es sensiblemente superior³. Llamamos a este valor, *huella de carbono* (Rees y Wackernagel, 1996; Wiedman y Minx, 2007; Pon y Pon, 2009). Centrados en el caso de la movilidad y de la vivienda, la diferencia es que la huella de carbono contabiliza, además de las emisiones directas de CO₂, la energía –y por tanto el CO₂- incorporada a las infraestructuras de transporte, en los vehículos y en las viviendas arrojando como resultado un volumen mayor de emisiones.

Los trabajos consultados revelan un progresivo esfuerzo por mejorar las técnicas de análisis con el objeto de capturar de forma rigurosa el impacto real de la forma y estructura espacial de las ciudades sobre su volumen de emisiones.

Comparaciones y correlaciones. Un primer grupo de trabajos está compuesto por aquellos estudios donde se presentan simples correlaciones entre algún indicador de forma urbana (preferentemente la densidad) y las emisiones de CO₂, o bien se comparan las emisiones de CO₂ -o la huella de carbono- entre lugares céntricos y densos y lugares poco densos y periféricos. (Ma et al, 2014; Van de Weghe y Kennedy, 2007; Andrews, 2018; Norman et al., 2006; Brown et al., 2008). En conjunto, los resultados obtenidos en este grupo de trabajos respaldan la existencia de beneficios ambientales a escala global asociados a la alta densidad y a la centralidad (Tabla 1)

Modelos con datos espacialmente agrados y controles geográficos y socioeconómicos. Uno de los problemas que presentan los trabajos anteriormente citados es el hecho de no considerar otros factores diferentes a la forma/estructura espacial urbana como determinantes de las emisiones de CO₂. Esta omisión podría sesgar al alza el valor de los parámetros que capturan su impacto. Para solventar este problema, un segundo grupo de trabajos presentan modelos econométricos con datos espacialmente agregados donde se añaden variables explicativas referentes al precio de la energía o a la renta per cápita (K). En general estos trabajos también capturan un impacto de las variables de forma/estructura espacial similar al del grupo anterior (una mayor densidad y una mayor

² Esta manera de contabilizar la contribución de las ciudades a las emisiones de gases de efecto invernadero puede subestimar su impacto real. Las ciudades de los países más desarrollados han externalizado una parte relevante de las plantas generadoras de energía y de los procesos industriales hacia la periferia suburbana y hacia países en vías de desarrollo, por lo que existe un creciente desajuste entre las emisiones directas que se producen en las ciudades de estos países y aquellas que cabe asignar a los patrones de consumo de su población.

³ Por ejemplo, se sumarían el CO₂ asociado al consumo de alimentos (el enfoque de producción asigna un valor muy bajo a las ciudades pues tienen pocas zonas de cultivo), el CO₂ asociado a los bienes de consumo importados y el CO₂ asociado a la producción de los bienes de capital, edificios, máquinas, infraestructuras y vehículos requeridos utilizados para suministrar los bienes y servicios consumidos.

centralidad se traducen en un volumen menor de emisiones) si bien los parámetros pierden valor y significatividad (Tabla 1).

Modelos con datos individuales y controles geográficos y socio económicos. El segundo grupo de trabajos, aunque presenta mejoras metodológicas respecto al primero, tiene las limitaciones propias de los modelos estimados con datos espacialmente agregados. Cabe recordar que son las personas, no los territorios, los que emiten CO₂ a la atmósfera de forma directa o indirecta. En un estudio sobre el impacto de la forma/estructura espacial en la huella de carbono individual de commuting en Dallas County utilizando datos individuales, Ruy (2005) obtuvo resultados similares a los de Muñiz y Galindo (2005) corroborando la existencia de beneficios ambientales asociados a la densidad y a la centralidad (Tabla 1).

Endogeneidad. Tanto los modelos agregados como los modelos con datos individuales, podrían arrojar parámetros sesgados debido a problemas de endogeneidad (Cao et al. 2009). En el caso de los modelos con variables espacialmente agregadas, el principal problema de endogeneidad es la posible presencia de una doble causalidad. La movilidad vendría afectada por la forma y estructura espacial, pero también puede suceder al revés, es decir, la forma y estructura espacial podría ser en parte resultado de las pautas de movilidad⁴. En el caso de los modelos con datos individuales, el problema de endogeneidad más común es la “autoselección”. Si los individuos escogen su lugar de residencia teniendo en cuenta sus preferencias sobre la movilidad, el hecho de no considerar esta información puede sesgar el valor de los parámetros. Las soluciones más comunes son: a) Trabajar con una muestra de población con poca capacidad para elegir su lugar de residencia (como jóvenes que trabajan y viven con sus padres) (Dujardin et al.; 2008; O’Reagan y Quigley, 1998), b) utilizar el estimador de Heckman y tratar la endogeneidad asociada a la omisión de variables que capturen las preferencias en movilidad como un caso de heterogeneidad no observada (Greene, 2003; Hamilton y Nockerson, 2003); o c) incluir una pregunta en el cuestionario individual que recoja explícitamente las preferencias de los individuos con respecto a la movilidad e incluir esta información en el modelo de regresión (Hoyer y Holden, 2003; Muñiz et al, 2013).

Comportamientos compensatorios. Sólo los trabajos que estiman el impacto de la forma/estructura espacial sobre las emisiones de CO₂ -o la huella de carbono- a partir de datos individuales, que incluyen además las emisiones asociadas a la movilidad por ocio y/o las emisiones asociadas a segundas residencias, ofrecen resultados que cuestionan o matizan los beneficios ambientales ligados a la compactidad. Si los individuos que viven en barrios densos y céntricos -y que por tanto presentan una movilidad obligada con un bajo nivel de emisiones- “compensan” el ahorro en movilidad durante los días laborales con una mayor propensión a tener/usar una segunda residencia y llevar a cabo desplazamientos más largos y frecuentes durante los fines de semana y las vacaciones, el efecto neto de la densidad y de la distancia al CBD puede ser no-significativo

⁴ La solución más común a este problema es la estimación con variables instrumentales, normalmente variables de forma/estructura urbana suficientemente retrasadas en el tiempo como para anular la posibilidad de que la estructura espacial dependa de los patrones de movilidad que se dan en la actualidad (Baum-Snow et al., 2012; García-López, 2013; Duranton y Turner, 2011).

llegando incluso a cambiar de signo (Naess, 2006; Holden y Norland, 2005; Holden, 2007; Holden y Linnerud, 2011; Strandell y Hall, 2015) (Tabla 1)

Høyer y Holden (2003) hallaron que, en el caso de Oslo, el efecto de la densidad sobre la huella de carbono no era de signo negativo sino positivo debido a la existencia de comportamientos compensatorios⁵. Basándose en el trabajo de Hoyer y Holden (2003) Muñoz et al (2013) llevaron a cabo un ejercicio similar obteniendo evidencia favorable a la existencia de comportamientos compensatorios en un sentido débil, es decir, el impacto beneficioso de la densidad y de la centralidad decrecería hasta anularse en un punto a partir del cual una mayor densidad y una mayor centralidad conlleva un mayor volumen de emisiones (Tabla 1).

Urbanidad, ruralidad y policentrismo. Las variables de forma y estructura espacial urbana más utilizadas en la investigación aplicada son la *densidad de población* y la *distancia al CBD*, si bien diversos estudios han planteado su estrategia empírica a partir de otros indicadores. Por ejemplo, Eaton et al (2007) y Parshall et al (2010) compararon el volumen individual de emisiones, distinguiendo entre espacios urbanos, rurales y suburbanos. Los resultados obtenidos por Parshall et al (2009) indican que las emisiones directas de CO₂ per cápita en *counties* suburbanos son superiores a las emisiones reportadas en *counties* urbanos y rurales. Por el contrario, Eaton et al (2007) no hallaron diferencias significativas en un trabajo parecido. Otra línea de investigación se ha abordado el impacto del policentrismo (existencia de varios centros de empleo además del CBD tradicional) sobre las emisiones de CO₂. Los resultados obtenidos no son concluyentes pues, mientras que Veneri (2010) halla evidencia empírica favorable al policentrismo como la estructura espacial con menores emisiones per cápita para las principales regiones urbanas italianas, Glaeser y Kahn (2010) hallaron en cambio evidencia favorable al monocentrismo para el caso de las regiones urbanas de EEUU⁶.

Aunque la evidencia empírica es en general favorable al *Enfoque de Ciudad Compacta*, un buen número de ecólogos, geógrafos, arquitectos y activistas medioambientales defienden un modelo de asentamientos alternativo. Los defensores del *Enfoque de Ciudad Autosuficiente* (Morris, 1982; Orrskog y Hammond, 1993; Bettini, 1998; Girardet, 1999, Haberl, 2001; Pickett et al. 2013) proponen un modelo descentralizado y adaptado a la geografía y a los recursos disponibles del lugar. Argumentan que una mayor autosuficiencia conllevaría un menor consumo de energía y una explotación responsable de los recursos renovables locales, lo cual conduciría a unas menores emisiones per cápita. Este tipo de estudios son de naturaleza propositiva y centran la cuestión, no tanto en la forma/estructura espacial de las ciudades, como en su tamaño, en el Capital Natural disponible y en la concienciación ambiental de la población. Plantean la relación entre forma y estructura espacial de manera más compleja que los trabajos anteriormente citados, ya que tienen en cuenta los impactos globales pero

⁵ La posible autoselección se controló incluyendo en el modelo econométrico de forma explícita una variable que captura las preferencias de los individuos respecto a la movilidad y su incidencia en la elección del lugar de residencia.

⁶ Es posible que detrás de unos resultados aparentemente contradictorios esté el hecho de que las ciudades mediterráneas son muy diferentes a las estadounidenses. En comparación con las ciudades de EEUU, las ciudades mediterráneas (españolas, italianas, francesas y griegas) son más densas, compactas y policéntricas.

también los locales⁷. La lista de estudios de naturaleza aplicada que han abordado el impacto ambiental asociado a la forma/estructura espacial de las ciudades es extensa, pero los trabajos que han testado de forma explícita su impacto sobre las emisiones de CO₂ o huella de carbono son más bien escasos⁸. Por ejemplo, no existen estudios aplicados para las ciudades de países en vías de desarrollo, lo cual es grave, pues son justamente el grupo de países para los que se prevé un mayor crecimiento urbano durante las próximas décadas (UN-habitat, 2011; UNFPA, 2007). La investigación sobre la relación entre forma y estructura espacial y emisiones de CO₂ aplicada a las ciudades de estos países puede ayudar a planificar su crecimiento futuro a partir de modelos urbanos con un bajo impacto ambiental a escala global. También puede contribuir a reformular de forma crítica el *Enfoque de Ciudad Compacta* pues, en estos países, la alta densidad viene a menudo acompañada de graves problemas sociales y medioambientales a escala local; y la baja densidad de un uso preferente y responsable de los recursos locales.

⁷ Así, por ejemplo, una elevada densidad permite reducir las emisiones de CO₂ per cápita, pero también la capacidad para absorber CO₂. Además, una elevada densidad dificulta en ocasiones el consumo de recursos locales renovables como la energía solar o la geotermia (Mollay, 2010).

⁸ Aunque es lógico pensar que los resultados que arrojan los numerosos trabajos que han contrastado cual es el efecto de la forma/estructura espacial sobre un indicador de impacto ambiental a escala global como el consumo de energía en vivienda y movilidad, deberían ir en la misma dirección que aquellos –más escasos– que utilizan como indicador de impacto ambiental las emisiones de CO₂, lo cierto es que no hay ninguna garantía al respecto, pues para un mismo consumo de energía, el nivel de emisiones puede variar de forma significativa dependiendo de la fuente de energía primaria.

Tabla 1

Emisiones de CO2 en movilidad y vivienda

	Ámbito estudio	Toneladas CO₂/cápita	% Movilidad	% Vivienda	Indicador	Impacto
Glaeser y Kahn (2010)	66 áreas metropolitanas de EEUU	5-7	70	30	% empleo en CBD	+% Emp en CBD=> -CO2
Kennedy et al (2009)	10 ciudades del mundo	0.8-6.3	61	39	Densidad	+Den=>- CO2
Norman et al (2006)	Toronto	3.4-8.3	50	50	Dist CBD	+ Den =>- CO2
Van de Weghe y Kennedy (2007)	Toronto	6.9	40	60	Dist CBD	+dist CBD => -CO2
Andrews (2008)	New Jersey	4.2-7	51	49	Dist CBD	+dist CBD =-CO2
Brown et al (2008)	100 áreas metropolitanas de EEUU	1.2-2.5	60	40	Densidad	+den => -CO2
Hoyer y Holden (2003)	3 ciudades noruegas	3.6-5.2	-	-	Dummy barrio denso =1	(+dens =>-CO2 excepto Oslo)
Ryu (2005)	Dallas County (EEUU)	24.1	29	71	Densidad Dist CBD	+den=>-CO2 +dist CBD=> -CO2
Muñiz et al (2013)	Región Metropolitana de Barcelona	4.4	33	67	Densidad Densidad ² Dist CBD Dist CBD ²	Densidad (forma U) Dist CBD (Forma U invertida)

Fuente: elaboración propia a partir de: Glaeser y Kahn (2010), Kennedy et al (2009), Norman et al (2006), Van de Weghe y Kennedy (2007), Andrews (2008), Brown et al (2008), Hoyer y Holden (2003), Ryu (2005) y Muñiz et al (2013).

En los trabajos donde aparecen valores muy diferentes se incluye el rango

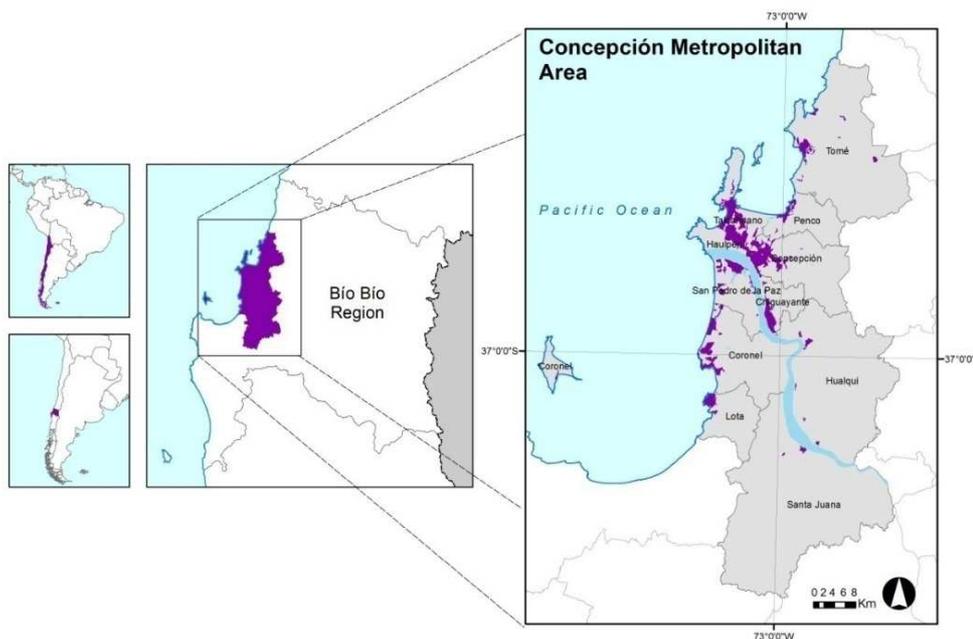
3. El Área Metropolitana de Concepción (AMC).

El Área Metropolitana de Concepción, también llamada Gran Concepción, se encuentra en la parte centro-sur de Chile, en la costa del pacífico y es la capital de la región del Bío-Bío. Su expansión física se ha extendido y estructurado condicionada por su geografía, particularmente el río Bío-Bío y el cerro de la costa (Parra, 2010; Salinas, 2010). La Gran Concepción está conformada por once comunas que en conjunto ocupan 2.831 km². Se trata de la segunda área metropolitana chilena en importancia después de Santiago. En la actualidad residen 892.000 personas según los últimos datos censales (Parra, 2010). La estructura espacial del AMC comprende un núcleo destacado, Concepción, así como una serie de subcentros entre los cuales destaca Talcahuano (Rojas et al. 2009; Gysling y Hoffman, 2010) (**Mapa 1**). El Área Metropolitana de

Concepción dispone de un ambicioso plan urbanístico, pero el crecimiento reciente ha sobrepasado los límites propuestos (Rojas et al. 2013). En Concepción abunda la ocupación a-legal de terrenos y la autoconstrucción, lo cual ha permitido la creación de barrios con una baja calidad de urbanización, situados en zonas inundables y vulnerables frente a los fenómenos sísmicos y a los posibles efectos del cambio climático (Rojas et al. 2013a).

Si bien en el AMC la baja densidad es la norma (Rojas et al. 2013b), en las áreas más céntricas existen edificios de entre 8 y 25 plantas y tejidos residenciales relativamente densos. La densidad bruta del AMC es 37,98/ha (3798 hab/km²). Los tejidos residenciales más densos y compactos se encuentran en los centros consolidados de Concepción, Talcahuano y Hualpén. Las densidades más bajas, en zonas cercanas a carreteras, localidades costeras y en general en las áreas más distantes del centro principal (Rojas et al., 2009b; Serpell et al. 2013). La forma y estructura espacial de Concepción, una combinación de policentrismo y dispersión, está muy alejada de lo que se entiende por compactidad, por lo que, de acuerdo con las predicciones que se desprenden del *Enfoque de Ciudad Compacta*, podría llevar aparejada un elevado volumen de misiones.

Mapa 1 El Área Metropolitana de Concepción



Fuente: Elaboración propia

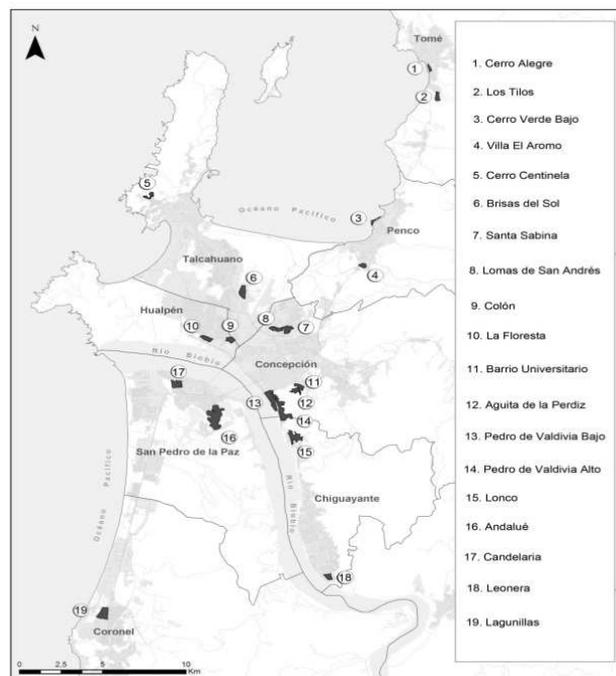
4. Datos, indicadores y estrategia empírica

4.1. El cuestionario y otras fuentes de datos

La selección de barrios pretende capturar la variedad de situaciones en cuanto a densidad, centralidad y nivel de ingresos. Bajo dicho criterio se encuestó a población

residente en 19 barrios pertenecientes a 8 comunas⁹ (Concepción, Hualpén, Talcahuano, San Pedro de la Paz, Chiguayante, Coronel, Penco y Tomé). Se descartaron las comunas más rurales, Hualqui y Santa Juana, por estar pobremente integradas desde un punto de vista funcional. Tampoco se seleccionó Lota debido a su semejanza con Coronel (*Tabla 2, Mapa 2*). Los barrios estudiados presentan una densidad neta media de 149 hab por hectárea. La menor densidad se da en Andalué en San Pedro de la Paz con 15,75 hab/ha, barrio de elevados ingresos, y la mayor, 426 hab/ha, en el barrio de ingresos bajos Cerro Centinela en Talcahuano (**Mapa 2**)

Mapa 2 Localización barrios seleccionados



Fuente: Elaboración propia

Los datos sobre el consumo de energía en movilidad y vivienda, características socioeconómicas y actitudes ante la sostenibilidad provienen de la explotación de 475 encuestas sobre los patrones de consumo de los hogares (25 encuestas por barrio). Esto supuso recoger información de 1662 individuos (en promedio cada hogar está compuesto por 3.5 individuos). La información contenida en los cuestionarios se agrupa en cuatro categorías: a) *perfil familiar* (número de miembros del hogar, renta per cápita, tipología del hogar); b) *actitudes respecto a la sostenibilidad* (valoración ambiental del lugar de residencia y peso que tuvo en su elección); c) *vivienda*: (m² vivienda, tipología, consumo de energía en gas y electricidad; y d) *movilidad* (número de desplazamientos, modo de transporte y distancia recorrida). Por último, los datos de densidad se calculan con el censo de población de 2002 y el área de la sección censal mediante GIS. La distancia recorrida se aproxima considerando la distancia en línea recta entre origen y destino.

⁹ Se comenzó con una lista de veinte barrios, pero uno de ellos se descartó debido a la baja calidad de la información obtenida.

4.2. *La medida de impacto ambiental global: las emisiones directas de CO₂*

Con la información sobre consumo de energía en vivienda y movilidad se calcula el volumen de emisiones correspondiente a cada unidad familiar dividida por el número de miembros que la componen (emisiones de CO₂ per cápita). Este valor se obtiene sumando cuatro fuentes de emisiones:

Emisiones de CO₂ asociadas a los consumos energéticos residenciales
Emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad obligada
Emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad de fin de semana
Emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad por vacaciones

Las emisiones de CO₂ de la movilidad individual se han calculado utilizando los factores de conversión que aparecen en Muñiz y Galindo (2005) para los diferentes modos de transporte utilizados¹⁰ (**Anexo 2**). En cuanto a los consumos energéticos residenciales, se han utilizado los factores de conversión que aparecen en Chambers et al (2000) (**Anexo 3**).

4.3. *El modelo general a estimar*

A continuación se estima un modelo de regresión múltiple mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) tomando como variable dependiente el logaritmo de las emisiones per cápita de CO₂ asociadas a los consumos energéticos residenciales y a la movilidad. Las variables explicativas se agrupan en tres categorías: a) *Variables socio-económicas* (número de miembros del hogar, renta per cápita, tipología hogar) b) *controles endogeneidad* (valoración ambiental del lugar de residencia y peso que tuvo en su elección); y c) *Forma y Estructura urbana* (Dummy=1 en barrios densos; distancia al CBD y distancia al CBD al cuadrado¹¹)

Se espera que el parámetro estimado de la variable “número de individuos que componen el hogar” presente un signo negativo capturando la existencia de economías de escala en la provisión de servicios en el hogar. El signo esperado del parámetro correspondiente a la variable renta familiar es positivo (mayor capacidad adquisitiva, mayor consumo de energía). Se espera que el grupo de solteros presente un impacto significativamente superior al resto de tipologías de hogar (Hoyer y Holden, 2003; Muñiz et al. 2013). En cuanto a los controles de endogeneidad, se preguntó a los encuestados hasta qué punto la elección del lugar de residencia tuvo en cuenta la posibilidad de tener un bajo impacto ambiental en movilidad y en vivienda. Al incluir esta información en el modelo se controlan los problemas de endogeneidad asociados a la auto-selección residencial (Naess, 2006; Høden y Linnerud, 2011).

¹⁰ Otros trabajos utilizan otros factores de conversión, como Stokenberga (2011) y Bertaud et al. (2009). Los factores de conversión utilizados en Muñiz y Galindo (2005) se encuentran por norma general entre los valores propuestos en los otros estudios.

¹¹ En versiones anteriores se utilizan como variables explicativas, en lugar de la dummy para barrio denso, la densidad y la densidad al cuadrado. Ninguna de ellas resultaron significativas, por lo que se decidió probar con la dummy para barrio denso, la estrategia utilizada en Hoyer y Holden (2003).

Una vez controladas las características socio-económicas y la posible autoselección residencial, las variables de estructura urbana deberían capturar su impacto neto sobre las emisiones individuales. En los modelos estimados se incluyen simultáneamente la densidad y la distancia al centro principal. Según el Modelo de Ciudad Monocéntrica (Alonso, 1960; Anas et al. 1998), la densidad depende negativamente de la distancia al CBD, por lo que debería estimarse el efecto de cada variable en modelos separados. Sin embargo, se estimaron dichos modelos y el valor de los parámetros permaneció estable¹². También se incluyó como regresor la distancia al centro al cuadrado con el objeto de capturar la posible existencia de máximos o mínimos locales.

5. Resultados

5.1. Los datos de la encuesta

La **Tabla 2** presenta los valores promedio de la información obtenida a partir de 475 encuestas y en la **Tabla 3** se presentan los valores de CO₂ per cápita estimados.

5.2. Estimación de las emisiones de CO₂

Las emisiones promedio asociadas a la movilidad individual y al consumo de energía en las viviendas de 0.532 toneladas de CO₂/hab) (**Tabla 3**). Este nivel individual de emisiones está sensiblemente por debajo del estimado en otros estudios (**Tabla anexo x**). Debe advertirse sin embargo que los valores que ofrecen los trabajos consultados no son estrictamente comparables, pues para una misma ciudad el valor estimado depende de la escala espacial urbana escogida¹³, el método de cálculo del consumo de energía en la vivienda¹⁴, el correspondiente para la movilidad¹⁵, y en el caso de los trabajos donde se presentan los resultados en hectáreas (huella ecológica), el factor de conversión CO₂ vs Huella (*energy land*). Aun así, con todas las cautelas, podemos afirmar que el consumo de energía en movilidad y vivienda que se da en Concepción puede considerarse como de muy baja huella, con un valor incluso por debajo del caso de estudio con menor impacto reportado en la bibliografía consultada (Barcelona, 0.8; Kennedy et al., 2009). Por consiguiente, el hecho de ser una ciudad ampliamente descentralizada y con tejidos urbanos poco densos, no ha sido obstáculo para obtener unos buenos resultados en términos de emisiones.

¹² De hecho, la correlación entre densidad y distancia al centro es inferior a 0.35.

¹³ El municipio central, el área metropolitana, la región metropolitana, o algún ámbito admirativo de escala superior a la región metropolitana (ejemplo Randstad holandés)

¹⁴ En algunos Trabajos se incluye en el cálculo la energía gris incorporada a los materiales ponderada por el plazo de vida del edificio y en otros solo la energía necesaria para su funcionamiento. Por otro lado, algunos Trabajos consideran solo alguna de las Fuentes de energía (electricidad, gas, biomasa, etc)

¹⁵ Algunos estudios utilizan los datos de encuestas de movilidad aproximando las distancias recorridas y el modo de transporte utilizado. En otros casos, el cálculo deriva del consumo de energía de los Automóviles y de los transportes públicos. Algunos estudios incluyen las emisiones asociadas a la movilidad de fin de semana y vacaciones y otros solo a la movilidad de commuting

Tabla 2
Resumen Información obtenida a partir del cuestionario

	Valor promedio
Nº Personas por vivienda	3,84
Superficie vivienda	106 m2
Año Construcción	1987
Material Vivienda	Hormigón (28%), Mixto (33%), Madera (24%)
Renta familiar	\$ 561.614
Tipo gas	Bombona 15 kilos (54%)
Otra energía	Leña (83%)
Casa Vacaciones	15%
Fines de semana	41%
Interés viaje (subjetivo de 1 a 10)	4,27
Interés Medio Ambiente (subjetivo de 1 a 10)	4,27
Tipo edificio	Vivienda Unifamiliar (93%)
Nº automóviles	0,78/hogar
Dist promedio al lugar de trabajo	13,65 km
Porcentaje uso de automóvil al trabajo	0,21%

Fuente: elaboración propia

Las emisiones per cápita de los barrios con una elevada renta per cápita es aproximadamente el doble de la los barrios con una baja renta per cápita. Dada la población de Concepción (algo más de 874000 personas según el Censo de 2002), el volumen total de emisiones rondaría el medio millón de toneladas de CO₂ (464.968 Tns CO₂). Tomando como referencia los datos del IPCC sobre la capacidad de absorción de CO₂ de los bosques a escala global¹⁶, la superficie boscosa necesaria para absorber el CO₂ emitido sería 89640 has, lo cual representa aproximadamente un tercio de la superficie total del AMC (283100 has).

¹⁶ 1 ha de bosque puede absorber 5.2 toneladas de CO₂ (IPCC)

Tabla 3.
Resultados del Cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad individual y al consumo de energía en vivienda.

<i>Emisiones de CO₂ asociadas a consumos residenciales</i>	<i>(Tn CO₂/hab)</i>
gas	0.036
electricidad	0.218
Otras fuentes	0.020
Total emisiones vivienda	0.274
<i>Emisiones de CO₂ asociadas a la movilidad individual</i>	
Movilidad obligada (trabajo y estudios)	0.218
Movilidad vacaciones	0.020
Movilidad fin de semana	0.020
Total emisiones movilidad	0.258
Total emisiones (movilidad y vivienda)	0.532

Fuente: Elaboración Propia

5.3. El modelo de regresión multivariante con datos individuales y control de la endogeneidad

Se han estimado cuatro modelos cuyos resultados se muestran en la Tabla 4. En la primera columna aparecen los resultados correspondientes al modelo estimado utilizando como variable dependiente las emisiones de CO₂ de la movilidad obligada; en la segunda, las emisiones de CO₂ de la movilidad por ocio (fin de semana y vacaciones); en la tercera, las emisiones totales de la movilidad (suma de las dos anteriores); en la cuarta, las emisiones de los consumos energéticos de la vivienda; y en la quinta, las emisiones totales en movilidad y vivienda. La estimación se lleva a cabo tomando como variable dependiente las emisiones individuales en logaritmos, lo cual permite interpretar directamente como elasticidades los parámetros de las variables explicativas expresadas también en logaritmos¹⁷. Las variables explicativas comunes para los cinco modelos estimados son: el número de miembros de cada hogar, la renta per cápita, una *dummy* que toma valor uno en caso de ser un barrio denso (una densidad superior a la media 149 Has/hab)¹⁸, la distancia al CBD y la distancia al CBD al cuadrado. En las primeras pruebas se añadieron como variables explicativas el número de automóviles y la superficie de la vivienda, pero estaban demasiado correlacionadas con la renta per cápita, por lo que fueron finalmente descartadas. Por último, ninguna tipología familiar resultó significativa.

El impacto de la forma y estructura espacial sobre las emisiones de CO₂ per cápita. La densidad no resulta estadísticamente significativa. La pobre significatividad de la *dummy para el barrio denso* en el modelo más agregado (**Tabla 4**, columna 5) podría indicar la existencia de comportamientos compensatorios. Sin embargo, el parámetro correspondiente a dicha variable no presenta un signo positivo en el modelo donde la

¹⁷ Se llevaron a cabo estimaciones sin aplicar logaritmos y los resultados fueron muy semejantes en cuanto al signo y a la significatividad de los parámetros.

¹⁸ Los barrios que presentan una densidad superior a la media son: Cerro Verde Bajo, Cerro Centinela, Santa Sabina, Colón, Agüita la Perdiz, Pedro Valdivia Bajo, Candelaria y Lagunillas.

variable dependiente son las emisiones asociadas a la movilidad por ocio y vacaciones (**Tabla 4**, columna 2) por lo que tal hipótesis debe rechazarse. Por último, la distancia al CBD ejerce un efecto de signo positivo sobre la huella de la movilidad -tanto la obligada como la de ocio y vacaciones- por lo que tampoco se detectan comportamientos compensatorios asociados a un “exceso de centralidad”. Se identifica además un efecto cuadrático significativo, por lo que, aunque la huella crece con la distancia al CBD, la relación se revierte para las localizaciones más periféricas. El resultado más llamativo en cuanto al efecto de la forma y estructura urbana sobre las emisiones de CO₂ es que **no se ha hallado evidencia empírica favorable a la existencia de efectos medioambientalmente positivos en términos de emisiones de CO₂ asociados a una elevada densidad**, lo cual cuestionaría la efectividad de las políticas densificadoras alineadas con el *Enfoque de Ciudad Compacta*. Sin embargo, si se ha obtenido una asociación positiva entre distancia al CBD y emisiones de CO₂, lo cual podría legitimar políticas anti-sprawl que frenen el proceso descentralizador que se da en la ciudad.

Los parámetros estimados de las variables socio-económicas presentan el signo esperado. El número de habitantes por vivienda ejerce un impacto negativo, lo que confirma la existencia de economías de escala en el consumo de energía y también en la movilidad, especialmente la de ocio y vacaciones. Siendo el principal factor que explica la variabilidad observada, el nivel de ingresos ejerce un impacto de signo positivo (al aumentar la renta las emisiones crecen) y significativo en los cinco modelos. Los controles de autoselección presentan por lo general el signo esperado, aunque no resultan estadísticamente significativos. Comparando el impacto de la densidad y de la distancia al centro con el resto de variables socioeconómicas parece evidente que, en el caso de Concepción, **el factor que en mayor medida explica el volumen individual de emisiones es la renta per cápita**.

Tabla 4.
Estimaciones modelos econométricos estimados mediante M.C.O.

	1. Movilidad Obligada (Ln Huella pc)	2. Movilidad Ocio (Ln Huella pc)	3. Movilidad Total (Ln Huella pc)	4. Vivienda (Ln Huella pc)	5. Total vivienda y movilidad (Ln Huella pc)
Habitantes por vivienda	-0.075** (1.8)	-0.32**** (8.5)	-0.08** (1.9)	-0.46**** (23.7)	-0.15**** (6.9)
Ln renta familiar	0.33**** (4.5)	0.49**** (7.2)	0.48**** (7.2)	0.176**** (6.6)	0.29**** (8.8)
Densidad alta (=1)	-0.142 (1.1)	-0.015 (0.1)	0.06 (0.5)	-0.02 (0.5)	-0.03 (0.5)
Ln dist CBD	1.26**** (4.0)	0.66*** (2.2)	0.97**** (3.6)	0.002 (0.01)	0.207* (1.5)
Ln dist CBD²	-0.22*** (2.6)	-0.19*** (2.34)	-0.17*** (2.2)	-0.02 (0.7)	-0.04 (1.0)
Controles autoselección	si	si	si	si	si
Constante	-2.7**** (2.9)	-4.09**** (4.0)	-4.5**** (5.0)	4.5**** (11.8)	0.63* (1.5)
R² ajustado	0.19	0.31	0.26	0.65	0.35
Nº Observaciones	475	475	475	475	475

(Estadístico “t” en paréntesis)

* $p < 0.15$; ** $p < 0.1$; *** $p < 0.05$; **** $p < 0.01$

Fuente: Elaboración propia

Resumen y conclusiones

La investigación llevada a cabo tiene por objeto estimar las emisiones de CO₂ per cápita en Concepción asociadas a la movilidad y al consumo de energía en usos residenciales. Los principales resultados obtenidos pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- a) El nivel de emisiones es bajo en comparación con los reportados en otros trabajos. Esto parece indicar que el carácter poco denso y descentralizado de Concepción no ha impedido la existencia de un modelo energético de baja huella. No entraba en nuestros planes explorar el porqué de un volumen de emisiones tan reducido, por lo que tan solo podemos especular que podría deberse al bajo número de viajes per cápita, a una renta per cápita comparativamente baja y al uso de fuentes de energía de bajo impacto en los tejidos residenciales poco densos.
- b) El volumen de emisiones asociado a la vivienda y a la movilidad es muy similar, al igual que sucede en Norman et al (2006), Van de Weghe y Kennedy (2007); Andrews (2008), y Brown et al (2008). Un reparto tan parejo señala la necesidad de abordar el estudio de las emisiones de CO₂ impacto global de un asentamiento contemplando ambos sectores de forma conectada.

- c) Las variables socioeconómicas y geográficas explican mejor la variabilidad observada en el volumen individual de emisiones que las variables de forma y estructura urbana. El factor que por sí solo es capaz de explicar en mayor medida la variabilidad en el volumen de misiones es el nivel familiar de ingresos.
- d) Uno de los resultados más relevantes es que la densidad no parece ejercer impacto alguno sobre el volumen de emisiones, lo cual Esto entra en claro conflicto con los resultados obtenidos en numerosos estudios (Ma et al. 2014; Kennedy et al, 2009; Norman et al. 2008; Croci et al. 2013; Muñoz y Galindo, 2005) donde la variabilidad de la densidad por si sola es capaz de explicar gran parte de la variabilidad observada en el volumen de emisiones.
- e) El impacto no significativo de la densidad no se debe a la existencia de comportamientos compensatorios
- f) En lo referente a la variables distancia al CBD y distancia al CBD al cuadrado, la huella aumenta con la distancia al centro (signo positivo variable dist CBD) pero para las localizaciones más periféricas dicha asociación se invierte al ser espacios más autocontenidos (signo negativo variable $(\text{dist CBD})^2$). Se trata de un resultado similar al obtenido en Muñoz et al (2013). Estos resultados podrían validar una planificación territorial que frene el proceso descentralizador que experimenta la ciudad y a la vez conserve el estilo de vida de baja huella presente en las localizaciones más alejadas del centro principal.
- g) Tomadas en conjunto las variables de forma y estructura urbana, los resultados señalan que es la localización, no la densidad de un asentamiento, lo que determina su volumen de emisiones.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, W. (1964). Location and land use. Toward a general theory of land rent.
- Anas, A., Arnott, R., & Small, K. A. (1998). Urban spatial structure. *Journal of economic literature*, 1426-1464
- Andrews, C. J. (2008). Greenhouse gas emissions along the rural-urban gradient. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(6), 847-870.
- Baum-Snow, N., Brandt, L., Henderson, J. V., Turner, M. A., & Zhang, Q. (2012). Roads, railroads and decentralization of Chinese cities. Working paper.
- Bertaud, A., Lefèvre, B., & Yuen, B. (2009, June). GHG emissions. Urban mobility and efficiency of urban morphology: a hypothesis. In *Marseille Symposium Report 5th Urban research symposium on cities and climate change: responding to an urgent agenda*. Marseille, France (pp. 28-30).
- Bettini, V. (1998). *Elementos de ecología urbana*. M. P. Lorca (Ed.). Trotta.
- Brown, M. A., Southworth, F., & Sarzynski, A. (2008). *Shrinking the carbon footprint of metropolitan America*. Washington, DC: Brookings Institution.
- Bürer, Mary Jean, David B. Goldstein and John Holtzclaw (2004). "Location Efficiency as the Missing Piece of The Energy Puzzle: How Smart Growth Can Unlock Trillion Dollar Consumer Cost Savings.", *Proceedings of the 2004 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, American Council for an Energy Efficient Economy (www.aceee.org)
- Commission of European Communities (1990). *Green Paper on the Urban Environment*. Eur 12902, Brussels: EEC
- Croci, E., Melandri, T.S., Molteni, T., Zadorozhna, O. (2013) *Determinants of GHG emissions from urban ground transportation: review of simple of European cities*" IEFCE Center for research on Energy and Environmental Economics and Policy. Bocconi University, Milan (Italia)
- Chambers, N., Simmons, C., & Wackernagel, M. (2000). *Sharing nature's interest: ecological footprints as an indicator of sustainability*. Routledge.
- Dujardin, C., Selod, H., & Thomas, I. (2008). Residential Segregation and Unemployment: the case of Brussels. *Urban Studies* 45(1) , 89-113.
- Dhakal, S. (2008) "Climate Change and cities: The making of a climate friendly future" in P. Droege (ed) *Urban Energy Transportation: From Fossil Fuels to renewable Power*, Elsevier Science, Oxford, pp. 173-192.
- Dodman, D. (2009) "Blaming cities for Climate Change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories" *Environment and Urbanization* 21 (1) 185-201
- Dong, F. (2006). *Impact of Urban Sprawl on US Residential Energy Use*. Ph.D. Dissertation, School of Public Policy, University of Maryland.
- Duranton, G., & Turner, M. (2012). Urban growth and transportation. *Review of Economic Studies* 179 , 1407-1440.
- Eaton, R. L., Hammond, G. P., & Laurie, J. (2007). Footprints on the landscape: An environmental appraisal of urban and rural living in the developed world. *Landscape and Urban Planning*, 83(1), 13-28.
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style sprawl desirable?. *Journal of the American planning association*, 63(1), 107-126.
- Ewing, R., & Rong, F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing Policy Debate*, 19(1), 1-30.

Ewing, R., & Cervero, R. (2001). Travel and the built environment: a synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1780(1), 87-114

Ewing, R. and Anderson, G. (2008) *Growing cooler: the evidence on urban development and climate change*. Washington, DC: ULI, 2008.

Girardet, H. (1999). *Creating sustainable cities* (No. 2). Chelsea Green Publishing.

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67(3), 404-418.

Greene, W. (2003). *Econometric analysis*. New Jersey: Pearson Education Inc.

Gysling, i., & Hoffman, A. (2010). *Desarrollo Histórico Urbano de los centros poblados del Área Metropolitana de Concepción desde sus orígenes a 1990*. Hidalgo, r. & Pérez, L. (2010). "Concepción Metropolitano: Evolución y Desafíos". Editorial Universidad de Concepción, Serie GEOlibros, (14), 25-44.

Haberl, H. (2001). The energetic metabolism of societies part I: Accounting concepts. *Journal of industrial ecology*, 5(1), 11-33.

Hamilton, B., & Nickerson, J. (2003). Correcting for endogeneity in strategic management research. *Strategic Organization* 1(1) , 51-78.

Høyer, K. G., & Holden, E. (2003). Household consumption and ecological footprints in Norway—does urban form matter?. *Journal of Consumer Policy*, 26(3), 327-349.

Holden, E. (2007) *Achieving sustainable mobility: Every day and leisure-time travel in the UE*. Aldershot, Ashgate.

Holden, E., & Linnerud, K. (2011). Troublesome leisure travel: The contradictions of three sustainable transport policies. *Urban Studies*, 48 (14) 3087-3106

Holden, E. & Norland, I.T. (2005) Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: Household consumption of energy and transport in eight residential areas in the Greater Oslo region. *Urban Studies* Vol. 42, 12, pp. 2145-2166.

Holtzclaw, J. (1994). *Using residential patterns and transit to decrease auto dependence and costs* (Vol. 11). San Francisco, CA: Natural Resources Defense Council.

Holtzclaw, J., Clear, R., Dittmar, H., Goldstein, D., & Haas, P. (2002). Location efficiency: Neighborhood and socio-economic characteristics determine auto ownership and use—studies in Chicago, Los Angeles and San Francisco. *Transportation Planning and Technology*, 25(1), 1-27.

Jabareen, Y.R. (2006) Sustainable urban forms. Their typologies, models and concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 26, pp. 38-52

Kennedy, C., J. Steinberger, B. Gasson, Y. Hansen, T. Hillman, M. Havránek, D. Pataki, A. Ramaswami and G. Villalba Mendez (2009) "Greenhouse gas emissions and global cities" *Environmental Science and Technology* 43 (19): 7297-7302

Knapp, G, Song, Y, Ewing, R, Clifton, K. (2005). *Seeing the Elephant: Multi-disciplinary Measures of Urban Sprawl*. National Center for Smart Growth Research and Education, Urban Studies and Planning Program, University of Maryland.

Leck, E. (2006). The impact of urban form on travel behavior: a meta-analysis. *Berkeley Planning Journal*, 19(1).

Litman, T. (2010). *Evaluating public transit benefits and costs: Best Practices Guidebook*.

Ma, J., Heppenstall, A., Harland, K., & Mitchell, G. (2014). Synthesising carbon emission for megacities: A static spatial microsimulation of transport CO₂ from urban travel in Beijing. *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, 78-88.

Markham, V. (2009) U.S. Population, Energy and Climate Change, Center for Environment and Population, New Cannan, Connecticut.
www.cepnet.org/documents/USPopulationenergyandClimateChangeReportCEP.pdf.

Mollay, U. (2010) Energy aware spatial planning. Impact potential of settlement structures and opportunities for assessment tools to support sustainable municipal development” master Thesis T.V. Wien

Morris, D. (Ed.) (1982). *Self-reliant Cities: Energy and the Transformation of Urban America*, Sierra Club Books, San Francisco.

Muñiz, I., Calatayud, D. & Dobaño, R. (2013) “The compensation hypothesis in Barcelona measured through the ecological footprint of mobility and housing” *Landscape and Urban Planning*, 113, 113-119.

Muñiz, I. & Galindo, A. (2005) “Urban Form and the Ecological Footprint of Commuting. The Case of Barcelona” *Ecological Economics* 55, pp. 499-514

Næss, P. (2006). Are short daily trips compensated by higher leisure mobility?. *Environment and Planning B; Planning and Design*, 33, 197-220.

Newman, P. and J. Kenworthy (1989) “gasoline consumption and cities: A comparison of US cities with a global survey” *Journal of the American Planning Association*, 55(1) 24-37.

Newman, P.W.G. y Kenworthy, J.R. (1999) *Sustainability and Cities. Overcoming Automobile Dependence*. Washington, DC/Covelo, CA: Island Press

Norman, J., H.L. MacLean & Kennedy, C.A. (2006) “Comparing high and low residential density: Life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions” *Journal of Urban Planning and Development* 132 (1) 10-21.

O'Reagan, K., & Quigley, J. (1998). Where Youth Live: Economic Effects of Urban Space on Employment Prospects. *Urban Studies* 35 , 1187-1205

Orrskog, L. y Hammond, G.P. (1993). Planering foer uthaallighet-fraan kunskap till handling. R-Byggforskningsraadet (Sweden). no. 1993: 57.

Parshall, L., Gurney, K., Hammer, S. A., Mendoza, D., Zhou, Y., & Geethakumar, S. (2010). Modeling energy consumption and CO₂ emissions at the urban scale: Methodological challenges and insights from the United States. *Energy Policy*, 38(9), 4765-4782.

Pickett, S. T., Cadenasso, M. L., & McGrath, B. (Eds.). (2013). *Resilience in ecology and urban design: linking theory and practice for sustainable cities* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.

Pon, D., Pon, J. (2009) Evaluando el impacto climático del consumo: la huella de carbono. *Ecosostenible*, nº 50, pp. 4-15

Rees, W. and Wackernagel, M. 1996a. *Our Ecological Footprint*, The New Catalyst Bioregional Series, Canada.

Rojas, C., Muñiz, I., & García-López, M. Á. (2009). Estructura urbana y policentrismo en el Área Metropolitana de Concepción. *EURE* (Santiago), 35(105), 47-70.

Rojas, C., Muñiz, I. & Pino, J. (2009b) Cartography and Spatial Analysis of Urban Sprawl. *Proceedings of 24th International Cartographic Conference*, Santiago, Chile. 14 pág.

Rojas, C., Pino, J., Basnou, C., & Vivanco, M. (2013). Assessing land-use and-cover changes in relation to geographic factors and urban planning in the metropolitan area of Concepción (Chile). Implications for biodiversity conservation. *Applied Geography*, 39, 93-103.

Rojas, C., Pino, J., & Jaque, E. (2013). Strategic environmental assessment in Latin America: A methodological proposal for urban planning in the Metropolitan Area of Concepción (Chile). *Land Use Policy*, 30(1), 519-527.

Romero Lankao, P., H. López Villafranco, A. Rosas Huerta, G. Gunther & Correa Armenta, Z. (Eds) (2005) *Can Cities Reduce Global Warming? Urban Development and Carbon Cycle in latin America*, IAI, UAM-Xochimilco, IHDP, GCP.

Romero Lankao, P. (2007) Are we missing the point? Particularities of urbanization, sustainability and carbon emissions in Latin American cities *Environment and Urbanization* Vol 19 (1) 1-17

Ryu (2005), H.C. "Modeling the per capita ecological footprint for Dallas County, Texas: examining demographic, environmental value, land-use and spatial influences". Tesis doctoral. Texas A&M University

Salinas, E. *Procesos urbanos recientes en el Área Metropolitana de Concepción*. Pérez, L., & Hidalgo, R. (Ed) *Concepción metropolitano. Evolución y desafíos*. Santiago, Chile, Editorial Universidad de Concepción. 2010.

Satterthwaite, D. (2008) Cities contribution to Global Warming: Notes on the allocation of greenhouse emissions *Environment and Urbanization*, 20 (2) 539-549

Serpell, A., Kort, J. & Vera, S. (2013). Awareness, actions, drivers and barriers of sustainable construction in Chile *Technological and Economic Development of Economy*, 19, (2), 272-288

Stokenberga, A. (2012). Explaining and projecting the carbon footprint of mexico's urban transport. transport research board 91st annual meeting. washington d.c

Strandell, A., & Hall, C. M. (2015). Impact of the residential environment on second home use in Finland—Testing the compensation hypothesis. *Landscape and Urban Planning*, 133, 12-23.

United Nations (2012). *Global Report on Human Settlements 2011. Cities and Climate Change*.

VandeWeghe, J. R., & Kennedy, C. (2007). A spatial analysis of residential greenhouse gas emissions in the Toronto census metropolitan area. *Journal of industrial ecology*, 11(2), 133-144.

Veneri, P. (2010). Urban polycentricity and the costs of commuting: evidence from italian metropolitan areas. *Growth and Change*, 41(3), 403-429.

Walraven, A. (2009). *The Impact of Cities in Terms of Climate Change*. United Nations Environment Programme.

Wiedman, T & Minx, J. (2007) "A definition of "carbon footprint"" ISAUK Research report 07-01. Junio 2007.

Anexo 1
Población y densidad de población en 19 barrios del AMC

	Población total	Densidad promedio de la manzana (hab/ha)	Densidad promedio de la manzana (hab/km2)	Densidad del barrio (hab/ha)
Aguita de la Perdiz	2189	1241,41	11285,53	149,93
Pedro de Valdivia Alto	3538	56,59	5659,24	55,95
Pedro de Valdivia Bajo	6734	234,64	23464,14	154,54
Barrio Universitario	1432	107,56	10755,73	96,40
Leonera	2771	286,72	28671,58	195,17
Candelaria	5568	195,82	19582,44	191,63
Villa El Aromo	754	22,53	2253,14	71,80
Cerro Verde Bajo	1653	216,73	21672,63	263,05
Los Tilos	965	143,25	14324,58	71,61
Cerro Alegre	910	100,04	10003,84	148,96
Cerro Centinela	4943	460,60	46059,51	426,26
Brisas del Sol	3243	82,35	22374,62	121,03
La Floresta	2080	139,24	13924,11	121,38
Colón	2404	190,35	19034,68	152,68
Lagunillas	8128	353,35	35335,09	200,09
Lonco	2904	72,98	7297,90	75,83
Lomas San Andrés	2356	138,15	13815,48	123,19
Santa Sabina	3737	220,12	22012,25	171,02
Andalué	1607	35,71	3570,51	15,75

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Censo de 2009

Anexo 2
Factores de conversión para la movilidad

gCO₂/pasajero-km	Stokenberga (2011)¹⁹	Muñiz y Galindo (2003)²⁰	Bertaud et al (2009)²¹
Automóvil	162	135	230
Autobús	27	32	33
Metro	20	32	103
Minibús	58	57	36
Taxi	180	135	230
Motocicleta	68	67	108
Metro and Autobús	24	32	68
Autobús y Minibús	43	45	35
Metro and Minibús	39	45	70
Taxi y otro	108	88	144

Anexo 3
Factores de conversión uso energía vivienda

Equivalencia Tn CO₂/ha	5,2
Electricidad (gCO₂/Kwh)	248
gas (Tn CO₂/Tj)	51,3
Carbón (Tn CO₂/Tj)	94,5
Parafina (Tn CO₂/Tj)	73,3
Leña (Tn CO₂/Tj)	0
hasX1000 pasajeros/km automovil	0,08
hasX1000 pasajeros/km bus	0,03
hasX1000 pasajeros/km avión	0,0,9

Fuente: Elaboración propia a partir de Muñiz y Galindo (2005) y Chambers et al (2000)

¹⁹ Los factores de (Stokenberga, 2012) se basaron en los valores de la EOD 2007 de la ZMVM y una eficiencia energética de la gasolina de 6.7 km/l para automotores ligeros

²⁰ Los factores de (Muñiz & Galindo, 2005) están hechos con base en los estándares para España de Estevan y Sanz.

²¹ Bertaud, Lefevre, & Yuen (2009) consideran los parámetros de eficiencia del sistema de transporte de Londres y tienen como base los cálculos de (McKinsey and Company, 2008).

Últims documents de treball publicats

NUM	TÍTOL	AUTOR	DATA
16.04	¿CONLLEVA LA DESCENTRALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y DEL EMPLEO UN MODELO DE MOVILIDAD MÁS EFICIENTE?	Ivan Muñiz, Vania Sánchez Trujillo	Abril 2016
16.03	Television and voting in Catalonia	Iván Mauricio Durán	Gener 2016
16.02	Economía de la Europeriferia	Ferran Brunet	Gener 2016
16.01	NOx emissions and productive structure in Spain: an input-output perspective	Vicent Alcántara, Emilio Padilla, Matías Piaggio	Gener 2016
15.08	Student preconceptions and learning economic reasoning	Isabel Busom, Cristina López-Mayán	Desembre 2015
15.07	Seven Reasons to Use Carbon Pricing in Climate Policy	Andrea Baranzini, Jeroen van den Bergh, Stefano Carattini, Richard Howarth, Emilio Padilla, Jordi Roca	Novembre 2015
15.06	The long-run relationship between CO2 emissions and economic activity in a small open economy: Uruguay 1882 - 2010	Matías Piaggio, Emilio Padilla, Carolina Román	Setembre 2015
15.05	Low-Skill Offshoring and Welfare Compensation Policies	Pablo Agnese, Jana Hromcová	Juny 2015
15.04	Economic growth and productive structure in an input/output model: An alternative coefficient sensitivity analysis (english version of working paper 11.08)	Vicent Alcántara	Juny 2015
15.03	Dynamics of firm participation in R&D tax credit and subsidy programs	Isabel Busom, Beatriz Corchuelo, Ester Martínez-Ros	Març 2015
15.02	Teaching styles and achievement: Student and teacher perspectives	Ana Hidalgo-Cabrillana, Cristina Lopez-Mayan	Febrer 2015
15.01	The Long-Term Impact of Inequality on Entrepreneurship and Job Creation	Roxana Gutiérrez Romero, Luciana Méndez Errico	Gener 2015
14.07	The good, the bad and the ugly: The socio-economic impact of drug cartels and their violence in Mexico	Roxana Gutiérrez Romero, Mónica Oviedo León	Octubre 2014
14.06	Estimating the impact of Mexican drug cartels on crime	Roxana Gutiérrez Romero, Alessandra Conte	Setembre 2014
14.05	Real unit labour costs in Eurozone countries: Drivers and clusters	Javier Ordóñez, Hector Sala, José I. Silva	Juny 2014