



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y MATERIALES

METABOLISMO URBANO: ESTADO DEL ARTE, METODOLOGÍAS Y
CUANTIFICACIÓN DEL METABOLISMO URBANO DEL CARBONO PARA
SANTIAGO, CHILE.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN QUÍMICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

MATIAS CARRERE SEGUEL

PROFESOR GUÍA:

FELIPE DÍAZ ALVARADO

PROFESORA CO-GUÍA

MARIANA BRÜNING GONZÁLEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

JOSÉ CRISTIAN SALGADO HERRERA

MARIA ELENA LIENQUEO CONTRERAS

SANTIAGO DE CHILE

2022

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE:
Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mención Química.
Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Químico.
POR: Matías Carrere Seguel.
FECHA: 2022.
PROFESOR GUÍA: Felipe Díaz Alvarado.

METABOLISMO URBANO: ESTADO DEL ARTE, METODOLOGÍAS Y CUANTIFICACIÓN DEL METABOLISMO URBANO DEL CARBONO PARA SANTIAGO, CHILE.

Dos de los principales causantes del cambio climático corresponden a compuestos que contienen carbono en su estructura, el CO₂ y CH₄. Importantes flujos de estas especies son emitidos desde las ciudades como resultado de su funcionamiento, colaborando con la desestabilización del sistema climático y dañando a los servicios ecosistémicos que brindan los recursos para las urbanizaciones. Debido a lo anterior, se vuelve necesario estudiar el uso de recursos en las ciudades para establecer formas más sostenibles de consumo y generar menores impactos ambientales.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el metabolismo urbano de la ciudad de Santiago de Chile para distintos periodos anuales con el fin de determinar la intensidad de distintos flujos de entrada y salida que circulan a través de la ciudad. Se evalúan flujos de energía eléctrica, combustibles líquidos, gaseosos, alimentos y sus respectivas salidas: emisiones gaseosas, residuos domiciliarios sólidos y líquidos. Para cada uno de los flujos mencionados se calculan indicadores de eficiencia, tendencias temporales y el carbono contenido en cada uno de ellos.

Se obtiene que la actividad más intensiva en términos de carbono es el transporte, aportando cerca de un 46% de los flujos totales de la ciudad. Por otra parte, la mayoría de los flujos presentan tendencias temporales al aumento, reflejando el incremento sostenido en la demanda de recursos. Sin embargo, al determinar los indicadores per cápita, resultan tendencias a la disminución en todos los flujos cuantificados excepto para los combustibles líquidos y gaseosos. Con estos resultados se compara el metabolismo de Santiago con otras ciudades del mundo, posicionándose en un nivel medio en términos de uso de energía, consumo de alimentos y generación de residuos domiciliarios.

Se concluyen tres variables relevantes sobre el metabolismo urbano: las fuentes de producción de energía, la densidad poblacional y la eficiencia en el consumo de alimentos. Considerando esto, se elaboraron 4 escenarios que buscan mejorar el estado metabólico disminuyendo los flujos de carbono. El escenario que mejor resultados entrega propone la electrificación del transporte con la matriz eléctrica proyectada al 2050, generando una disminución de los flujos en un 49%. Este mismo escenario, pero con la matriz eléctrica actual, resulta en un aumento de los flujos de carbono ya que la composición del servicio eléctrico nacional aún posee una alta participación de combustibles fósiles. Se evalúan otras alternativas relacionadas a la densificación poblacional de la ciudad (mejora del 34%) y eficientización de la alimentación (mejora del 6%).

Las principales discusiones del trabajo se centran en limitaciones técnicas al no existir una metodología estandarizada y la baja resolución de información para la construcción de flujos e indicadores. A pesar de lo anterior, se logran cumplir todos los objetivos planteados al evaluar el metabolismo urbano del carbono, permitiendo analizar el uso de recursos en la ciudad.

Como proyección principal se tiene la incorporación de más capas energéticas y materiales al estudio con el fin de hacerlo más completo. Por otro lado, también se propone incluir dentro de la cuantificación los flujos secundarios asociados al ciclo de vida de cada una de las capas para tener un mayor nivel de detalle en la cuantificación de flujos.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes y motivación.....	1
1.1.1 Cambio climático.....	1
1.1.2 Megaciudades	4
1.1.3 Desarrollo sostenible.....	6
1.1.4 Discusiones parciales.....	7
1.2 Objetivos:	8
1.2.1 Objetivo General	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
2 Metabolismo urbano: estado del arte	9
2.1 Definición y conceptos:.....	9
2.2 Metodologías o enfoques del metabolismo urbano.....	11
2.2.1 Análisis de flujos materiales o MFA	11
2.2.2 Análisis Input-Output	15
2.3 Trabajos sobre metabolismo urbano.....	17
2.4 Estructuración de una metodología propia:	25
3 Caso de estudio: Santiago de Chile.	27
3.1 Definición de objetivos del estudio, límites espaciales, límites temporales y alcances generales.....	27
3.2 Caracterización del caso de estudio.....	28
3.3 Descripción de aspectos urbanos relevantes.....	28
3.3.1 Organización y parámetros sociales.....	28
3.3.2 Clima.....	29
3.3.3 Actividades industriales principales, comercio y economía.....	30
3.3.4 Transporte	31
3.3.5 Fuentes de energía.....	31
3.3.6 Alimentación	33
3.3.7 Residuos sólidos y su gestión.	33
3.3.8 Agua y su gestión.....	34
3.3.9 Conclusiones parciales	35
3.4 Caracterización del metabolismo urbano.	36

3.4.1	Capa 1: Energía (Electricidad, combustibles líquidos y combustibles gaseosos).....	37
3.4.2	Capa 2: Biomasa (Alimentos).	39
3.5	Elección de sustancia básica elemental	39
4	Cuantificación de flujos materiales y energéticos.....	40
4.1	Resultados capa 1: Energía.....	40
4.1.1	Electricidad: Flujos de entrada	40
4.1.2	Electricidad: Flujos de salida.	44
4.1.3	Electricidad: Flujos de carbono asociados.	46
4.1.4	Combustibles gaseosos: Flujos de entrada.	47
4.1.5	Combustibles gaseosos: Flujos de salida.....	49
4.1.6	Combustibles gaseosos: Flujos de carbono asociados.....	50
4.1.7	Combustibles líquidos: Flujos de entrada.	51
4.1.8	Combustibles líquidos: Flujos de salida.....	52
4.1.9	Combustibles líquidos: Flujos de carbono asociados.....	54
4.1.10	Resumen capa energía.	54
4.2	Resultados capa 2: Alimentos	58
4.2.1	Alimentos: Flujos de entrada	59
4.2.2	Alimentos: Flujos de salida.....	61
4.2.3	Alimentos: Flujos de carbono asociados.....	63
4.2.4	Resumen capa Alimentos.....	66
4.3	Resumen cuantificación	67
5	Indicadores y proyecciones del metabolismo urbano	68
5.1	Tendencia de intensidad	68
5.2	Intensidad per cápita.....	69
5.3	Tendencia per cápita.....	69
5.4	Energía per cápita como función de parámetros demográficos.....	70
5.5	Superficie de vegetación urbana.....	75
5.6	Comparaciones de metabolismos	76
6	Propuestas para mejorar el metabolismo del carbono de Santiago	80
6.1	Escenario 1: Electrificación del transporte.....	80
6.2	Escenario 2: Electrificación del transporte + descarbonización de matriz energética.	81
6.3	Escenario 3: Densificación de la ciudad	82

6.4	Escenario 4: Servitización de alimentación	85
6.5	Comparación de escenarios	86
7	Discusiones generales	89
8	Conclusiones generales	91
9	Bibliografía	93
ANEXOS		100
	Anexo A) Concentración atmosférica del CO ₂ global en el tiempo:	100
	Anexo B) Ciclo del Carbono	100
	Anexo C) Detalle del análisis de flujos materiales, modelo simple propuesto Kennedy [32].....	101
	Anexo D) Objetivos de Desarrollo sostenible planteados por la ONU:	106
	Anexo E) Comunas y provincias de la Región Metropolitana	107
	Anexo F) Población total de Chile por región censo 2017 y su porcentaje urbano-rural.....	108
	Anexo G) Población de la Región Metropolitana resumida, periodo 1970-2017 [48].....	109
	Anexo H) Población total por comuna según censo 2002, censo 2017, proyecciones y los respectivos valores ajustados.	110
	Anexo I) Evolución de la densidad poblacional para el periodo 2002-2020 según proyección INE.	116
	Anexo J) Áreas totales, Áreas verdes y coberturas arbóreas en el Gran Santiago.	118
	Anexo K) Variaciones de temperatura anuales en la Región Metropolitana para el periodo 2010-2019.....	120
	Anexo L): Precipitaciones totales anuales históricas en Santiago	123
	Anexo M) Lista de valores del PIB, emisiones totales de CO ₂ y emisiones per cápita chilenas para el periodo 1960-2018 [63][62].	124
	Anexo N) Lista de valores del PIB por región en el periodo 2013-2019 y su respectivo aporte porcentual al total nacional.	127
	Anexo O) Lista de las comunas del Gran Santiago y el relleno sanitario que los atiende.	128
	Anexo P) Lista de plantas de tratamiento de agua potable y plantas de aguas servidas en el Gran Santiago.....	133
	Anexo Q) Datos de consumo de energía final total y datos de demanda y consumo de energía eléctrica para Chile. Año 2019.....	135
	Anexo R) Resultados de los consumos de electricidad: Datos originales y proporciones de consumo por sector.	142
	Resultados de los consumos de gas: Ejemplos de cálculo de proporcionalidad y extrapolaciones de uso para los distintos sectores en el consumo de gas.	144
	Anexo S) Resultados de los consumos de combustibles líquidos: Ejemplos de cálculo de proporcionalidad y extrapolaciones de uso para los distintos sectores en el consumo de	

combustibles líquidos.....	165
Anexo T) <i>Resultados del consumo aparente de alimentos en la Región Metropolitana.</i>	169
Anexo U) Modificación del diagrama de flujo de la alimentación para el escenario 5.....	171

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla comparativa entre la metodología de Análisis de flujos materiales y la de Análisis input-output.....	16
Tabla 2 : Metabolismo de Hong Kong de 1971 y 1997. Extracto de Encyclopedia of geography [40]	17
Tabla 3: Metabolismo de Metro Vancouver en el 2006. Tomado de [41].....	18
Tabla 4: Metabolismo de Toronto, Canadá en 1987 y 1999. Elaboración propia con información de [43]	20
Tabla 5: Barrido bibliográfico resumen para distintos trabajos relacionados con el metabolismo urbano	23
Tabla 6: Tabla de distintas capas materiales y energéticas para el estudio del metabolismo urbano. Elaboración propia.	25
Tabla 7: Tabla de distintas capas materiales y energéticas para el estudio del metabolismo urbano. Elaboración propia. En celeste los flujos que han sido seleccionados para ser cuantificados.	37
Tabla 8: Factores de emisión de producción de energía eléctrica correspondientes al SIC para los años 2015 a 2017 y para el SEN para los años 2018 y 2019 [66].	45
Tabla 9: Flujos de Carbono aportados hacia la atmósfera u otro reservorio debido a la utilización de energía eléctrica en el Gran Santiago.	46
Tabla 10: Flujos de carbono aportados hacia la atmósfera debido a la utilización de energía eléctrica.....	46
Tabla 11: Flujos de carbono aportados a la atmósfera por uso de electricidad, por sector. Periodo 2015-2019	47
Tabla 12: Factores de emisión de distintas especies con carbono para la combustión de distintos combustibles gaseosos [81]. Dióxido de Carbono (CO ₂) presentado directamente como el total de carbono (C) contenido.....	49
Tabla 13: Emisiones de CH ₄ correspondientes al uso de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.....	50
Tabla 14: Emisiones de CO correspondientes al uso de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.	50
Tabla 15 :Emisiones de CO ₂ correspondientes al uso de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.....	50
Tabla 16: Flujos de Carbono aportados hacia la atmósfera u otro reservorio debido a la utilización de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.	51
Tabla 17: Factores de emisión de distintas especies con carbono para la combustión de distintos combustibles gaseosos [84]. Dióxido de Carbono (CO ₂) presentado directamente como el total de carbono (C) contenido.....	53
Tabla 18: Emisiones de CH ₄ correspondientes al uso de combustibles líquidos en el Gran Santiago.	

.....	53
Tabla 19: Emisiones de CO correspondientes al uso de combustibles líquidos en el Gran Santiago.	53
Tabla 20: Emisiones de CO2 correspondientes al uso de combustibles líquidos en el Gran Santiago.	54
Tabla 21: Flujos de Carbono aportados hacia la atmósfera u otro reservorio debido a la utilización de combustibles líquidos en el Gran Santiago.	54
Tabla 22: Flujos totales de uso de energía en el Gran Santiago, por sector. Periodo 2015-2019. ...	55
Tabla 23: Flujos totales de uso de energía en el Gran Santiago, por fuente de energía. Periodo 2015-2019	56
Tabla 24:Flujos de salida de carbono asociados a la utilización de energía en el Gran Santiago. Periodo 2015-2019.....	57
Tabla 25: Composición promedio de proteínas, grasas y carbohidratos de los alimentos [94].	64
Tabla 26: Carbono contenido en cada macromolécula característica de los alimentos [95][96][97][98].....	65
Tabla 27: Variación porcentual anual y promedio del total del periodo para los flujos del Gran Santiago. Años 2015-2019.	68
Tabla 28: Indicadores de intensidad per cápita del Gran Santiago para los años 2014 a 2019.....	69
Tabla 29: Variación porcentual anual y promedio del total del periodo para los flujos per cápita del Gran Santiago. Años 2015-2019.....	70
Tabla 30: Indicador de superficie de bosque urbano equivalente al consumo promedio del Gran Santiago de los últimos 5 años.....	75
Tabla 31:Evaluación del Escenario 3 para distintos porcentajes de aumento en la densidad poblacional y su disminución de consumo respectiva.....	83
Tabla 32: Variación del consumo de recursos energéticos en función del aumento constante de población. Ejemplificación.	84
Tabla 33 : Capa 1 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.	101
Tabla 34: Capa 2 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi- layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.	102
Tabla 35 : Capa 3 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.....	103
Tabla 36 : Capa 3 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.	104
Tabla 37:Comunas y provincias de la región metropolitana.....	107
Tabla 38: Población total regional y su porcentaje urbano-rural.	108
Tabla 39: Población de la región metropolitana durante periodo 1970-2017	109
Tabla 40: Población del Gran Santiago para los años 2002 y 2017 según los censos respectivos.	110

Tabla 41: Población proyectada por INE para periodo 2002-2035 con base año 2017. Mostrando solo valores para periodo 2002-2020.	111
Tabla 42: Factores de ajuste de población por comuna y por año para el periodo 2002-2017.	112
Tabla 43: Población ajustada para periodo 2002-2017.	114
Tabla 44: Ejemplo de cálculo para el factor de ajuste. Población censada 2002 y 2017 versus población proyectada 2002 y 2017.	115
Tabla 45: Densidad poblacional de las comunas del gran Santiago para el periodo 2002-2010.	116
Tabla 46: Densidad poblacional de las comunas del gran Santiago para el periodo 2011-2020.	117
Tabla 47: Área total, áreas verdes, áreas vegetacionales y cobertura arbórea para las comunas del Gran Santiago.	118
Tabla 48: Valores del PIB, emisiones totales y emisiones per cápita de Chile en el periodo 1960-2018 y su cambio porcentual	124
Tabla 49: Valores del PIB regional para todas las regiones del país en miles de millones CLP y su respectivo aporte porcentual al total anual respectivo. Periodo 2013-2019.	127
Tabla 50: Lista de las plantas de tratamiento de agua potable en el Gran Santiago y su respectivo operador.	133
Tabla 51: Plantas de tratamiento de aguas servidas en el Gran Santiago[29][78]	134
Tabla 52: Consumo final de energía en Chile por sector y tipo de combustible. Año 2019, Energía abierta.	135
Tabla 53: Generación y consumo de energía eléctrica en Chile por región para el año 2019.	136
Tabla 54: Consumo energético eléctrico no residencial (kWh) en las comunas del Gran Santiago [66].	142
Tabla 55: Consumo energético eléctrico residencial (kWh) en las comunas del Gran Santiago [66].	143
Tabla 56: Proporción de uso de energía eléctrica según sector comercial, público y residencial, industrial y transporte.	144
Tabla 57: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2008 [66].	144
Tabla 58: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2009 [66].	145
Tabla 59: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2010 [66].	146
Tabla 60: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2011 [66].	147
Tabla 61: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2012 [66].	148
Tabla 62: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2013 [66].	149
Tabla 63: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2014 [66].	150
Tabla 64: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2014 [66].	151
Tabla 65: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2015 [66].	152

Tabla 66: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2015 [66].	153
Tabla 67: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2016 [66].	154
Tabla 68: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2016 [66].	155
Tabla 69: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2017 [66].	156
Tabla 70: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2017 [66].	157
Tabla 71: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2018 [66].	158
Tabla 72: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2018 [66].	160
Tabla 73: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2019 [66].	161
Tabla 74: : Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2019 [66].	162
Tabla 75: Cálculo de proporciones de consumo de combustibles gaseosos regional sobre nacional.	163
Tabla 76: Consumo regional (RM) de combustibles líquidos por sector. Periodo 2014-2019 [66].	165
Tabla 77: Consumo nacional de combustibles líquidos por sector. Periodo 2008-2019 [66].	166
Tabla 78: Porcentaje de consumo de combustibles líquidos de la Región Metropolitana sobre el total nacional.	167
Tabla 79: Consumo total de alimentos en el Gran Santiago, por alimentos. Periodo 2004-2019..	169

Índice de figuras

Figura 1-1: Orígenes de los forzamientos radiativos del cambio climático. Periodo 1750-2011 [9] GEIHM: Gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados.	2
<i>Figura 1-2: Riesgos clave América del sur reportados por el IPCC en su informe de síntesis del cambio climático, 2014 [12].</i>	3
Figura 1-3: Consumo energético per cápita en función de la densidad poblacional para distintas ciudades del mundo, tomado de [3]......	5
Figura 2-1 Esquema de Zhang para distintos niveles y tipos de metodologías para abordar el metabolismo urbano [27].	10
Figura 2-2: Metodología nivel 2. Diagrama de flujos de entrada y salidas para el metabolismo urbano. Extracto de [30]	10
Figura 2-3: Metodología nivel 3. Diagrama de arcos y nodos para estudiar el metabolismo energético de Beijing. Tomado de [28]	11
Figura 2-4: Esquema general de un MFA propuesto por la Eurostat [34].	13
Figura 2-5: Modelo del metabolismo antropogénico de Brunner y Helmut [35].	14
Figura 2-6: Balance físico de intercambio considerando flujos directos e indirectos. MFA para Chile 1973-2000	20
Figura 2-7: Metabolismo de Trinity-Bellwoods, Crescent town, Don Valley Village y Milliken en Toronto, Canadá. Año 2000.	21
Figura 2-8 Huellas de carbono totales y per cápita para distintas ciudades del mundo. Área de cada círculo proporcional a la huella per cápita.....	22
Figura 2-9: Porcentaje de huella de carbono mundial según porcentaje total de la población	23
Figura 3-1: Aporte porcentual al PIB regional por sector económico. Elaboración propia con datos del banco central [62].	30
Figura 3-2: Composición porcentual de la matriz energética primaria de Chile [85].	32
Figura 3-3: Generación bruta del SEN por tipo de fuente de generación. Total acumulada al mes de julio 2021 [85].	32
Figura 3-4: Red de agua de una ciudad. Ajustado desde [29].....	35
Figura 3-5: Diagrama de capas materiales y energéticas que componen el metabolismo de la ciudad. Elaboración propia.....	36
Figura 3-6 : Diagrama de ruta de la energía eléctrica en la zona urbana del Gran Santiago. Los números en el diagrama indican los puntos de cuantificación de información.	38
Figura 3-7: Diagrama de ruta de la energía desde derivados de petróleo en la zona urbana del Gran Santiago. Los números en el diagrama indican los puntos de cuantificación de información.	38
Figura 3-8: Diagrama de ruta de los alimentos en la zona urbana del Gran Santiago. Los números en el diagrama indican los puntos de cuantificación de información.....	39
Figura 4-1: Consumo eléctrico promedio en las comunas del Gran Santiago para el periodo 2015-2019. Comunas ordenadas según consumo energético residencial.....	41

Figura 4-2: Evolución del consumo eléctrico residencial del Gran Santiago. Periodo 2015-2019....	42
Figura 4-3 :Evolución del consumo eléctrico no residencial del Gran Santiago. Periodo 2015-2019.	43
Figura 4-4: Evolución del consumo eléctrico total para el Gran Santiago. Periodo 2015-2019.	44
Figura 4-5: Emisiones de CO2-eq producto del consumo de energía eléctrica en el Gran Santiago, periodo 2015-2019.....	45
Figura 4-6: Consumo de gas en el Gran Santiago por sectores (transporte, comercial, público, residencial e industrial) durante el periodo 2008-2019.....	48
Figura 4-7: Consumo de combustibles líquidos en el Gran Santiago por sectores (transporte, industrial y comercial, público y residencial) durante el periodo 2008-2019.....	52
Figura 4-8: Flujos totales de consumo de energía (eléctrica y de combustibles líquidos y gaseosos) para el periodo 2015-2019.....	55
Figura 4-9: Flujos totales de consumo de para el periodo 2015-2019 según la fuente de energía..	56
Figura 4-10: Flujos de carbono totales aportados a la atmósfera por la capa energética. Periodo 2014-2019.	57
Figura 4-11: Diagrama de bloques representativo para la capa de alimentos.	58
Figura 4-12: Consumo total de alimentos en el Gran Santiago en [kt] para el periodo 2004-2019.	59
Figura 4-13: Porcentaje de consumo de alimentos según tipo de alimentos para el periodo 2004-2019.....	60
Figura 4-14:Comparación de consumo de alimentos de origen animal versus vegetal durante el periodo 2004-2019.....	61
Figura 4-15: Flujo de salida de la capa de alimentación como residuos orgánicos o de alimentos y generación total de residuos en el Gran Santiago para el periodo 2014-2019.	62
Figura 4-16: Cantidad de lodos residuales (sin humedad) generados en el Gran Santiago para el periodo 2014-2019.....	63
Figura 4-17: Flujos de carbono asociados a la capa de alimentación. Periodo 2004-2019.	65
Figura 4-18: Resumen de flujos de entrada y salida de la capa de alimentación	66
Figura 4-19:Diagrama de Sankey para las entradas y salidas de los flujos de carbono en el Gran Santiago, año 2019.....	67
Figura 5-1: Mega ciudades y su consumo total de energía en función de su población[99].....	71
Figura 5-2: Megaciudades y su consumo total de energía en función de su superficie urbana[99].	72
Figura 5-3: Consumo de energía per cápita versus densidad poblacional del Gran Santiago y otras megaciudades del mundo. Adaptado de [3], Santiago: elaboración propia.....	73
Figura 5-4: Consumo de energía eléctrica per cápita de cada comuna en función de su densidad poblacional respectiva.	74
Figura 5-5: Grafico comparativo: Consumo de energía per cápita en distintas ciudades del mundo.	77

Figura 5-6: Gráfico comparativo: Consumo de alimentos per cápita en distintas ciudades del mundo.	78
Figura 5-7: Gráfico comparativo: Generación de residuos sólidos urbanos en distintas ciudades del mundo.	78
Figura 6-1: Escenario 1: Variación de flujos de carbono totales de la ciudad por electrificación del transporte.	80
Figura 6-2: Variación de los flujos totales de carbono de la ciudad para el escenario 2: Electrificación del transporte con factor de emisión de red eléctrica proyectado al 2025 y 2050. .	82
Figura 6-3: Variación de los flujos de carbono emitidos a la atmósfera por consumo de energía bajo los distintos escenarios de densificación de la ciudad.	84
Figura 6-4: Resultados escenario 4. Eficientización de la alimentación a través de la eliminación de residuos de alimentos.	86
Figura 6-5: Comparación de escenarios de mejora de metabolismo urbano en términos de utilización de flujos de carbono. Porcentajes representan las disminuciones o aumento de los flujos en comparación con el caso base.	87
Figura 10-1: Concentración del CO ₂ atmosférico en el tiempo [7]	100
Figura 10-2: Esquema simplificado del ciclo del carbono global. Números y flechas negras indican stocks y flujos previos a la época industrial. Números y flechas rojas representan stocks y flujos antropogénicos promedio para el periodo 2000-2009 [10].	101
Figura 10-3: Temperaturas máximas, promedio y mínimas mensuales en la región metropolitana para los años 2010,2011 y 2012.	120
Figura 10-4: Temperaturas máximas, promedio y mínimas mensuales en la región metropolitana para los años 2014,2015 y 2017.	121
Figura 10-5: Temperaturas máximas, promedio y mínimas mensuales en la región metropolitana para los años 2018,2019 y 2020.	122
Figura 10-6: Precipitaciones anuales promedio en el Gran Santiago [61].	123
Figura 10-7: Vista satelital Relleno sanitario Santiago Poniente.	128
Figura 10-8: Vista satelital Relleno sanitario Loma los Colorados	129
Figura 10-9: Vista satelital Relleno sanitario Santa Marta	130
Figura 10-10: Vista satelital Relleno sanitario Cerro La Leona	131
Figura 10-11: Tendencia en la proporción de consumo de combustibles gaseosos entre el consumo regional y el total nacional para el sector comercial, público y residencial.	164
Figura 10-12: Tendencia en la proporción de consumo de combustibles gaseosos entre el consumo regional y el total nacional para el sector industrial.	164
Figura 10-13: Tendencia en la proporción de consumo de combustibles gaseosos entre el consumo regional y el total nacional para el sector transporte.	164
Figura 10-14: Tendencia en el consumo regional sobre el consumo nacional del sector comercial, público y residencial.	167

Figura 10-15: Tendencia en el consumo regional sobre el consumo nacional del sector industrial.	167
Figura 10-16: Tendencia en el consumo regional sobre el consumo nacional del sector transporte	168
Figura 10-17: Diagrama de flujos representativo del Escenario 4.	171

1. Introducción

1.1. Antecedentes y motivación

La población humana y el desarrollo moderno han forzado al planeta a cambiar sus ciclos biogeoquímicos, en particular aquellos relacionados al sistema climático. Desde la revolución industrial, la tecnología y la ciencia han brindado herramientas para combatir distintos problemas sociales: salud, alimentación, abrigo, etc. Sin embargo, la fuerza motora que ha permitido avanzar en estos aspectos también ha impulsado un cambio en la composición química de nuestra atmósfera al emitirse flujos significativos de gases de efecto invernadero (GEI), interviniendo fuertemente en los ciclos naturales y desestabilizando el clima [1]. Si bien los problemas climáticos asociados a esto (aumento en la temperatura global, cambios en los patrones de precipitación, derretimiento de glaciares, sequías, heladas, etc.) son un problema por sí mismos, las consecuencias de estos escenarios también generan preocupación, por su impacto en sociedades y ecosistemas [2].

La vida actual corre peligro en este escenario de incertidumbre climática pues las sequías, falta en disponibilidad de recursos hídricos, el daño en el uso de los suelos y el agotamiento de recursos impactan directamente en los servicios ecosistémicos que brindan los recursos que sostienen a las poblaciones humanas. Por otro lado, en la actualidad, la vida de las personas se desarrolla mayormente en ciudades y cada vez con estándares de vida más exigentes. La población urbana va en crecimiento rápidamente y, para algunos autores, esto es un potencial problema, pues el crecimiento rápido y desproporcionado de ciudades genera una gran presión en la infraestructura y la producción de recursos [3]. Por lo tanto, lo anterior representa un desafío para el desarrollo, sobre todo en el contexto del cambio climático e incertidumbre en la disponibilidad de recursos.

Particularmente, la ciudad Santiago se está convirtiendo en una megaciudad. Estas son entendidas como asentamientos humanos de más de 5 o 10 millones de personas [4]. En este contexto, el diagnóstico actual de la sustentabilidad de la ciudad, su planificación, manejo urbano y su comparación con otras ciudades puede hacer diferencias significativas para generar un mejor desarrollo urbano, un mejor uso de recursos y una mejor relación con el medio ambiente. Para contextualizar cuáles son los principales peligros, problemáticas y herramientas que pueden ayudar a entender y manejar este escenario, se abordarán los tópicos de cambio climático y su relación con el ciclo del carbono, megaciudades y el desarrollo sostenible.

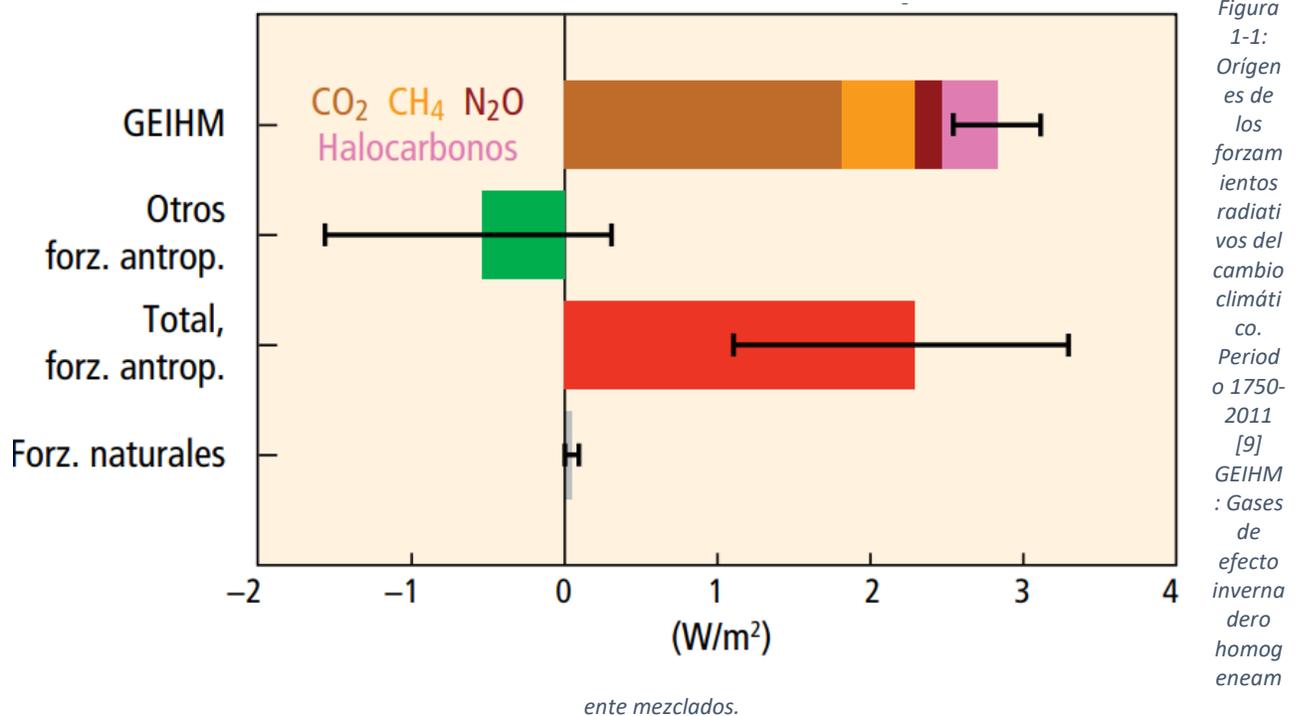
1.1.1 Cambio climático

El cambio climático se ha posicionado como una de las mayores problemáticas modernas, no solo para los humanos, sino que para el planeta en su totalidad. No es un problema aislado ni ajeno a otros peligros globales, ya que está ligado fuertemente a la accesibilidad y disponibilidad de alimentos, agua, combustibles, recursos materiales, etc [5]. Este ha sido descrito como “una variación que se está registrando en el clima del planeta, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, principalmente por el aumento de recursos como combustibles fósiles y otras actividades industriales, alterando la composición de la atmósfera. Se manifiesta en un aumento de las temperaturas medias y con alteración del clima a escala mundial, haciendo más común eventos climáticos extremos.” [6]

La concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera ha ido incrementando desde la época preindustrial, principalmente como resultado del crecimiento económico y el crecimiento demográfico. En el Anexo A se puede observar que la concentración de CO₂ en la atmósfera ha

aumentado en un 50% sus máximos históricos, pasando desde 280 [ppm] (*peak*) en 1950 a 420 [ppm] (*peak*) en la actualidad [7].

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) utiliza el término de forzamiento radiativo para denotar perturbaciones externas impuestas en el sistema climático capaces de modificar el equilibrio de energía entrante y saliente[8]. Dichas perturbaciones pueden ser el cambio en la concentración de distintas especies activas radiativamente en la atmósfera, especies con carbono, como el dióxido de carbono y el metano y otros compuestos nitrogenados. Los forzamientos positivos tienden a calentar la superficie terrestre mientras que los forzamientos negativos tienden a enfriarla. En términos generales, a mayor concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, mayor energía es acumulada. En la Figura 1-1 se puede observar el origen de los forzamientos radiativos del cambio climático (acumulación de energía) descritos por el IPCC desde distintas fuentes antropogénicas y naturales.



En la imagen se puede observar que los impulsores (radiativos) del cambio climático no son solo los gases de efecto invernadero, pues existen también otros forzantes antropogénicos (efecto refrigerante de los aerosoles y el efecto de los cambios en el uso del suelo), sin embargo, la concentración de CO₂, CH₄ y N₂O atmosférico son de los principales desencadenantes de este problema y por lo tanto un foco de preocupación. Particularmente, las especies con carbono han sido las que mayor interés han despertado debido la importante desestabilización del ciclo del carbono que se ha producido luego de la revolución industrial y el uso de combustibles fósiles.

El ciclo del carbono se entiende como el intercambio de flujos de carbono entre los distintos reservorios de carbono en el planeta. Dentro de estos se encuentran los cuerpos de agua dulce, el océano, el sedimento oceánico, la vegetación, el suelo, las reservas fósiles (rocas y sedimentos) y la atmósfera [10]. Luego de la revolución industrial, grandes cantidades de carbono fueron transferidas desde las reservas

fósiles hacia la atmósfera. De igual manera, en la actualidad, este ciclo sigue tensionado por las distintas actividades humanas, en particular por actividades urbanas, las cuales representan cerca del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero [10][11]. En el Anexo B es posible observar un diagrama representativo del intercambio de flujos de carbono en el planeta. Teniendo en cuenta lo anterior, surge la preocupación de cómo mejorar este escenario para evitar o amortiguar los impactos que puedan generarse.

Los riesgos e impactos directos provocados por el cambio en el sistema climático en los sistemas naturales y humanos declarados por el IPCC pueden observarse en la Figura 1-2[9], identificándose para América del Sur un aumento de los riesgos en la disponibilidad de agua, disponibilidad de alimentos y la salud humana.

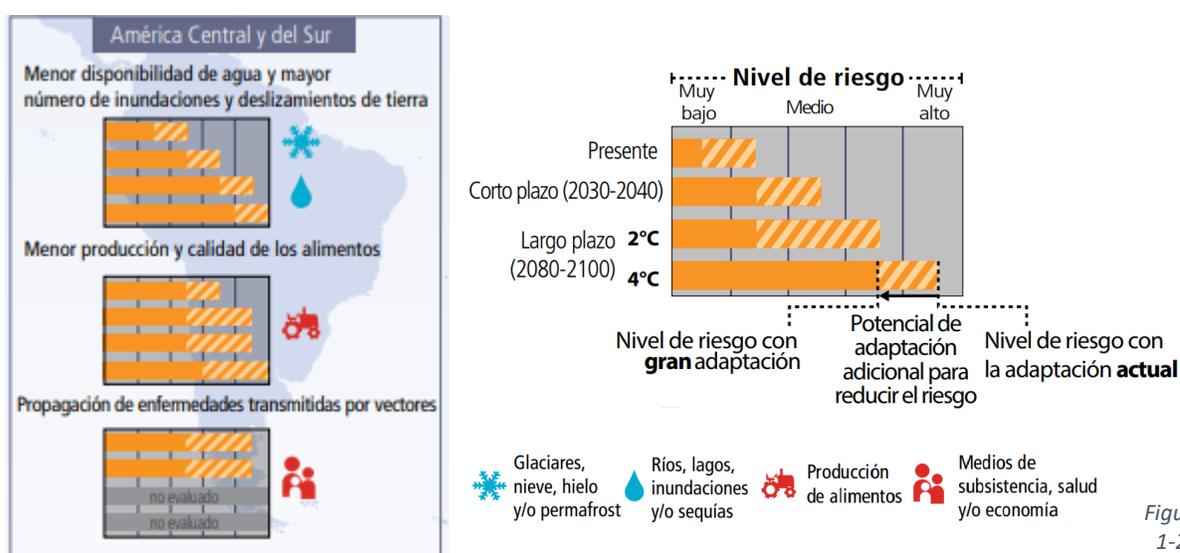


Figura 1-2:

Riesgos clave América del sur reportados por el IPCC en su informe de síntesis del cambio climático, 2014 [12].

Estos impactos pueden resumirse en los siguientes puntos [9]:

- **Aumento en el riesgo de extinción para especies** vegetales y sus paisajes debido a la imposibilidad de su traslado o redistribución geográfica. Debido a las rápidas tasas de cambio en los efectos del cambio climático, muchas especies no podrán desplazarse a zonas que les entreguen condiciones de temperatura, humedad o nutrientes a tiempo, provocando su posible extinción.
- Existirá una **socavación en la seguridad alimentaria y un aumento en el peligro de salud humana** debido a la inestabilidad de distintos ecosistemas y por lo tanto de los servicios ecosistémicos. Los principales efectos alimenticios se verán en la biodiversidad marina que presentará una mayor dificultad para sobrevivir y por lo tanto se verá afectada directamente la productividad pesquera. Además, se observarán efectos directos de la temperatura y disponibilidad hídrica en los cultivos del sector agrícola que afectarán negativamente sus rendimientos productivos. Con respecto a la salud humana, las condiciones climáticas de calor y

humedad no serán las propicias en algunos sectores geográficos, acentuando los problemas de salud ya existentes en la población e impidiendo actividades humanas cotidianas como el trabajo en el exterior o la producción de alimentos.

- **Las Ciudades y economías se verán afectadas**, repercutiendo directamente en el bienestar de las personas. Las condiciones climáticas más extremas acentuarán la dificultad en el acceso a la infraestructura, el estrés térmico, contaminación atmosférica, sequías, escasez de agua y escasez de alimentos, lo que pondrá en riesgo el continuar con los mismos estilos de vida en las ciudades actuales. Las zonas rurales se enfrentarán fuertemente al problema de disponibilidad y abastecimiento de recursos hídricos y alimentarios como también al acceso a infraestructura. Como resultado de lo anterior, existirán mayores tasas de desplazamientos y migración desde las zonas más afectadas a zonas menos afectadas, dejando más desprotegidos a aquellos que tengan acceso a recursos. Quienes no tengan los recursos necesarios se verán expuestos en mayor intensidad a episodios meteorológicos extremos, sobre todo en países en vía de desarrollo y países con menores ingresos.

En resumen, el uso excesivo de sustancias que aportan al cambio climático está conduciendo al sistema climático a un nivel de desestabilización con alta incertidumbre. Como resultado, se experimentará una mayor dificultad para continuar con los estándares de vida actuales debido al dificultoso el acceso de los servicios ecosistémicos que los brinden. De esta manera, utilizar los recursos de una mejor manera es prioridad por 2 razones: se deben desacoplar las actividades humanas de sustancias que generen daños globales y se debe eficientizar el uso de recursos porque cada vez será más difícil acceder a ellos.

1.1.2 Megaciudades

Las ciudades son las grandes aglomeraciones urbanas donde se desarrolla la mayor parte de las actividades diarias de vida. Es ampliamente reconocido que la calidad ambiental de las grandes ciudades y su entorno ha afectado directamente al planeta, sus ecosistemas [13] y la salud de las personas [14] al convertirse en lugares con baja densidad vegetal, alta contaminación atmosférica y ser grandes emisoras de flujos contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos provenientes desde hogares o industrias. Con el tiempo, algunas de ellas han crecido en aspectos poblacionales (población total, densidad poblacional, etc), tecnológicos o de infraestructura y se han convertido en el centro de las actividades sociales y económicas de la mayoría. Dependiendo de los autores [4][12], las ciudades pueden categorizarse como “megaciudades” una vez que su población está por sobre los 5 o 10 millones.

A pesar de que el crecimiento de las ciudades está directamente ligado a que estas representan mejores oportunidades de vida que zonas menos urbanizadas, el crecimiento rápido de estas genera una gran presión en la infraestructura y el consumo de recursos [9], sobre todo en un contexto de cambio climático y gran incertidumbre en la accesibilidad de recursos. El IPCC describe el impacto (I) de una determinada población hacia el medio ambiente como el producto de 3 factores: La población (P), el consumo promedio per cápita (A) y la unidad de impacto por unidad de consumo (T) [1]:

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (1)$$

De esta manera, los impactos ambientales de la población se pueden descomponer en términos de **la población y el consumo promedio per cápita**. Evidentemente, mayor sea la población, mayores serán los impactos, pero también depende el comportamiento individual y del impacto de cada actividad. Visto

desde el otro lado, los impactos pueden reducirse si se utilizan más eficientemente los recursos (consumo per cápita) o si es que se usan mejores recursos (impacto por unidad de consumo).

La energía, principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero[15], es uno de los elementos principales para el funcionamiento de las ciudades. Entender la dinámica del uso de este recurso en las ciudades o megaciudades puede ser una herramienta para avanzar sistemas urbanos más sostenibles con usos más eficientes. Un caso interesante de estudiar es el factor de consumo promedio per cápita de energía pues permite analizar los cambios en los hábitos de consumo en distintos periodos de tiempo y en función de distintas características de la población o la ciudad. Facchini y compañía [3] en su estudio de uso de energía en megaciudades muestran el uso de recursos energéticos en función de la densidad poblacional en 27 megaciudades del mundo y la evolución de consumo en comparación a la evolución de la población. En la Figura 1-3 se observan algunos de sus resultados:

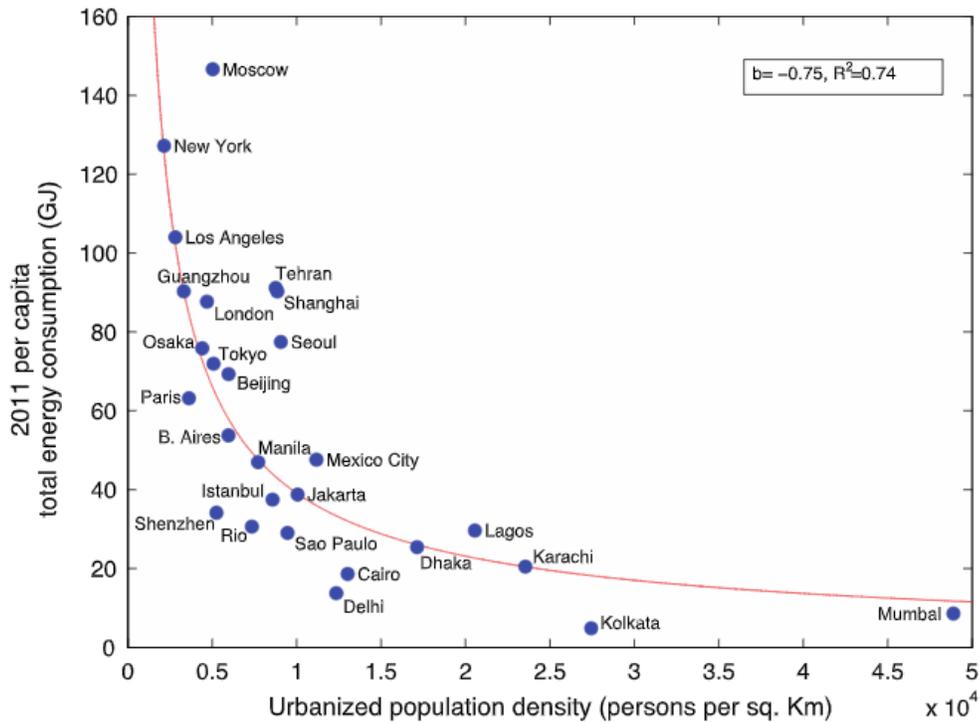


Figura 1-3: Consumo energético per cápita en función de la densidad poblacional para distintas ciudades del mundo, tomado de [3].

A pesar de que los autores señalan que no es posible confirmar tendencias estrictas, se observa que el consumo energético total per cápita disminuye de forma potencial a medida que la densidad poblacional aumenta según la siguiente ecuación:

$$A_{energía} \sim \rho_{poblacional}^{-b} \quad (2)$$

Ciudades como Mumbai que con 23 millones de habitantes y una alta densidad poblacional, posee una de las menores tasas de consumo de energía per cápita. Por otro lado, ciudades como Moscú, con 12 millones de habitantes y una baja densidad poblacional, posee uno de los mayores consumos de energía per cápita. Si se analiza la pendiente del ajuste potencial, se puede notar que para bajas densidades poblacionales, el aumento de una unidad de densidad genera una disminución del consumo energético

per cápita importante. En caso contrario, si la densidad poblacional inicial es cercana a los 10.000 [hab/km²], el aumento de una unidad de densidad no representa una disminución igual de significativa. Debido a que no existen referencias actuales que definan cuáles son los niveles de consumos sostenibles de las ciudades, es que se debe avanzar entendiendo el comportamiento de los flujos porque pueden ofrecer mejoras urbanas que aún no se han explorado. Este tipo de estudios sirve para entender el funcionamiento de las ciudades como si estas fuesen procesos, a través del análisis de sus distintas variables. Modificar características del proceso podría variar los niveles de producción o, en este caso, modificar características de la ciudad podría variar los niveles de consumo de recursos, una buena alternativa para disminuir los impactos.

1.1.3 Desarrollo sostenible

Bajo la preocupación e incertidumbre que genera el crecimiento de la población mundial en el contexto del cambio climático y las insuficientes medidas que se están tomando para enfrentar la problemática [16], la “sustentabilidad” se posiciona como una herramienta u objetivo de desarrollo para avanzar hacia un estado de bienestar mayor considerando los desafíos emergentes. El término que más ha sido utilizado para abarcar y enfrentar las problemáticas ha sido el “desarrollo sustentable”, popularizado en 1987 en el reporte Brundtland de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas. Un desarrollo sustentable será “aquel desarrollo que permita satisfacer las necesidades del presente sin comprometer los recursos de las generaciones futuras” [17].

En 2015, la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU) en su asamblea general propone la “Agenda 2030 para el desarrollo sustentable”, declarando 17 objetivos principales en los que se debe trabajar local, nacional e internacionalmente para avanzar en un desarrollo sostenible con foco en lo económico, social y ambiental [18]. En el Anexo D Anexo se muestran los objetivos propuestos por la ONU, rescatando los siguientes en el contexto de este trabajo:

1. **Energía asequible y no contaminante:** Asegurar el acceso asequible a la energía limpia y a bajos costos (objetivo 7).
2. **Industria, innovación e infraestructura:** Construir infraestructura resiliente, promover industrialización sustentable e innovación forestal (objetivo 9).
3. **Ciudades sostenibles:** Construir ciudades que sean seguras, resilientes y sostenibles (objetivo 11).
4. **Consumo y producción sustentable:** Promover el consumo y la producción sustentable (objetivo 12).
5. **Combatir el cambio climático:** Tomar acciones para combatir el cambio climático y sus acciones (objetivo 13).
6. **Vida en la tierra:** Proteger y promover uso sustentable de los ecosistemas terrestres, recursos forestales, combatir desertificación, detener la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (objetivo 15).

Los 6 puntos antes mencionados tienen algo en común: usar mejores recursos, usar mejor los recursos. A pesar del alcance en 193 países que tienen estos objetivos, la ONU no declara herramientas, metodologías ni planes específicos para lograr alcanzarlos y, por lo tanto, solo se fijan las metas. Para avanzar en el cumplimiento de estos objetivos es necesario indagar y encontrar las herramientas que permitan evaluar alternativas de desarrollo sostenible.

Algunas teorías y prácticas en el campo de la sustentabilidad con mayor especificidad en el cómo

comenzar a pavimentar este camino pueden ser la economía medioambiental y la economía ecológica [19]. En la primera destacan la producción limpia, la jerarquización de residuos y la bioeconomía y en la segunda destaca la economía circular, las soluciones basadas en la naturaleza y los sistemas de producto-servicio como modelos de negocio. La economía medioambiental o también llamada sustentabilidad “débil” apunta a que el crecimiento de las externalidades negativas (daños medioambientales) son producto del uso ineficiente de los recursos y por lo tanto propone optimizar, incorporando los daños que se generan a las funciones de costos. Además, sugiere fuertemente que el crecimiento económico y el manejo sostenible de los recursos se puede alcanzar con mayor tecnificación, reemplazo de recursos no renovables y sustitución del capital natural con capital humano.

Por otra parte, las economías ecológicas o sustentabilidad “fuerte” sostienen que para reducir la brecha entre los recursos demandados por la población y oferta de los servicios ecosistémicos, las conductas de consumo deben cambiar. Además, sostiene que se debe cambiar la visión de progreso y desarrollo económico. Las propuestas de esta rama de la sustentabilidad están dirigidas a la regeneración a través del diseño, la reducción de materiales introducidos a la economía, el desacoplamiento de la biosfera y tecnosfera y el cierre de ciclos materiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la pregunta ¿Qué alternativas o herramientas se pueden aplicar para mejorar el rendimiento de las actividades humanas? Una de las herramientas que podría ayudar al desarrollo sostenible es el metabolismo urbano. El metabolismo urbano pone como sujeto principal de estudio a las ciudades (principales fuentes de emisiones) y, por lo tanto, busca promover sostenibilidad desde los centros urbanos a través del análisis de sus flujos. También permite calcular indicadores de rendimiento, relacionando los flujos de recursos consumidos con las características urbanas particulares de cada ciudad [20], sirviendo como una herramienta para determinar variables de diseño, operacionales y como herramientas para elaborar propuestas de mejora en términos de los impactos que generan las personas.

1.1.4 Discusiones parciales

El ciclo de carbono está constantemente bajo estrés y las industrias y el transporte aportan significativamente al problema, alterando drásticamente el sistema climático. Las emisiones por consumo de combustibles, el cambio en el uso de suelo e industrias son todos elementos que pueden abordarse desde la estructura de las ciudades y su metabolismo. Particularmente, las áreas urbanas son responsables de aproximadamente el 70% de las emisiones de CO₂ globales[11], emisiones que son las desencadenantes de los problemas climáticos a los que nos enfrentaremos en el futuro debido al desequilibrio en los ciclos naturales de la tierra que estas generan. La urbanización, el aumento de la población urbana mundial y la incertidumbre sobre las condiciones de vida necesarias para las personas son problemas que no han sido abordados de forma integral. Si es que las ciudades son el principal sistema causante de problemas ¿Por qué no son estas mismas las responsables de las soluciones? ¿Rediseñar y reconfigurar su funcionamiento conllevaría a mejoras? ¿Haría esto a las ciudades lugares más sostenibles y viables en los posibles escenarios de cambio climático? El metabolismo urbano podría ofrecer el diagnóstico necesario para responder qué variables se deben optimizar en la ciudad para evitar los problemas que ya fueron mencionados.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo buscará evaluar el desempeño ambiental de la ciudad de Santiago en función de sus flujos de carbono y el cálculo de indicadores de rendimiento. Con este análisis se espera determinar variables que permitirán mejorar el rendimiento urbano y mejorar el funcionamiento de la ciudad en términos ambientales para aportar hacia un desarrollo que sea más sostenible.

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el metabolismo urbano de la ciudad de Santiago de Chile para distintos periodos anuales.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento de la ciudad de Santiago a través de un análisis de sus aspectos demográficos, climáticos, económicos y de transporte.
- Cuantificar el metabolismo urbano del carbono de acuerdo con las distintas actividades urbanas. Definir capas materiales o energéticas y calcular los flujos de entrada y salida para distintos periodos de tiempo (años).
- Evaluar los resultados del metabolismo de los distintos años a través de indicadores de intensidad per cápita e indicadores con componentes urbanas.
- Comparar la ciudad de Santiago con otras ciudades del mundo para identificar los puntos críticos del metabolismo de Santiago y proponer mejoras concretas que mejoren el rendimiento metabólico de la ciudad.

2 Metabolismo urbano: estado del arte

A continuación se presenta una revisión bibliográfica de la herramienta no estandarizada “metabolismo urbano”. Se revisarán definiciones, conceptos generales, enfoques, metodologías y distintas aplicaciones. Al final de este capítulo se rescatan los aspectos más relevantes de la revisión con el fin de estructurar una metodología propia para su posterior aplicación

2.1 Definición y conceptos:

Las ciudades son grandes espacios urbanos con alta densidad poblacional, parámetro que ha ido creciendo con el paso de los años debido a la urbanización y produciendo que se establezcan cada vez ciudades más grandes o megaciudades. Dentro de esta se realizan actividades como el transporte, la alimentación, uso de agua, actividades industriales de extracción o manufactureras, distintos tipos servicios o comercio y como resultado se genera acumulación de bienestar, bienes o se generan residuos u emisiones. Si se aplica una mirada integral y sistémica en las ciudades, se podría notar que todos los elementos recién mencionados están conectados y que todos provocan una presión ambiental a través de la demanda de recursos básicos esenciales para sostener la vida, recursos como el agua, el suelo, la atmósfera, etc [21]. Comprender cómo son y cómo interactúan estas redes urbanas, la presión y demanda que generan sobre los recursos básicos, cómo recuperar y regenerar los sistemas de recursos o servicios ecosistémicos y cómo se puede interconectar o acoplar estos últimos con los sistemas urbanos son elementos de interés relacionados con el metabolismo urbano y para el desarrollo de ciudades *inteligentes* [22].

El metabolismo urbano nace como una herramienta para tratar de estructurar y cuantificar los procesos *metabólicos* de las ciudades, haciendo la analogía con un organismo vivo, con las mismas componentes de un metabolismo biológico. El término fue introducido por Abel Wolman, pionero en la ingeniería sanitaria e investigador en ingeniería ambiental, pero había sido discutido por primera vez por Karl Marx en 1833 al usar el concepto para expresar el intercambio de flujos materiales y energéticos entre una sociedad y la naturaleza [23]. Al igual que los sistemas biológicos, un sistema urbano requiere de nutrientes (recursos materiales, energéticos, económicos, etc) para satisfacer sus actividades metabólicas. Tal abastecimiento puede darse a través de diferentes rutas del sistema, que transforman los nutrientes primarios en formas útiles de energía o materia para los humanos y a su vez genera residuos, emisiones y contaminantes. De manera más estricta, es definido como *la suma total de los procesos técnicos y socio económicos que ocurren en una ciudad, resultando en crecimiento, producción energía y eliminación de residuos, emisiones, etc.* De esta manera, el metabolismo urbano puede ser utilizado como una herramienta de análisis y planeación de ciudades. Distintos diagramas son utilizados para explicar la lógica del metabolismo urbano, en las Figura 2-2 y Figura 2-3 se observan algunos ejemplos típicos [24][25][26].

Existen distintos niveles en los que el metabolismo urbano puede ser abordado; *Zhang Y* en su revisión metodológica [27] propone que existen 4 niveles en los que el metabolismo urbano puede ser abordado y a medida que se va subiendo en estos niveles los modelos se van complejizando. Como se observa en la Figura 2-1, el primer nivel busca proveer de bases teóricas para los análisis de procesos y las posibles formas en las que se debe estudiar el metabolismo urbano.

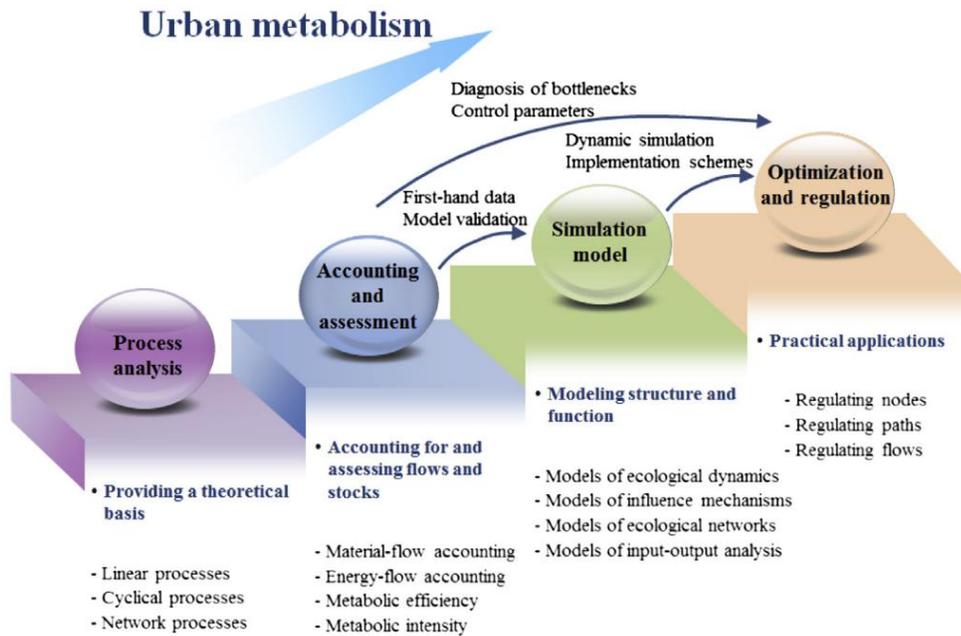


Figura 2-1 Esquema de Zhang para distintos niveles y tipos de metodologías para abordar el metabolismo urbano [27].

Un segundo nivel está enfocado principalmente en las metodologías de cuantificación de los distintos flujos materiales y energéticos utilizados en la ciudad. En esta se asignan flujos a los distintos elementos del sistema y se evalúan resultados midiendo eficiencia o intensidad de uso de recursos. La mayoría de los trabajos están en el segundo nivel y su representación gráfica puede observarse en la Figura 2-2

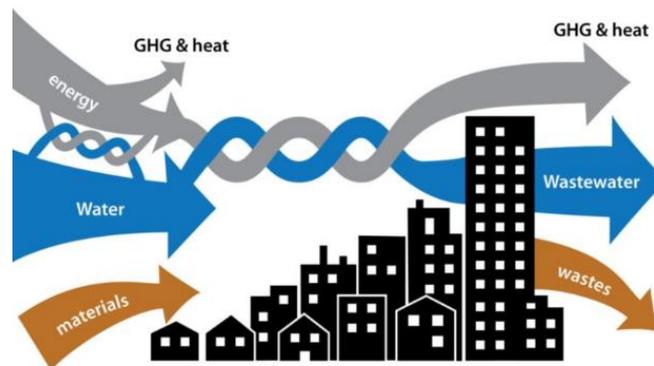


Figura 2-2: Metodología nivel 2. Diagrama de flujos de entrada y salidas para el metabolismo urbano. Extracto de [30]

Un tercer nivel descrito propone complejizar la cuantificación de flujos con el fin de realizar modelos dinámicos que describan las interacciones entre elementos del sistema urbano a través de sus flujos. En este caso, la demanda y oferta de los distintos flujos modelados responde a diferentes ecuaciones matemáticas que modelan el comportamiento de los elementos del sistema. Un ejemplo de esto podría ser la modelación del metabolismo urbano de la energía en una ciudad (observada en la Figura 2-3) en función de parámetros de oferta, demanda y las dinámicas de uso o desecho.

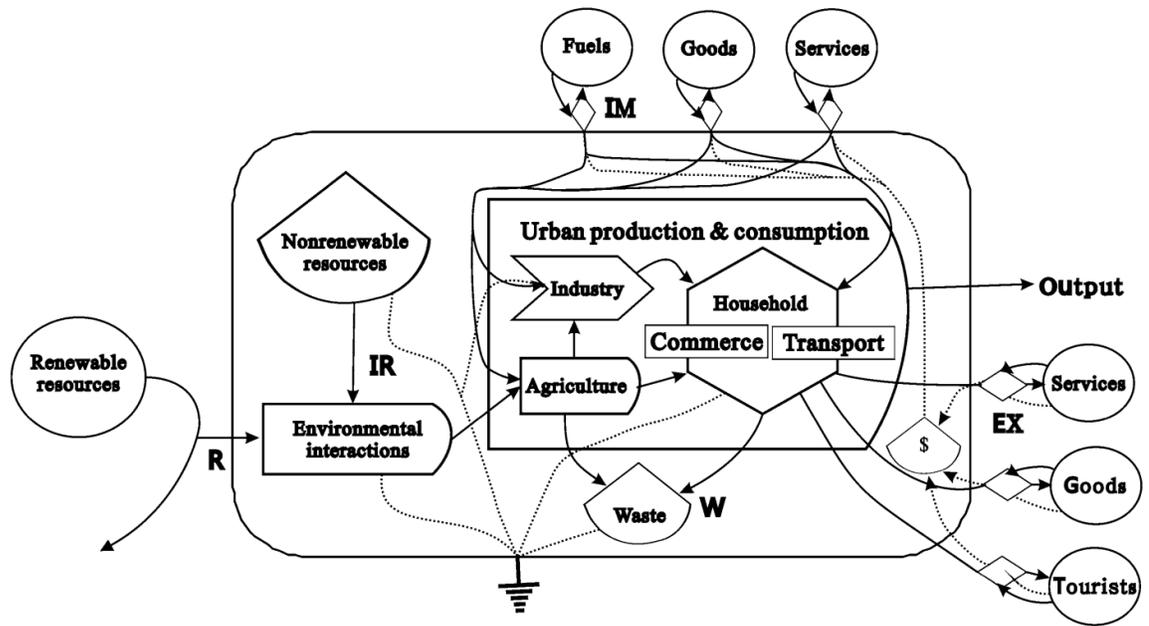


Figura 2-3: Metodología nivel 3. Diagrama de arcos y nodos para estudiar el metabolismo energético de Beijing. Tomado de [28]

Finalmente, el último nivel corresponde a aplicaciones prácticas de optimización con el fin de regulación de sistemas urbanos a través del control de flujos y nodos. Un ejemplo de lo anterior podría ser la optimización de la red de agua de una ciudad [29]. Analizando las figuras, no todos los diagramas dan a entender los mismos enfoques de estudio. Por un lado, algunos intentan representar sectores o participantes y los flujos de los que son responsables (nivel 1 y 2). Mientras que los otros buscan relacionar los participantes del sistema a través de las relaciones dinámicas (nivel 3 y 4). En general, el metabolismo urbano ha sido utilizado para aplicar sus resultados en analizar procesos urbanos, cuantificar y optimizar flujos materiales o energéticos, estimar huellas ambientales, generar modelos dinámicos entre las distintas componentes de un sistema urbano, crear indicadores de sustentabilidad e incluso para la planificación urbana. Este trabajo se enfocará en desarrollar una metodología de nivel 2.

2.2 Metodologías o enfoques del metabolismo urbano

Es reconocido por los distintos autores que una de las principales problemáticas dentro de los estudios de metabolismo urbano es que no existen metodologías estandarizadas. Así, cada estudio tiene similitudes y diferencias difíciles de formalizar. Algunos de los enfoques más utilizados son el *material flow analysis* y el *input-output analysis*. A continuación se presentan distintas descripciones y de diferentes autores para estos enfoques.

2.2.1 Análisis de flujos materiales o MFA

El análisis de flujos materiales o "*material flow analysis*" (MFA) es la metodología más aplicada en el metabolismo urbano por su orientación a la cuantificación de flujos y stocks materiales en un sistema determinado [30]. El interés por estudiar la economía de los flujos materiales y los efectos que esta tenía principalmente en el agua y la contaminación atmosférica comenzaron por el año 1960. En ese entonces Ayres y Kneese en 1969 fueron unos de los primeros autores en abordar, con bases teóricas de balances de masa, un estudio de los residuos generados por los flujos materiales y su relación con la contaminación [31] a través de un sistema urbano. La idea fundamental detrás del trabajo de Ayres y Kneese es que las economías están soportadas en recursos naturales como agua, suelo o aire pero que estos se consideran infinitos y permanentes. Al ser una metodología relacionada con la economía y sus

flujos monetarios, esta herramienta permite calcular indicadores sobre cuan acoplada o desacoplada se encuentra una economía a los flujos materiales y o energéticos.

De forma general, esta metodología realiza un conteo de distintos flujos materiales que cruzan un sistema: Las entradas o “inputs” deben ser iguales a los elementos que se quedan dentro del sistema o “stocks” más las salidas o “outputs”.

$$m_{in}^i = m_{out}^i + m_{acumulado}^i \quad (3)$$

$$E_{in}^i = E_{out}^i + E_{acumulada}^i \quad (4)$$

Las ecuaciones (3) y (4) representan los balances correspondientes de masa y energía para los elementos *i* del sistema.

Modelos simples de MFA:

Kennedy [32] en *Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities* propone un modelo simple de cuantificación del metabolismo urbano para megaciudades con distintas capas materiales según cuales son los flujos más problemáticos en una ciudad por disponibilidad y manejo. Un detalle de esta metodología se presenta en el Anexo C. La metodología tiene distintas capas cualitativas y cuantitativas de recolección de información que se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Definir los límites espaciales y administrativos, localidades formales existentes, población, productos brutos regionales.
2. Definir características biofísicas de la megaciudad: área total, área urbana, climas, densidad poblacional, área estructural total, etc.
3. Incorporar capas materiales relevantes que no hayan sido mencionadas para los combustibles, fuentes de generación de energía, materiales o cualquiera relevante en el contexto aplicado.
4. Rol y cantidad de distribuidores y abastecedores de electricidad, gas natural, calefacción o refrigeración, agua potable, alcantarillado y aguas servidas, recolección de residuos
5. Definición de fuentes de energía, agua, alimentos, materiales de construcción, lugares de recepción de aguas residuales y recepción de residuos sólidos.
6. Cuantificar las capas materiales definidas.

La Eurostat en su *Balance y cuentas de flujos nacionales* [33] propone la siguiente metodología propia para abordar el análisis de flujos materiales que atraviesan una economía nacional, gráficamente esta se ve como en la figura a continuación:

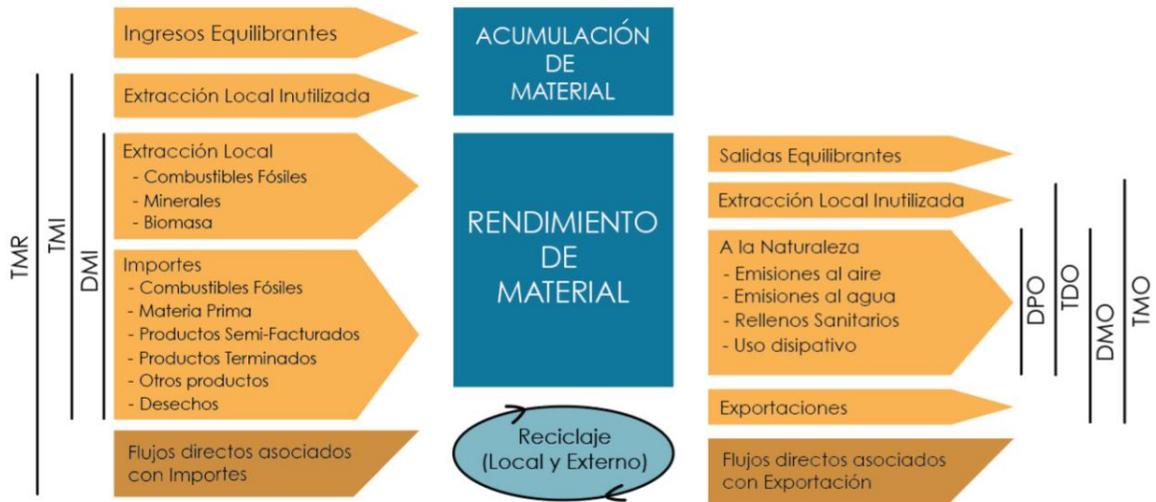


Figura 2-4: Esquema general de un MFA propuesto por la Eurostat [34].

- **Para un determinado producto:** La producción más las importaciones es igual a la demanda interna más las exportaciones de este producto; la demanda interna es igual a los consumos intermedios, al consumo final y a la formación bruta de capital.
- La **entrada total de materiales debe ser igual a la salida** de bienes y residuos generados (residuos sólidos, atmosféricos y vertidos al agua).
- Los límites del sistema de estudio deben estar constituidos por **límites geográficos**, zonas francas, zonas aéreas, aguas nacionales e internacionales.
- Los flujos se pueden **clasificar de distintas maneras para agregar o disminuir complejidad al trabajo**. Según origen: doméstico o del resto del mundo; Según su ciclo de vida: directos e indirectos; Según su entrada al sistema económico: utilizados y no utilizados.
- **Se cuantifican las entradas:** Combustibles fósiles. Minerales, biomásas e importaciones como materias primas, productos semi manufacturados, productos acabados y otros productos.
- **Se cuantifican las salidas:** Emisiones al aire, emisiones al agua, rellenos sanitarios, materiales disipados, exportaciones.
- Finalmente, **se calculan distintitos indicadores:** Input directo de materiales (DMI) , input material total (TMI), requerimiento total de materiales (TMR), consumo doméstico de materiales (DMC), consumo material total (TMC), balance físico de intercambio (PTB), adiciones netas al stock (NAS), output doméstico total (TDO), output directo de materiales (DMO), output total de materiales (TMO).

Helmut Rechberger and Paul H. Brunner en su libro *Practical handbook of material flow analysis* [35] proponen que la antroposfera (medio manejado por los humanos) y el medio ambiente (manejado por la naturaleza), se relacionan a través de materiales, energía, organismos e información. Proponen un modelo en que la antroposfera y su metabolismo tiene 4 compartimentos o elementos principales:

1. Agricultura

2. Industria, comercio y comercio internacional
3. Consumo privado de los hogares
4. Residuos y su manejo

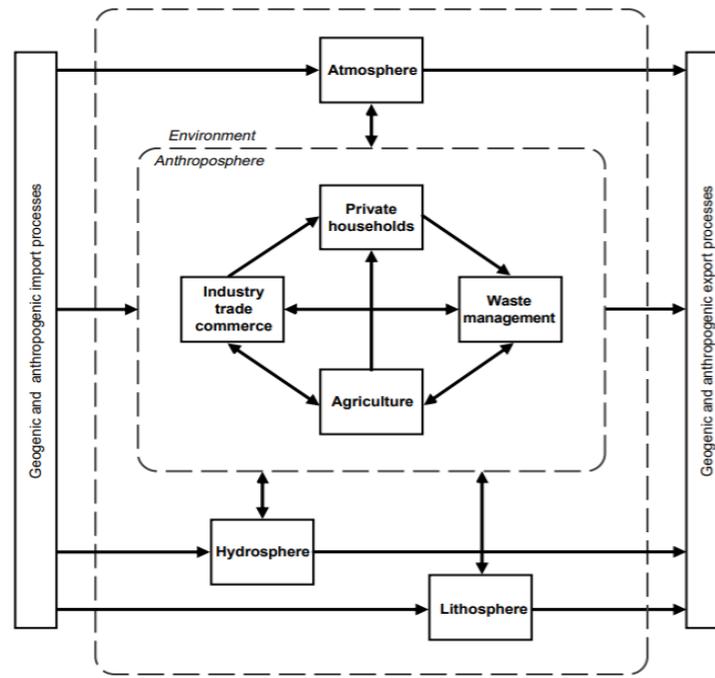


Figura 2-5: Modelo del metabolismo antropogénico de Brunner y Helmut [35].

Se describe la metodología para realizar un análisis de flujo de materiales o MFA de la siguiente forma:

1. **Selección de sustancias:** Dependiendo del propósito del estudio, se deben elegir sustancias que logren describir y responder los objetivos principales del estudio.
2. **Definición del sistema en el espacio y el tiempo:** Generalmente los límites se definen según los límites legales o administrativos de la región que se desea estudiar (país, región, comuna, ciudad, etc). En algunos casos es importante incorporar a los límites otras regiones que no están físicamente juntas pero que forman parte del metabolismo. Por ejemplo: Las zonas productoras de alimentos no son parte de los límites físicos ni administrativos de la mayoría de las ciudades, pero son aquellas más nutrientes aportan a los ecosistemas por la infiltración a los ríos.
3. **Identificación de flujos, stocks y procesos relevantes:** En esta parte es importante determinar aquellos procesos que gatillan los flujos que contienen a la o las sustancias definidas en el paso 1. Los procesos pueden dividirse en más subprocesos para detallar más aún el estudio, pero la cantidad de subprocesos que se incorpore debe venir dada por un balance entre el tiempo dedicado y el aporte que estas generen a los objetivos principales del estudio.
4. **Determinación de los flujos materiales, stocks y concentraciones:** Información de bases de datos corporativas, nacionales o internacionales debe ser recolectada para dar valor a los flujos principales y la concentración de las sustancias contenidas en ellos. Datos no encontrados pueden ser aproximados con información internacional o con enfoques “bottom-up” o “top-down”. Errores del 10% en el balance global son comunes y son aceptados.
5. **Análisis del total de la sustancia y los stocks:** Una vez determinados los flujos totales y las concentraciones es posible determinar el flujo másico de la o las sustancias seleccionadas a través del sistema.

6. **Presentación de resultados:** Presentar los resultados de forma que sean comprensibles, entendibles y reproducibles. Tener siempre en cuenta que la audiencia está compuesta por expertos técnicos y por personas que no están familiarizadas con este tipo de estudios.

Cabe destacar que esta metodología está generalizada para ser usada en distintos contextos como: Legislación para políticas públicas, metabolismo urbano, diseño de procesos y productos, etc. Al igual que para la metodología anterior, esta no incluye balances energéticos.

2.2.2 Análisis Input-Output

Las tablas de entrada y salida o *input-output*, por su nombre en inglés, son otra metodología de análisis económico que sirven para estimar impactos ambientales. La organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE, por si siglas en inglés), elaboró una matriz en la cual se puede abordar el intercambio de bienes y servicios de entrada o salida entre los productores y consumidores de una industria a través del estudio de los flujos monetarios del país [36][37]. La metodología se define de la siguiente manera:

1. Definir los objetivos, el sistema de estudio y el año.
2. Calcular los flujos monetarios de entrada y salida para los 14 sectores económicos definidos:
 - a. Productos de agricultura, ganadería y pesca.
 - b. Alimentos, bebestibles y tabaco.
 - c. Forestal.
 - d. Productos de industrias extractivas.
 - e. Productos de industria manufacturera.
 - f. Electricidad, agua y gas.
 - g. Construcción.
 - h. Comercio.
 - i. Hotelería.
 - j. Arte y entretenimiento.
 - k. Transporte y telecomunicaciones.
 - l. Servicios financieros.
 - m. Negocios y bienes raíces.
 - n. Administración pública.
 - o. Educación.
 - p. Servicios sociales y de salud.
 - q. Otros servicios sociales.
 - r. Otros.
3. Una vez obtenidas las tablas con los flujos monetarios de entrada y salida, los flujos se pueden normalizar por la cantidad de personas.
4. Se estima un factor de impacto para cada sector económico con unidades de [CO₂ eq / \$].
5. Se calculan los impactos multiplicando los flujos económicos por los factores de impacto y se evalúan los impactos según cada categoría.

A continuación se presenta una tabla resumen que facilita la comparación general de ambas metodologías analizadas.

Tabla 1: Tabla comparativa entre la metodología de Análisis de flujos materiales y la de Análisis input-output.

Metodologías	Ventajas	Desventajas
<p>Análisis de flujos materiales MFA</p> <p><i>Multi-layered indicator set for urban metabolism.</i> Kennedy, Stewart y Ibrahim.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Foco en cuantificar flujos materiales y/o energéticos. • Lista elementos básicos del metabolismo que deben ser cuantificados: Energía, agua, alimentos, materiales de construcción, residuos, aguas residuales. • Propone claramente una forma para determinar límites espaciales del estudio. • Alto análisis sobre componentes biofísicos de la ciudad y cobertura de servicios básicos. • Simple y estándar. Permite comparar entre ciudades. 	<ul style="list-style-type: none"> • No define una forma clara de cuantificar los flujos. • La metodología propone como indicadores solo la intensidad de los flujos.
<p><i>Balance y cuentas de flujos.</i> Eurostat</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metodología basada en la ingeniería de procesos pues utiliza balances de masa para realizar cálculos. • Explicita la ecuación que rige los balances en función de las importaciones, producciones internas, emisiones, residuos y exportaciones. • Define al menos 10 indicadores de rendimiento urbano. • Relaciona los flujos con la economía, permitiendo evaluar acople o desacople entre el rendimiento urbano y factores económicos. • Estandarizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deja fuera análisis energéticos. • Extensa comparativamente por la cantidad de elementos analizados. • Enfoque nacional y no zonal urbano. • Requiere gran cantidad de información para completarse.
<p><i>Practical handbook of material flow analysis.</i> Rechberger y Brunner.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Define elementos pertenecientes a la “antroposfera” analogables a las ciudades. • Define sectores o componentes principales: agricultura, hogares, manejo de residuos e industria y comercio. • Modelo propuesto desde la ingeniería de procesos. Utiliza términos como sustancia, flujo, flux, coeficiente de transferencia, proceso, subproceso, balances, etc. • Define una metodología o paso a paso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco estandarizado. • Poco específica para las ciudades. • Reduce las componentes de la antroposfera a 4 elementos. • Extenso al enfocarse también en la concentración de sustancias elementales. • No especifica indicadores de metabolismo urbano.
<p>Análisis input-</p>	<p><i>Tablas input-output.</i> OCDE.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estandarizada. • Define específicamente sectores económicos y flujos principales de 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfoque nacional y no zonal urbano. • Enfoque económico y no másico/energético,

output		<p>la economía que deben ser considerados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utiliza factores de impacto diferentes a los comunes (CO₂-eq / \$) • Resultados por sector económico. 	<p>poco exacta en esos términos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metodología busca encontrar la intensidad de productos a través de flujos monetarios. • No se especifican indicadores de metabolismo urbano.
--------	--	--	--

2.3 Trabajos sobre metabolismo urbano

Distintos enfoques han sido aplicados para estudiar las zonas urbanas, desde unidades pequeñas como el metabolismo del hogar, metabolismo de vecindarios hasta metabolismo de ciudades o del país completo. En esta sección se presentará una revisión de aplicaciones de la metodología a distintas ciudades y sus principales resultados.

The metabolism of a city: The case of Hong Kong [38][39] estudia la evolución en las entradas y salidas materiales de la ciudad de Hong Kong para los años 1971 y 1997, periodo marcado por una transición de actividades manufactureras a una economía de servicios. La metodología utilizada en este trabajo corresponde a la de análisis de flujos materiales con la que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2 : Metabolismo de Hong Kong de 1971 y 1997. Extracto de *Encyclopedia of geography* [40]

		[kg/ hab – año]		
	Flujos materiales	1971	1997	Cambio %
Entradas	Alimentos	570	680	+20
	Combustible fósil	1000	2.000	+100
	Material de construcción	1000	3.800	+280
	Otros bienes	250	530	+112

	Agua fresca	99.010	137.976	+39
Salidas	Residuos sólidos	762	2.086	+174
	Aguas servidas	73.115	102.311	+40
	CO ₂	2.285	4.776	+119
	Contaminantes atmosféricos	65	50	-23
	Población aproximada	4.045.000	6.489.000	+60

Se puede observar que casi el total de los flujos cuantificados presentaron un aumento importante en su intensidad de uso por persona comparando los años 1971 y 1997. Los mayores aumentos se presentan en los materiales de construcción, residuos sólidos generados y emisiones de CO₂. Tiene sentido que los materiales de construcción hayan presentado un aumento significativo pues durante el periodo no solo ha crecido la cantidad de hogares, sino que también calles, carreteras, autopistas, edificios públicos, comercio, etc. La preocupación principal que se genera al analizar estos resultados, además de la gran presión por el aumento en el total de la demanda de recursos que se genera, es que todos los flujos considerados, a excepción de los contaminantes atmosféricos, han presentado un aumento porcentual per cápita por sobre el 20%. Tanto el consumo individual como consumo total son mayores, indicando que tal transición económica fue sinónimo de un aumento en la intensidad del metabolismo.

Las conclusiones principales de este trabajo son que, a medida que crece el bienestar económico, los indicadores de intensidad de consumo per cápita también. La urbanización o el crecimiento de ciudades es un proceso demandante en recursos ya que la construcción y operación de estas es energéticamente costoso. Cuando la población crece en una ciudad, también aumenta el consumo material, incluso a nivel per cápita, quedando comprobado con los resultados. A medida que una ciudad crece territorialmente o se densifica, las interacciones deben ser cada vez más sofisticadas. Por ejemplo, para transportar alimentos desde un punto a otro las calles de la antiguas ciudad ya no serán tiempo-efectivas y por lo tanto se incorporarán autopistas o para albergar la nueva población se requerirán de edificios en alturas, complejizando las interacciones urbanas, mejorando los estándares de vida pero intensificando el metabolismo.

An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver [41] corresponde a un trabajo que tiene por objetivo cuantificar los flujos de materia y energía necesarios para soportar las actividades de los habitantes de la ciudad de Metro Vancouver y además calcular dos indicadores asociados a esto: huella ecológica y huella de carbono. Se utiliza una metodología de cálculo de entradas y de salidas de los flujos, con una perspectiva de ciclo de vida para considerar flujos directos, indirectos y energías almacenadas. Se consideran 5 categorías para la cuantificación de flujos: Alimentos, edificaciones, bienes consumibles y residuos, transporte y agua. A cada una de las categorías se le asigna un valor asociado a la cantidad física del material, la energía utilizada en el ciclo de vida de esos materiales, emisiones de carbono equivalentes y hectáreas globales [gha] de suelo requeridas (huella ecológica). Los resultados principales se presentan a continuación:

Tabla 3: Metabolismo de Metro Vancouver en el 2006. Tomado de [41].

	<i>Agua</i>	<i>Bienes de consumo, materiales y residuos</i>	<i>Transporte</i>	<i>Edificación</i>	<i>Alimentación</i>
Entrada	424.860.000 [m ³]	2.399.900 [ton de materiales] 6.028.660 [L combustible]	3.338.721.000 [L combustible]	-	1.753.000 [ton de alimentos]
Salida	462.053.500 [m ³]	1.139.560 [t residuos]	-	325.600 [ton residuos]	382.700 [ton residuos]
Energía asociada	107.225 [MWh]	29.000[MWh]	146.525 [MWh]	17.515.150 [MWh]	-
Huella de carbono	87.106 [ton CO ₂ eq]	3.455.000 [ton CO ₂ eq]	9.337.930 [ton CO ₂ eq]	6.440.600 [ton CO ₂ eq]	3.482.100 [ton CO ₂ eq]
Huella ecológica	34.550 [gha]	1.420.300 [gha]	2.323.200 [gha]	1.779.220 [gha]	4.514.400 [gha]

En los resultados se puede observar que la categoría de alimentación es aquella que mayor huella ecológica tiene entre las categorías de la ciudad debido a los grandes espacios necesarios para los cultivos y la energía, además de los materiales utilizados para la producción de los alimentos. Por otro lado, la categoría de transporte es aquella que mayor huella de carbono tiene, principalmente por operación de los vehículos privados de la población y los viajes en avión de los residentes debido a la intensidad en el uso de combustibles fósiles. La huella ecológica per cápita de Vancouver fue estimada en 4,75 [gha/persona], casi el doble del promedio mundial estimado en 2,7 [gha/persona] y muy por sobre el máximo estimado en 1,8 [gha/ persona] [41]. Una de las principales conclusiones del estudio es que para lograr alcanzar los valores recomendados, el nivel de consumo de algunas categorías o la intensidad del metabolismo tendría que reducirse en al menos un 60%, dando cuenta del acelerado metabolismo de la ciudad.

Trade, materials, flows and economic development in the south: The case of Chile [42] utiliza la metodología de análisis de flujos materiales para estudiar los cambios en los stocks materiales a nivel país y evaluar ambientalmente el modelo de desarrollo económico impuesto durante el periodo 1973-2000. En este trabajo se calculan los indicadores principales de la metodología como “entradas directas” (DMI), “consumos directos” (DMC), “extracciones domesticas” (DE), “balance de intercambio físico” (PTB). Se estudian los flujos materiales principales (biomasa, metales y minerales, combustibles, etc) y se relacionan con el valor que estos generan en la economía. Los resultados principales se muestran en la Figura 2-6 [42]. En la Figura 2-6 se observa que el balance material que se genera entre las importaciones y las exportaciones es negativo en todo el periodo de análisis. Lo anterior indicaría que Chile se encontraría en un estado de déficit de stocks físicos al ser un país económicamente exportador. Para estos resultados se consideraron flujos indirectos asociados a los procesos del sector primario. La comparación de estos resultados a aquellos que no consideran los flujos indirectos indicaría que la industria de la minería (principalmente) para agregar una unidad de valor en la economía muchos materiales son extraídos, pero también muchos desechos son generados. La principal conclusión de este estudio apunta a que la economía desarrollada durante ese periodo resultó en ser poco desmaterializada (o muy acoplada a la materia) al tener una razón de aporte económico (PIB) versus entradas materiales directas (DMI) muy pequeña.

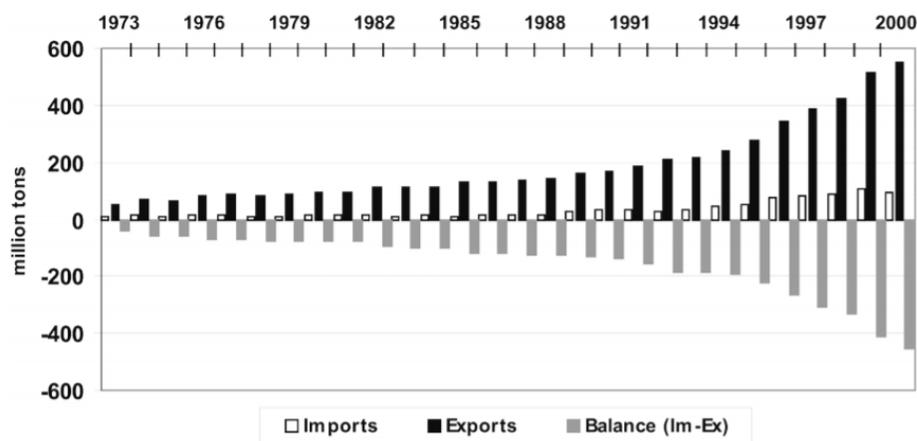


Figura 2-6: Balance físico de intercambio considerando flujos directos e indirectos. MFA para Chile 1973-2000

Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study [43] es uno de los primeros estudios que aplica una metodología de metabolismo urbano en ciudad de Canadá. En este trabajo se utiliza una metodología mixta de análisis de flujos materiales y un análisis de entradas y salidas para estudiar el estado metabólico de la ciudad de Toronto y evaluar los cambios ocurridos entre 1987 y 1999. Además, busca comparar sus resultados con otras ciudades del mundo. Los principales resultados de este estudio son:

Tabla 4: Metabolismo de Toronto, Canadá en 1987 y 1999. Elaboración propia con información de [43]

		[kg/ hab – año]		
	<i>Flujos materiales</i>	<i>1987</i>	<i>1999</i>	<i>Cambio %</i>
Entradas	Alimentos	938	946	+1
	Gasolina y Diesel	879,2	946,5	+8
	Agua fresca	186.248,7	183.581,3	-1
	Energía (kWh)	9,5	9,1	-26
Salidas	Residuos sólidos domiciliarios	371,5	276,1	-17
	Aguas servidas	190.706,7	157355,4	-9
	GHG (CO ₂ eq)	18080	16366,5	+26
	Población aproximada	4.037.613	5.071.324	

Como se puede observar en la tabla, los cambios en el metabolismo de Toronto se pueden considerar mayormente favorables al resultar que existen cambios porcentuales negativos para el consumo de agua

fresca, el consumo de energía eléctrica, los residuos domiciliarios generados y la cantidad de aguas servidas generadas. A pesar de lo anterior, sí existieron aumentos en la cantidad de alimentos consumidos, combustibles utilizados y emisiones totales de gases de efecto invernadero (GHG). Independientemente de los resultados favorables descritos en esta investigación, al comparar los resultados del metabolismo de Hong Kong se puede notar que Toronto tiene un nivel de consumo de casi el doble en alimentos, agua fresca, pero valores significativamente menores en la generación de residuos domiciliarios. Se cree que lo anterior es debido a diferencias metodológicas en los cálculos y desagregación de datos no informada. Las conclusiones de este estudio apuntan a la existencia de buenas políticas de manejo en los residuos ya que las tasas de entradas materiales son mayores a las tasas de salida, lo que podría ser entendido como un buen manejo del metabolismo (mayor acumulación).

En *Metabolism of neighborhoods* [44] se estudia el metabolismo a una escala menor que la de una ciudad. En este caso se estudia el metabolismo de 4 vecindarios representativos de la ciudad de Toronto a través de la una metodología de análisis de flujos materiales para comenzar a trabajar en propuestas para el diseño de vecindarios sostenibles. La diferencia principal en los vecindarios es la densidad poblacional debido al tipo predominante de construcciones en cada caso y la calidad de la infraestructura. A continuación, se presentan los resultados principales de la investigación:

Neighborhood	Trinity-Bellwoods	Crescent Town	Don Valley Village	Milliken
Location	Toronto	East York	North York	Scarborough
Predominant building type	Houses	Apartment buildings	Houses	Houses
Years of building construction	Before 1880	1970–1980	1960–1970	1970–1980
(a) Inflows				
Net all wave radiation {GJ/m ² /year}	← {1.8} →			
Energy (GJ/capita):				
- Electricity, Natural gas, Heating oil to buildings	107	57	79	75
- Fuel to public transit	0.5	1.0	1.0	1.3
- Fuel to private transport	3.1	5.1	6.2	9.2
Water (kg/capita)	← (9.2 × 10 ⁴) →			
Food (GJ/capita) (kg/capita)	← 5.5 (1.1 × 10 ³) →			
Total energy (GJ/capita)	116	69	92	91
(b) Outflows				
Latent and sensible heat {GJ/m ² /year}	← {1.8} →			
Anthropogenic energy (GJ/capita)	?			
Wastewater (GJ/capita) (kg/capita)	← 1.3 (8.4 × 10 ⁴) →			
Solid food waste (GJ/capita) (kg/capita)	← 0.4 (8.7 × 10 ¹) →			

Figura 2-7: Metabolismo de Trinity-Bellwoods, Crescent town, Don Valley Village y Milliken en Toronto, Canadá. Año 2000.

Se puede observar que el **consumo energético total per cápita en el vecindario donde predominan los departamentos es menor**, mientras que aquellos donde predominan las casas estos tienen un consumo energético entre un 50 a un 100% mayor. El uso de energía por transporte público y privado está directamente relacionado con la distancia, al encontrarse que aquellos vecindarios más lejanos de las zonas centrales presentan un mayor uso de combustibles que aquellos más centrales. Otro aspecto relevante es que aquellos vecindarios con mayor antigüedad tienen un mayor consumo energético, posiblemente relacionado con la ineficiencia energética de los hogares (calefacción, tecnologías, infraestructura, etc.). Las conclusiones principales de este trabajo están enfocadas en sugerir mejoras en el diseño y operación de los hogares y la ciudad, propuestas como: inversión en construcción de edificaciones eficientes en términos energéticos, desarrollo del transporte público y mejoras de la albañilería del hogar para disminuir el consumo de agua. Finalmente, se sugiere reincorporar algunos flujos metabólicos residuales con propuestas de compostaje de residuos orgánicos, utilización de aguas

residuales como fertilizantes, incorporación de zonas boscosas en la ciudad y la utilización de energía solar.

Urban metabolism of recycling and reusing food waste: A case study in Taipei City [45] utiliza un enfoque de metabolismo urbano de red dinámica (nivel 3, Figura 2-1) y una mirada de ciclo de vida para evaluar distintas alternativas en la gestión de residuos, uno de los principales flujos metabólicos de salida que son generados por las actividades urbanas. El objetivo principal es encontrar cuál de 4 alternativas (compostaje, conversión a biogás, conversión a metano, relleno sanitario) es la mejor para la gestión de residuos a través del cálculo de los indicadores de metabolismo urbano: escala metabólica, intensidad metabólica, eficiencia metabólica e impacto metabólico, los cuales representan el uso de distintos tipos de recursos en función del crecimiento poblacional, la población total y el área total. Los principales resultados son que, bajo el indicador de eficiencia metabólica, la reutilización de los residuos (independiente de cual alternativa) es mejor que disponer en relleno sanitario, pero bajo el indicador de impacto metabólico, la presión generada al ambiente es mayor. Lo anterior viene dado por un mayor uso de áreas e infraestructura para lograr estos procesos de reincorporación de flujos. También se indica que, según categorías de impacto del análisis de ciclo de vida, la mejor alternativa es el compostaje para la generación de suelo, luego la generación de biogás y por último la transformación a bioetanol.

El último trabajo que será revisado en esta sección no tiene relación directa con metodologías del metabolismo urbano, pero tiene como objetivo principal comparar la huella de carbono de distintas ciudades en el mundo. En *Carbon footprints of 13 000 cities* [46], la huella de carbono 189 países fue estimada con información de Eora multi-region input-output (MRIO) database. En la Figura 2-8 notar que las huellas de carbono más altas se encuentran en países con poblaciones entre los 15 y 45 millones de habitantes (rango: medio-alto) y que las mayores huellas per cápita se encuentran en países con poblaciones entre los 5 y 20 millones de habitantes.

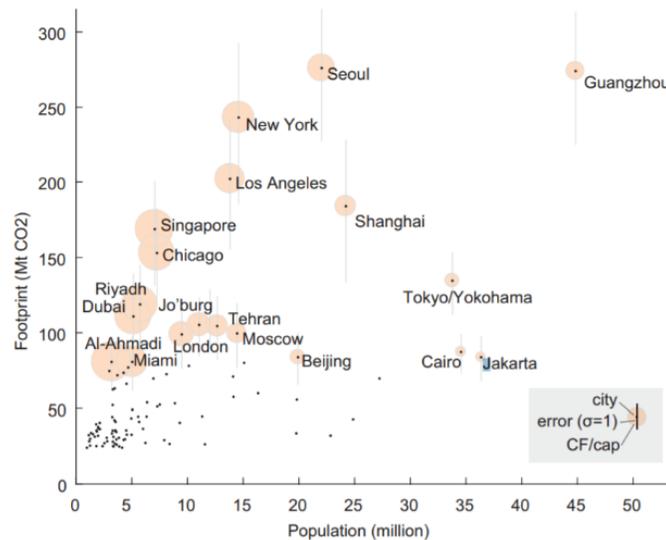


Figura 2-8 Huellas de carbono totales y per cápita para distintas ciudades del mundo. Área de cada círculo proporcional a la huella per cápita.

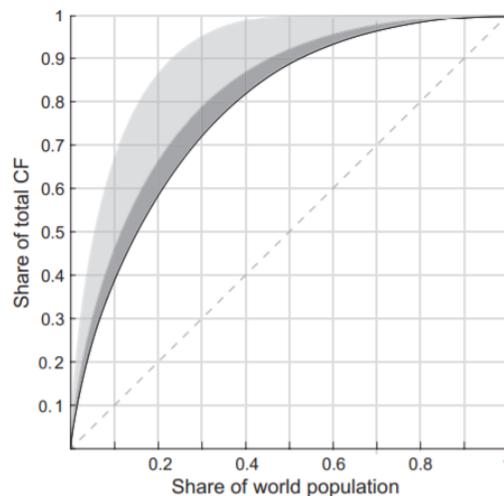


Figura 2-9: Porcentaje de huella de carbono mundial según porcentaje total de la población

Finalmente, en Figura 2-9 es posible observar que tan solo el 10 % de la población es responsable de entre el 40% y el 65% del total de las emisiones de CO₂ mundiales. Lo anterior muestra una clara distribución desigual de este promotor del cambio climático, donde las emisiones están mayormente concentradas en un solo sector de la población.

A continuación se presenta una tabla que resume los objetivos y resultados principales de cada uno de los trabajos:

Tabla 5: Barrido bibliográfico resumen para distintos trabajos relacionados con el metabolismo urbano

Titulo	Ciudad y periodo estudiado	Objetivos	Resultados principales	Método utilizado	Ref
The metabolism of a city: The case of Hong Kong	Hong Kong, China. Años: 1971 y 1997.	Estudia el comportamiento en el consumo de recursos para encontrar patrones en contextos de crecimiento económico, poblacional y urbanización.	Incremento en indicadores de uso per cápita de alimentos, agua y materiales por sobre el incremento poblacional.	No se indica.	[38] [39].
An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver	Metro Vancouver, Canadá. Año: 2006.	Cuantificar el consumo local de recursos materiales y energéticos para determinar la huella ecológica detrás del funcionamiento de la ciudad y comparar los resultados a escalas	La alimentación es el sector que más huella ecológica implica seguido por el transporte. El transporte es el que más huella de carbono aporta, seguido por las edificaciones.	Ecological footprint assesment. Principio de responsabilidad.	[41].

		globales.			
Trade, materials, flows and economic development in the south: The case of Chile	País: Chile Años: [1973-2000].	Estudiar el impacto del modelo de desarrollo neoliberal qué implicancias tuvo en los recursos naturales del país.	Durante el periodo 1970-1995 Chile presentaba déficit de stock material al exportar más de lo que importaba. La economía de la época está fuertemente acoplada a flujos materiales.	Economy wide material flow analysis (MFA).	[42].
Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study	Ciudad: Toronto, Canadá. Años: 1987 y 1999.	Determinar los impactos en el metabolismo de la ciudad debido a los cambios en la economía y crecimiento poblacional.	Las entradas de los flujos materiales y energéticos totales han incrementado a mayor tasa que las salidas para los años de estudio. Las políticas de gestión podrían ayudar a mejorar los indicadores de metabolismo.	Balances de masa y energía aplicados a los límites de la ciudad.	[43].
Metabolism of neighborhoods	Distintos periodos para distintas capas materiales.	Analizar el metabolismo de 4 vecindarios representativos de la ciudad de Toronto, Canadá. Utilizar resultados como herramienta de diseño de vecindarios más sostenibles.	Se destaca una mayor eficiencia energética en vecindarios de departamentos, consumo energético directamente relacionado a la distancia recorrida por habitantes. Se sugieren mejoras en la infraestructura de edificios que es dónde mayor energía se consume.	MFA, Balances de masa y energía.	[44]
Urban Metabolism of Recycling and Reusing Food Waste: A Case Study in Taipei City	Ciudad: Tapei, Taiwan. Años: 2004 y 2013.	Evaluar alternativas en la gestión de residuos orgánicos.	De las alternativas evaluadas, el compostaje es la mejor. Luego le sigue la conversión a biogás y finalmente a bioetanol.	Análisis de ciclo de vida (ACV) y MFA	[45]
Carbon footprints of 13 000 cities	Ciudades del mundo. Año: 2015.	Estimar la huella de carbono para 200 ciudades del mundo y relacionar los resultados con distintos parámetros económicos y poblacionales.	Se indica un acoplamiento entre los PIB de los países y sus huellas de carbono. Una pequeña población concentra una alta parte de las emisiones totales mundiales.	Gridded Global Model of Carbon Footprints	[46]

Como conclusión parcial, se puede notar que no existe una estandarización general en los trabajos revisados, sin embargo se repiten algunas características en términos de flujos a cuantificar y definición de límites. Las diferencias metodológicas de enfoques nivel 2 (Figura 2-1), la calidad de los datos utilizados y la baja declaración de criterios para determinar la información de las cuantificaciones podría conducir a resultados distintos y, por lo tanto, más que obtener el metabolismo puntual en un determinado momento, parece más adecuado realizar comparaciones en la evolución temporal del metabolismo y con otras ciudades.

2.4 Estructuración de una metodología propia:

Para la estructuración de la metodología propia se rescatan aspectos de las metodologías mencionadas anteriormente y de los estudios analizados. Se busca estructurar una metodología simple, que permita contextualizar y analizar la ciudad y sus parámetros urbanos relevantes. Además se busca desarrollar una lista de flujos materiales y energéticos más comunes en el metabolismo de una ciudad con el fin de facilitar la selección de aquellos que se deseen estudiar. Los aspectos que esta metodología debe incluir para cumplir con los objetivos son (considerando como sistema de estudio a Santiago, Chile):

- Dividir el metabolismo de la ciudad en capas materiales, en sus entradas y salidas.
- Debe ajustarse a un enfoque nivel 2.
- Incorporar variables demográficas como la población y densidad poblacional para estudiar su relación con el metabolismo.
- Estudiar la evolución temporal de los flujos de las capas materiales y energéticas.
- Estudiar sustancias contenidas en las capas materiales y que tengan relación con algún ciclo biogeoquímico, por ejemplo: carbono, nitrógeno, oxígeno, etc.
- Incorporar información del contexto urbano que sirva como base para la formulación de mejoras al estado metabólico de la ciudad. Por ejemplo: Temperatura promedio anual para evaluar el diseño de reactores de digestión anaeróbica para reincorporación residuos orgánicos (en ciudades muy frías sería menos eficiente que en ciudades más cálidas).

Teniendo en consideración lo anterior, la metodología definida para desarrollar este trabajo consistirá en los siguientes pasos:

1. Definición de objetivos, límites espaciales y límites temporales del sistema de estudio.
2. Definición de alcances y limitaciones del estudio.
3. Caracterizar el caso de estudio a través de sus aspectos urbanos relevantes: población total, densidad poblacional, áreas urbanas, áreas verdes, zonas vegetaciones, clima, actividades industriales principales, fuentes de energía, abastecimiento alimenticio, formas de transporte, gestión de residuos, gestión de agua.
4. Elegir capas materiales que se estudiarán de la tabla de entradas y salidas según los objetivos del estudio.

Tabla 6: Tabla de distintas capas materiales y energéticas para el estudio del metabolismo urbano. Elaboración propia.

<i>Flujos de entrada</i>	<i>Flujos de salida</i>
<i>Energía</i>	
Gas natural.	Emisiones de CO ₂
Combustibles fósiles para automóviles.	Emisiones de CH ₄
Combustibles fósiles para barcos	Emisiones MP
Combustibles fósiles para aviones.	Emisiones NO _x
Carbón.	Emisiones VOC
Electricidad y pérdidas.	Otras Emisiones

Materiales	
Importaciones totales	Residuos sólidos municipales
Cemento	Residuos sólidos industriales
Hierro	Residuos líquidos municipales
Químicos	Residuos líquidos industriales
Cobre	Exportaciones
Plásticos	
Biomasa	
Alimentos totales	Residuos sólidos municipales
Biomasa forestal	Residuos sólidos industriales
Biomasa combustible	Residuos líquidos municipales
Pesca – Biomasa marina	Residuos líquidos industriales
Agua	
Agua superficial	Residuos líquidos municipales
Agua subterránea	Residuos líquidos industriales
Agua total	

5. Elección de algún elemento con un ciclo biogeoquímico que se componga con los flujos de las capas materiales. Por ejemplo: carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, etc
6. Realizar diagramas que muestren los sectores y las actividades urbanas que gatillan aquellos flujos. Categorizar la ciudad en los siguientes sectores: residencial, comercial, público, industrial y transporte.
7. Recolección de información y cuantificación de las distintas capas materiales seleccionadas para las entradas y salidas.
 - a. Calcular o recolectar la información correspondiente a los flujos materiales y/o energéticos relacionados a las capas materiales del paso 4.
 - b. Cuantificar la cantidad de sustancia (del paso 5) contenida en los flujos.
8. Definir, calcular y proyectar indicadores de consumo y rendimiento en función de los aspectos urbanos del paso (3).
9. Interpretación y presentación de resultados.

Con estos 9 puntos queda definida de forma general la metodología a seguir con la que se procede a analizar al caso de estudio. A diferencia de las otras metodologías estudiadas, esta estructura incorpora un análisis del contexto urbano mucho mayor bajo la lógica de que las variables urbanas de la ciudad podrían ser grandes contribuyentes al metabolismo urbano. De igual manera, se construye bajo la lógica de un enfoque nivel 2, siendo el foco de atención los flujos y los sectores responsables de ellos. Por último, esta metodología se diferencia con las otras al momento de analizar los flujos porque se espera tener una evolución anual de los flujos analizados para estudiar tendencias con intervalos de tiempo anuales y, además, busca concentrar el estado del metabolismo en términos de flujos de carbono. Los flujos de carbono servirán como elemento comparativo y un indicador sobre la intensidad del metabolismo de la ciudad.

3 Caso de estudio: Santiago de Chile.

A continuación se presenta el desarrollo de los pasos de la metodología estructurada en la sección anterior. Se definen los objetivos del estudio, límites y alcances, se introduce el caso de estudio, se describe la ciudad en sus aspectos urbanos, se definen las capas materiales y/o energéticas cuantificadas y se presentan diagramas de flujo de las distintas capas.

3.1 Definición de objetivos del estudio, límites espaciales, límites temporales y alcances generales

o se mencionó anteriormente, el objetivo de este trabajo es evaluar el metabolismo urbano de la ciudad de Santiago de Chile para distintos periodos anuales. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Describir el funcionamiento de la ciudad de Santiago a través de un análisis de sus aspectos demográficos, climáticos, económicos y de transporte.
- Cuantificar el metabolismo urbano del carbono de acuerdo con las distintas actividades urbanas. Definir capas materiales o energéticas y calcular los flujos de entrada y salida para distintos periodos de tiempo (años).
- Evaluar los resultados del metabolismo de los distintos años a través de indicadores de intensidad per cápita e indicadores con componentes urbanas.
- Comparar la ciudad de Santiago con otras ciudades del mundo para identificar los puntos críticos del metabolismo de Santiago y proponer mejoras concretas que mejoren el rendimiento de la ciudad.

Los límites espaciales y temporales que se considerarán para el desarrollo del trabajo quedan definidos en los siguientes puntos:

- Se buscará analizar los flujos urbanos del Gran Santiago. Las comunas que se incluirán como parte del Gran Santiago son aquellas que cumplan con los requisitos de la metodología de pertenencia a núcleos urbanos de la OCDE. Según el instituto de estudio urbanos y territoriales de la UC [47], las que cumplen con los requisitos son: Santiago, 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, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Vitacura, Puente Alto y San Bernardo. Se dejarán fuera las comunas de Padre Hurtado, Peñaflor, San José de Maipo y Pirque por no cumplir con los requisitos.
- Se fijarán límites temporales máximos para la recopilación de información. En la medida de lo posible, los flujos de los que se realizará investigación deben estar comprendidos entre los años 2000 y 2020 con el fin de tener información precisa y continua.

Por último, algunos alcances generales y limitaciones que se tienen en el estudio son las siguientes:

- Se cuantifican los flujos teniendo en consideración el principio de responsabilidad, es decir, los flujos que los sectores de la ciudad demandan para cumplir con sus funciones.
- Solo se consideran flujos directos. Lo anterior implica que solo será cuantificada la cantidad de masa o energía contenida en el flujo descrito y no se considerarán flujos indirectos. Un ejemplo de flujo indirecto sería la cantidad de energía eléctrica que se utilizó para la generación de 1 kilo de lentejas consumidas por la población de Santiago.
- No se evalúan todas las capas materiales y energéticas de un estudio acabado de metabolismo urbano, eligiéndose solo las que parezcan más relevantes según el análisis de los aspectos

urbanos.

- El sector residencial o doméstico está compuesto por los consumos o emisiones generados directamente por la población o desde sus hogares. Por ejemplo: Consumo eléctrico de los hogares, uso de combustibles para estufas domésticas, etc.).
- El sector comercial está compuesto por los consumos generados por distintas actividades comerciales, públicas o privadas. Por ejemplo: Bancos, centros comerciales, etc.
- El sector público está compuesto por los consumos o emisiones generadas por sectores públicos como plazas, alumbrado público, parques, etc.
- El consumo industrial hace referencia al consumo industrial directo. Por ejemplo: gas natural utilizado por las industrias para las operaciones, electricidad utilizada por las industrias, etc.
- El sector transporte hace referencia al consumo, principalmente de combustibles, para el transporte público o privado. Por ejemplo: Autos, buses, etc.

3.2 Caracterización del caso de estudio

Santiago, capital de Chile, se encuentra ubicada en la Región Metropolitana de Chile y cuenta con 6 provincias y 52 municipios. La distribución administrativa contempla 3 niveles de organización, región >provincia >comuna. En el Anexo E y Anexo F se presenta una tabla con las 52 comunas presentes en esta región, sus respectivas provincias y distintos parámetros poblacionales. En esta región se concentra el 40,5% de la población total del país, alcanzando la cifra de 7.112.808 de habitantes en el 2017 sin considerar su población flotante (aquella parte de la población que reside en la región por un determinado tiempo, pero no está declarada en el censo) [48]. Del total de la población de la región, cerca del 86% se encuentra ubicado en el Gran Santiago. Durante los últimos 40 años el crecimiento poblacional de la Región Metropolitana ha ido aumentando a un nivel relativamente constante, alcanzando un aumento promedio del 4.7% anual. De esta misma forma, el porcentaje de población urbana dentro de la región alcanzó el 96% para el año 2017, siendo así la región más urbanizada del país [48]. A continuación se presenta un detalle de los aspectos urbanos más relevantes de la ciudad.

3.3 Descripción de aspectos urbanos relevantes

A continuación se presenta un análisis del contexto urbano del Gran Santiago. A diferencia de la mayoría de los trabajos revisados, en este caso se analiza con mayor nivel de detalle los distintos elementos que componen la ciudad con el fin de explorar otras variables que no han sido estudiadas en trabajos de metabolismo urbano previos. Por ejemplo, en este análisis se explora levemente el elemento de vegetación urbana, su efecto, cuantificado, en el metabolismo. Además, como se pretende elaborar escenarios que mejoren el estado metabólico de la ciudad, se exploran variables como clima o gestión de residuos con el fin de elaborar propuestas que tengan un mayor respaldo contextual.

3.3.1 Organización y parámetros sociales.

Al 2017, el Gran Santiago y sus 34 comunas dentro del núcleo urbano principal sumaban una población total de 6.119.725 de habitantes según el censo realizado por el INE [48], sin considerar la población flotante. De esta misma forma, en el año 2002 se reportaba una población de 5.613.816 según el mismo organismo[49], evidenciándose un aumento de población del 9%. Los otros estudios censales realizados para el país han sido para los años 1992, 1982, 1970 y periodos más antiguos a los que no se le pondrá atención por estar fuera de los alcances. A pesar de lo anterior, no existe información exacta que reporte la población año a año entre periodos intercensales y, por lo tanto, para este trabajo se utilizarán proyecciones de población para periodo 2002-2035 realizadas por el INE con base al año 2017 en las 34 comunas estudiadas con base 2017 [50]. Los valores de población del periodo 1970-2017 y las

proyecciones 2002-2035 se encuentra en los Anexo Gy Anexo H.

Las proyecciones realizadas por el INE para el periodo 2002-2035 difieren con los valores de población informados en los censos del 2002 y del 2017, mostrando resultados mayores. Es por esto que para tener un valor de población comunal que se ajuste a los valores reales para el periodo 2002-2021, se procederá a ajustar la información en función de la población censada en los años 2002 y 2007 a través de un ponderador. Los factores de ajuste se calculan como la razón entre el valor real y el valor de la proyección, tal que los valores anuales por comuna proyectados se ponderen por este número y la población se ajuste al reportado por cada censo respectivamente. Un ejemplo de cálculo de los factores de ponderación y los valores de población por comuna ajustados se presentan en el Anexo .

Como también forma parte de las variables urbanas relevantes, se estima la densidad poblacional que tiene cada comuna dentro del Gran Santiago para tener información con la que calcular los indicadores de rendimiento que se evaluarán más adelante. Los valores reportados de densidad poblacional de Santiago son relativamente constantes y cercanos a los 460 [hab/km²] [51], sin embargo, en este trabajo se utilizará un cálculo de densidad poblacional variable anual. Para lo anterior, se considera la población total de cada comuna y el área total (variable) para cada año, obtenidas con la herramienta INE Mapas[52]. Los valores de área actualizados solo se encuentran para el total del Gran Santiago y no por comuna. Debido a lo anterior, en el Anexo I se presentan los valores de densidad poblacional total del Gran Santiago con área variable y la densidad poblacional por comuna con área constante e igual a la reportada en el censo del 2017. Los valores de densidad total se mantienen relativamente constantes y cercanos a 800 [hab/km²]

Además, valores de área total, áreas verdes (plazas, parques públicos, rotondas, áreas deportivas, cementerios parque, bandejones, bordes de río, etc.) y la cobertura arbórea (área cubierta por árboles o arbustos por cada hectárea) por comuna se recopilan para revisar posibles relaciones entre estos valores y la intensidad de los flujos del metabolismo urbano. Por ejemplo, se ha reportado desde distintas fuentes que una mayor cantidad de árboles en las zonas urbanas podría generar una reducción en el consumo de los recursos energéticos por distintos efectos de control sobre la radiación [53] [54] [55]. El detalle de los parámetros se presenta el Anexo J.

3.3.2 Clima

Tal como se mencionaba en el capítulo I, el cambio climático en las ciudades representa una nueva preocupación al verse aumentada la frecuencia de eventos extremos, generando condiciones desfavorables para el funcionamiento normal de una ciudad. En particular, para la Región Metropolitana y el Gran Santiago, es conocido que los episodios de lluvias intensas generan distintos problemas como anegamientos, cortes de tránsito o activación de quebradas [56][57][58], sin mencionar aquellos relacionados con el calor y la temperatura. Es por lo anterior que es relevante conocer los aspectos climáticos de la ciudad desde una perspectiva del metabolismo urbano con el fin de comprender de mejor forma cómo manejar estos eventos y poder utilizarlos para el beneficio urbano. Cambios importantes en el clima de la zona podrían afectar directamente a los flujos de agua o energía que son utilizados en la ciudad. Por ejemplo, se esperaría que en ciudades con temperaturas promedios bajas o altas se consumiera mayor energía por el sector residencial debido a calefacción o acondicionamiento respectivamente, mientras que ciudades con temperaturas promedio templadas podrían evitar estos consumos.

El clima característico que predomina en la región es de tipo mediterráneo al tener estaciones secas largas e inviernos lluviosos. Las precipitaciones en la zona son más frecuentes mientras más cercanos a la costa y a la cordillera de Los Andes, disminuyendo la intensidad entre ambas y marcándose así dos líneas bioclimáticas características en la región. Históricamente, las temperaturas promedio se han encontrado

entre los rangos de 22,1 [°C] para enero, el mes más cálido y una mínima igual a 7,7[°C] para julio, el mes más frío. La característica principal de este clima en la región son los periodos secos prolongados con temperaturas por sobre los 30 [°C] y los periodos fríos con temperaturas cerca de los 0 [°C] y eventos lluviosos ocasionales. El promedio de temperatura anual en el año es de 14 [°C] [59]. Se puede notar que en los últimos 10 años, los máximos se encuentran entre los 34 y 40 [°C] mientras que los mínimos se encuentran entre los 0 y -5 [°C]. En el Anexo K se presentan las variaciones de temperatura anual para el periodo 2010-2020 y las temperaturas mensuales para el periodo 2010-2020 graficadas.

Por otro lado, las precipitaciones en la región son poco ocurrentes, caracterizando a la zona con pocos eventos de lluvia (menos de 5) entre los meses de noviembre y mayo y mayores eventos de lluvia (5 o más eventos) entre los meses de junio y octubre[60]. A pesar de lo anterior, en los últimos 10 años, la precipitación total anual se ha encontrado bajo la línea normal de precipitación (promedio histórico), resultando en superávit negativos desde el año 2009. En el Anexo L se presenta un gráfico elaborado por la Dirección Meteorológica de Chile que muestra las precipitaciones totales anuales para el periodo 1967-2020 [61] destacando la baja en precipitaciones totales anuales en el último periodo. Además, se muestra una comparación de la precipitación del año 2021 en comparación al promedio histórico (año normal). En caso de seleccionar alguna capa material relacionada con el agua, estos factores se deben tener en consideración con el fin de incorporarlos en la cuantificación de flujos.

3.3.3 Actividades industriales principales, comercio y economía

En el Gran Santiago se encuentran distintos tipos de actividades de servicio, industriales y de comercio. El PIB de la Región Metropolitana es de los más altos en el país, aportando cerca del 43% de forma constante durante el periodo 2013-2019 a pesar de tener solo el 40% de la población total (ver Anexo N para más detalle). Dentro de la Región Metropolitana y durante todo el periodo 2013-2019 más del 50% del PIB regional ha sido aportado por lo sectores de Servicios financieros y empresariales, comercio, restaurantes, hotelería y los servicios personales. Más atrás en el aporte porcentual vienen actividades como la industria manufacturera, transporte, telecomunicaciones, servicios inmobiliarios y con menos del 10% la minería y servicios de electricidad y agua. El detalle de lo anterior se observa en la Figura 3-1, elaborada con información del Banco Central [62].

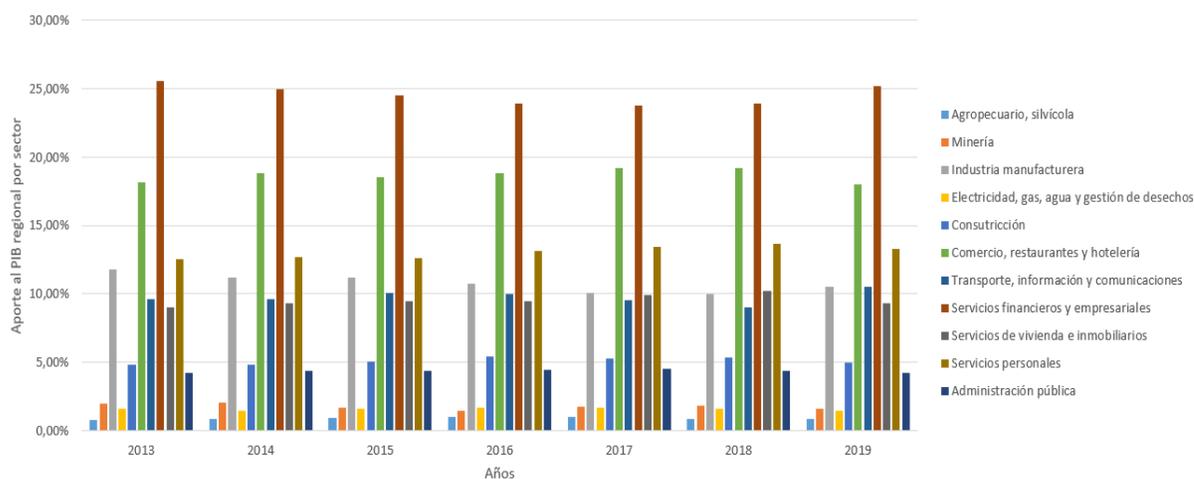


Figura 3-1: Aporte porcentual al PIB regional por sector económico. Elaboración propia con datos del banco central [62].

Se destaca de la matriz económica de la Región Metropolitana el gran dinamismo que esta posee y que la incidencia del sector industrial al PIB (industria manufacturera, electricidad, gas y agua, agropecuario y

silvícola y minería) no superan el 15%, indicando que no existe, en la actualidad, una predominancia industrial en la zona. Lo anterior sugiere que la economía de la región está mayormente basada en servicios y no en actividades industriales directas, por lo que la presión ambiental directa en la zona podría no ser tan alta en comparación con regiones más industrializadas. A pesar de lo anterior y aplicando una mirada de ciclo de vida, sectores como financiero, servicios personales y comercio promocionan y demandan directamente otras industrias productivas y por lo tanto también serían parte de una economía no completamente desacoplada de impactos. Como conclusión parcial, el Gran Santiago tiene presencia industrial, pero esta no es la actividad económica predominante en la zona, sino los servicios. Lo anterior podría ser reflejo de un metabolismo no tan acelerado en comparación con otras ciudades más industrializadas. Es importante destacar que ha sido reportado por distintos autores los niveles de emisiones de CO₂ podrían estar acoplados a los niveles del PIB. En el Anexo M se muestra un gráfico con las variaciones nacionales del PIB y las emisiones y es posible notar un tal acoplamiento [63][62].

3.3.4 Transporte

El transporte público en la ciudad es relevante porque corresponde al sector que sustenta la movilidad de los habitantes en la ciudad y la interconexión dentro del sistema. Representa una actividad urbana intensiva en el uso de recursos energéticos ya que diariamente se deben conectar cerca de 800 [km²] de superficie. La red de transporte está compuesta por 6 empresas de buses, el metro y el tren central, contando con 7279 buses, 235 trenes de metro y 16 trenes respectivamente. Con respecto al metro, este tiene un recorrido de 140 km, está presente en 29 de 34 comunas del Gran Santiago y atiende a cerca de 2,7 millones de habitantes diariamente [64]. Por otro lado, el sistema de buses cuenta con una flota de 7279 buses, de los cuales 386 son eléctricos (iniciados el 2017), 610 cumplen con el estándar *Euro VI* (menores emisiones de NO_x y MP) y el resto buses estándares. Tiene un recorrido anual programado de 424,2 [km] y atiende diariamente alrededor de 2.646.880 personas [64]. Según el informe de gestión de transporte del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, el año 2019 en total se recorrieron 579,7 miles de millones de kilómetros, con un máximo anual de 5,8 millones de personas atendidas y un promedio de 3,7 millones diariamente [64], lo que representa a casi el 60% de la población.

Por otro lado, el transporte privado se caracteriza principalmente por el uso de automóviles, station wagon, todoterreno tipo jeep, furgones, minibuses, camionetas, motocicletas, transporte colectivo como taxis, taxi buses, furgones, etc. También se consideran dentro de esta categoría los vehículos de carga, tales como camiones, tractores, tractocamiones y tractores agrícolas. El uso de bicicletas también es característico para el transporte privado, pero no presenta un problema en este trabajo ya que no desencadena el uso de recursos energéticos como si lo hacen los vehículos motorizados. Según información del INE, solo en la Región Metropolitana, el número de autos registrados a través del permiso de circulación en los últimos 3 años (2018, 2019, 2020) alcanzan un promedio de 2.176.299 de vehículos [65]. Del transporte es importante cuantificar los flujos de combustible y electricidad consumidos para permitir su funcionamiento ya que en general representan una de las actividades de mayor intensidad urbana.

3.3.5 Fuentes de energía

Las fuentes de energía primaria en Chile están compuestas por fuentes de energía naturales, como la energía hidráulica, solar, leña, otros vegetales, petróleo, carbón, geotermia, entre otras. Para el año 2019, la matriz energética primaria completa del país había ascendido a un total de 1.446.187 [TJ] [66], acercándose a la producción energética de países como Colombia, República Checa, Qatar [67]. La composición de la matriz energética primaria es presentada en la Figura 3-2 y se observa que cerca del

68% de esta está compuesta por recursos fósiles y más del 93% son energías en base al carbono. Lo anterior indica que el uso de energía es alto en emisiones de gases de efecto invernadero o compuestos con carbono.

Luego de la matriz energética primaria se encuentra la matriz energética secundaria. Esta última corresponde a el uso final de la energía primaria, correspondiendo a los productos que se obtienen luego de distintas transformaciones. Los principales productos obtenidos la electricidad, productos petroleros, derivados del carbón y biocombustibles. Al año 2019, el consumo final de energía ascendió a las 301.629 [Tcal][66].

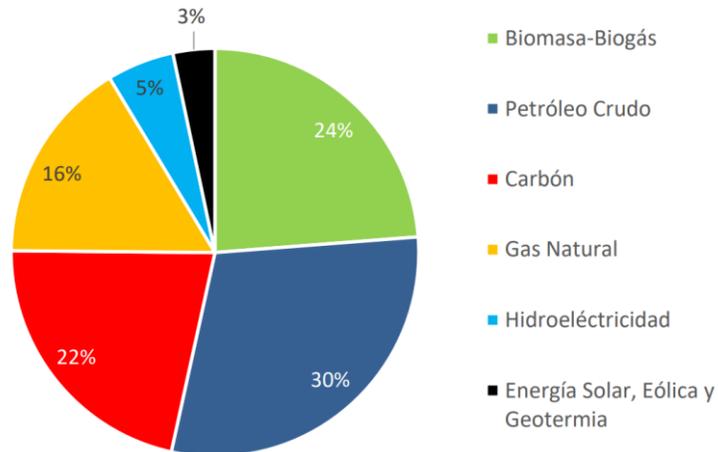


Figura 3-2: Composición porcentual de la matriz energética primaria de Chile [85].

Por otro lado, la matriz eléctrica chilena corresponde a todas las fuentes proveedoras de energía para la producción de electricidad (distinta de la matriz energética primaria). Esta está compuesta por hidroeléctricas de embalse (11,9%) y de pasada (12,1%), biomasa (1,5%), energía eólica (9,9%), solar (17,8%), geotérmica (0,2%), gas natural (17,6%), carbón (17,8%) y derivados del petróleo (11,3%), alcanzando un total de 29.495 MW de potencia instalada al 2019 y concentrando el 58% del consumo energético final mencionado en el párrafo anterior [68]. A pesar de lo anterior, la producción real de energía no es necesariamente acorde con la capacidad instalada. En la Figura 3-3 se observa la generación bruta del servicio eléctrico nacional y el aporte de cada una de las fuentes.

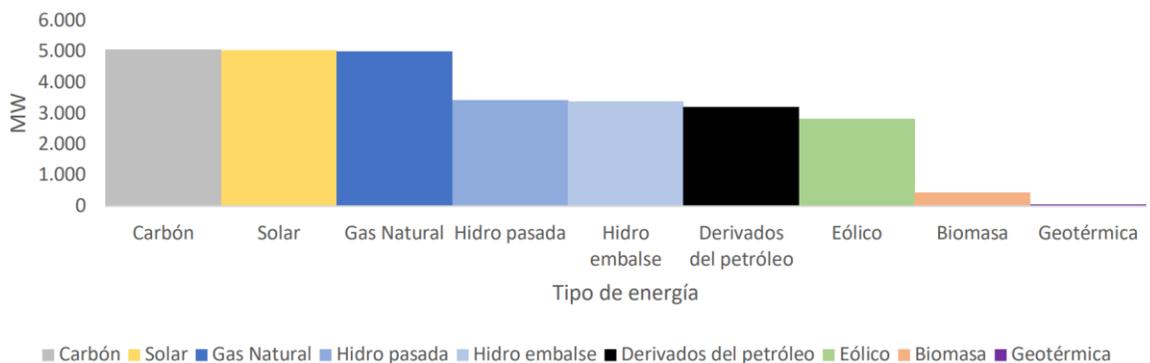


Figura 3-3: Generación bruta del SEN por tipo de fuente de generación. Total acumulada al mes de julio 2021 [85].

3.3.6 Alimentación

La alimentación y todo lo relacionado a ella se podría considerar como otro aspecto urbano relevante. Esta corresponde a una de las actividades primordiales para el funcionamiento de la ciudad, convirtiéndose en la causante de importantes flujos de entrada directa como los alimentos o flujos de salida directa en residuos o aguas servidas. Debido a lo anterior, resulta importante tener una noción del funcionamiento de esta actividad a nivel nacional, regional y local.

Según la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, la superficie total de suelos cultivados en el país es de 2.123.943 [ha] compuestas mayoritariamente por cultivos de trigo, avena, maíz, arroz, cebada, otros cereales, tubérculos, leguminosas, frutas, hortalizas, cultivos para vinificación y cultivos industriales [69]. Lo anterior posiciona a Chile como uno de los 15 mayores exportadores agrícolas del mundo con alta presencia en mercados de arándanos, cerezas, uvas, ciruelas, manzanas, salmón, vino, frambuesas e inulina [70], traducándose en un importante intercambiador de flujos de materia. Dentro de la Región Metropolitana, el sector agropecuario y silvícola aportaba tan solo el 0,83% del PIB regional en el 2018, indicando que económicamente la producción primaria de alimentos no es una actividad predominante en la zona [71]. Al tener tan baja participación en lo económico, se podría considerar que la mayoría los alimentos consumidos en la zona son adquiridos desde otras regiones del país o son importados desde otros países, transformando de alguna forma al Gran Santiago en un importador de flujos de alimentos.

El INE [72] indica que los alimentos que son consumidos con mayor frecuencia en el país son el pan, las bebidas gaseosas, la carne de vacuno, el tomate, huevos, carne de pollo, papas y similares, leche, yogurt y lechuga. Tener en cuenta lo anterior podría facilitar un listado de elementos o flujos que ingresan a la ciudad.

Una de las problemáticas existentes con respecto a la red de alimentos es la pérdida y desperdicio de alimentos. Según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), se estima que cerca de 1/3 de los alimentos producidos a nivel mundial son desperdiciados durante su producción, transporte, centros de distribución, venta o finalmente en los hogares [73]. A pesar de que no existen investigaciones a gran escala sobre el total de alimentos desperdiciados en Chile, distintas entidades se han encargado de iniciar el camino hacia una producción más eficiente y realizar esfuerzos por estimar los flujos asociados a las pérdidas.

En los últimos años se han comenzado a realizar políticas públicas con respecto al desperdicio de alimentos con el fin de mejorar la situación. Desde agosto del 2020 se encuentra en trámite un proyecto de ley que evita el desperdicio de alimentos, disponiendo que establecimientos comerciales donde se vendan alimentos deban ofrecer a sus clientes la opción de llevarse los alimentos no consumidos. Además, prohíbe la destrucción de alimentos no comercializables pero sí aptos para consumo, obligando a supermercados de más de 100 [m²] donar alimentos con envases defectuosos o cercanos a su vencimiento [74]. Con lo recién mencionado, los alimentos forman parte de la composición de los flujos de desecho o de salida en la ciudad. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante notar que esta información pueda estar considerada dentro del total de los “residuos orgánicos” dispuestos en rellenos sanitarios y por lo tanto se debe tener en consideración para evitar dobles conteos.

3.3.7 Residuos sólidos y su gestión.

En el país, la gestión de los residuos sólidos municipales o provenientes de los sectores residenciales, públicos o comerciales están bajo la responsabilidad de cada municipio y, por lo tanto, cada comuna tiene la labor de garantizar esta tarea. Por su parte, los residuos industriales deben ser gestionados de forma particular, pero pueden ser destinados a los mismos lugares que los residuos municipales si es que estos cumplen la determinada normativa. La mayor parte del retiro de residuos es llevada a cabo con el uso de camiones que recorren las distintas comunas recolectando los desechos, transportándolos

directamente a los rellenos o dejándolos en estaciones de transferencia en tren, tal como ocurre en la mayoría de la Región Metropolitana. La mayoría de esos flujos son sólidos y son recibidos por los rellenos sanitarios, vertederos o basurales y representan una salida de carbono significativa al tener en su composición residuos orgánicos. Hasta el 2017, según el quinto reporte del estado del medio ambiente, la gestión de residuos municipales en la Región Metropolitana tiene un 95% de recolección y gestión adecuada (en masa). Lo anterior significa que el 95% de los residuos generados en esta región tienen disposición final en instalaciones autorizadas de rellenos sanitarios y el resto en basurales no autorizados.

En la Región Metropolitana existen operativos activos 4 rellenos sanitarios y un vertedero, siendo los rellenos los que reciben casi el total de los residuos de las distintas comunas de la región. Es de interés considerar los rellenos sanitarios como un punto clave del metabolismo urbano debido al potencial energético que poseen en la generación de biogás durante su operación pero particularmente porque reúnen parte importante de las salidas sólidas y de carbono de la ciudad. En el Anexo O se presenta un detalle de cada uno de los rellenos sanitarios activos que atienden a las comunas del Gran Santiago. Según KDM , principal empresa receptora de residuos en Santiago, la composición media de estos flujos son un 49,2% de materia orgánica o restos de alimento, 13,5% de papel y cartón, 4,2% de escorias o cenizas, 10,1% de plásticos, 2,0% de textiles, 1,8% de metales, 4,0% de vidrios y otros residuos en un 14,7% [75]. Otros informes indican que la composición varía y que podría cambiar según el nivel de ingresos o periodos y épocas del año (verano o invierno) [76].

3.3.8 Agua y su gestión

Santiago se encuentra ubicado al centro de la hoya hidrográfica cuenca Santiago. Los recursos hídricos que esta provee provienen de la cuenca del Río Maipo y se pueden extraerse desde fuentes superficiales o subterráneas[77]. Considerando las comunas mencionadas previamente en los alcances, el Gran Santiago cuenta con alrededor de 29 plantas de tratamiento de agua potable y con 11 plantas de tratamiento de aguas servidas, todas de operación y administración privada y enfocadas en el suministro de agua residencial [29][78]. Estas están encargadas de la captación y potabilización del agua para la mayoría de los usos dentro de la ciudad. A pesar de lo anterior, la extracción de agua directa desde las distintas fuentes (entrada al sistema urbano) ocurre por parte del sector industrial, por parte de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) para consumo urbano, industrial o comercial y por extracción directa para uso en parques o zonas vegetacionales. De esta misma forma, las salidas de agua residual (salidas del sistema urbano) pasan principalmente por las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) o directamente desde el tratamiento de residuos industriales líquidos hacia los cuerpos receptores (ríos, esteros, canales, lagunas, riego, etc).

El agua es relevante en un estudio de metabolismo urbano debido a que corresponde a uno de los recursos principales para el funcionamiento de cualquiera de los sectores urbanos, industrial, comercial o residencial. Además, en las salidas de agua del sistema, existe presencia de materia carbonífera debido a que esta actúa como vector de flujos y por lo tanto es importante para conocer cuánto carbono deja del sistema a través de esta vía.

Un diagrama que ayuda a visualizar lo anterior es realizado por Gormaz y compañía en el trabajo *A multi-objective optimization model to plan city-scale water systems with economic and environmental objectives: A case study in Santiago, Chile*.

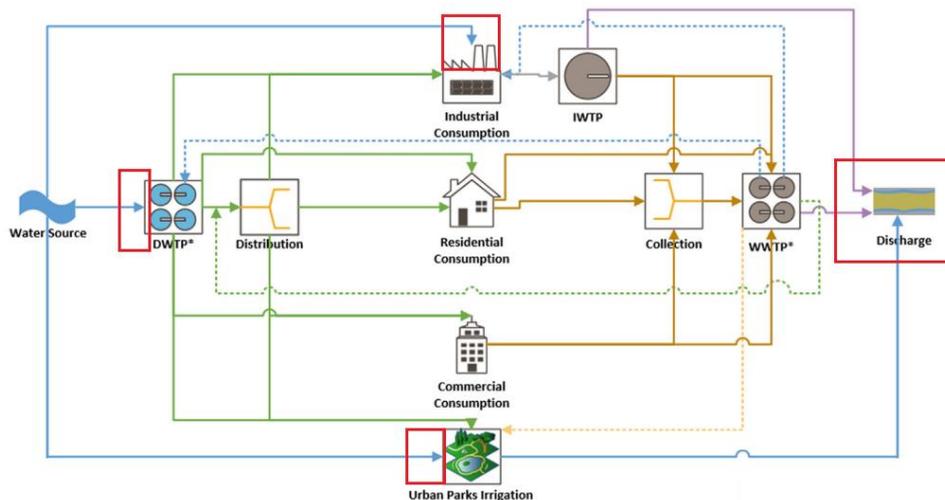


Figura 3-4: Red de agua de una ciudad. Ajustado desde [29]

Se destaca de la figura las zonas encerradas por recuadros rojos. Aquellos nodos y flujos serán los de interés para este estudio al ser las principales entradas y salidas, y por lo tanto, será en estos lugares donde se realizará búsqueda bibliográfica para la recolección de datos. Un detalle de todas las plantas de tratamiento de agua potable y agua servida se presenta en Anexo PAnexo .

3.3.9 Conclusiones parciales

Del análisis realizado a la ciudad de Santiago se rescatan los siguientes puntos principales:

- Tiene una población mayor a 5 millones de habitantes, con una proyección de alcanzar más de 10 millones para el 2035. Además, si bien el área construida va incrementando, la densidad poblacional también es un parámetro que ha ido en incremento constante desde al menos el año 2006 por el incremento poblacional. En comparación con otras megaciudades, el valor de densidad poblacional del centro urbano Gran Santiago se encuentra en un rango medio comparativamente con otras megaciudades [3].
- Es una ciudad con baja proporción de áreas verdes. La ONU recomienda un mínimo de 9 [m²/hab] [54] mientras que el promedio en el Gran Santiago es solo de 4 [m²/hab]. Lo anterior se puede traducir a una zona con bajos niveles de vegetación.
- Tiene un clima mediterráneo, con altas temperaturas en épocas de verano y pocos episodios de precipitaciones. Lo anterior es relevante por la poca seguridad del acceso a este recurso en los próximos años.
- La principal actividad económica son los servicios financieros, el comercio y luego la industria manufacturera con una menor participación.
- Posee una red de transporte amplia, con buses y trenes (metro) eléctrico y buses convencionales de combustible fósil. A pesar de lo anterior, la tasa de motorización equivale a 1 auto por cada 3,7 habitantes en promedio hasta el año 2020.
- Posee una red de gestión de residuos eficiente (recolección del 95%) y una disposición final solo en rellenos sanitarios.

Con lo anterior se desprende que, al ser una ciudad con gran aporte económico, la energía puede ser uno de los flujos más intensivos del metabolismo. Además, el transporte es un aspecto importante de la ciudad por la gran cantidad de autos y amplia red de transporte pública que existe. Si bien no se pudo mucha información respecto a la alimentación, es muy probable que también sea uno de los flujos relevantes ya que Chile se posiciona como el segundo país latinoamericano con mayor tasa de

generación de residuos [79] y cerca del 50% de estos es residuos orgánico o restos de alimentos.

3.4 Caracterización del metabolismo urbano.

Las capas se entenderán como las macro categorías de elementos materiales y energéticos que componen el metabolismo de la ciudad y que permiten su funcionamiento. En la Figura 3-5 podemos observar un diagrama de las capas y sus componentes: materiales generales, biomasa, energía y agua. Las capas energéticas o materiales, representadas por los polígonos de colores, tienen interacciones con algún servicio ecosistémico que permite la entrada de flujos hacia la ciudad. Una vez dentro, los flujos se reparten entre las distintas subcomponentes o sectores que componen cada capa (puntos negros en la figura) para, luego de ser utilizados, salir del sistema. Adicionalmente, las capas pueden interactuar entre ellas, intercambiando flujos y generando relaciones de funcionalidad o dependencia. En este trabajo no se analizarán las interacciones entre las capas, solo se analizarán los flujos que entran y salen de las capas que sean seleccionadas. Adicionalmente, los puntos negros mostrados en la figura representarán a los sectores industriales, transporte, comercial, público y residencial, sin embargo, estos podrían ser definidos como cualquier nodo de interacción relevante con los flujos estudiados en la ciudad.

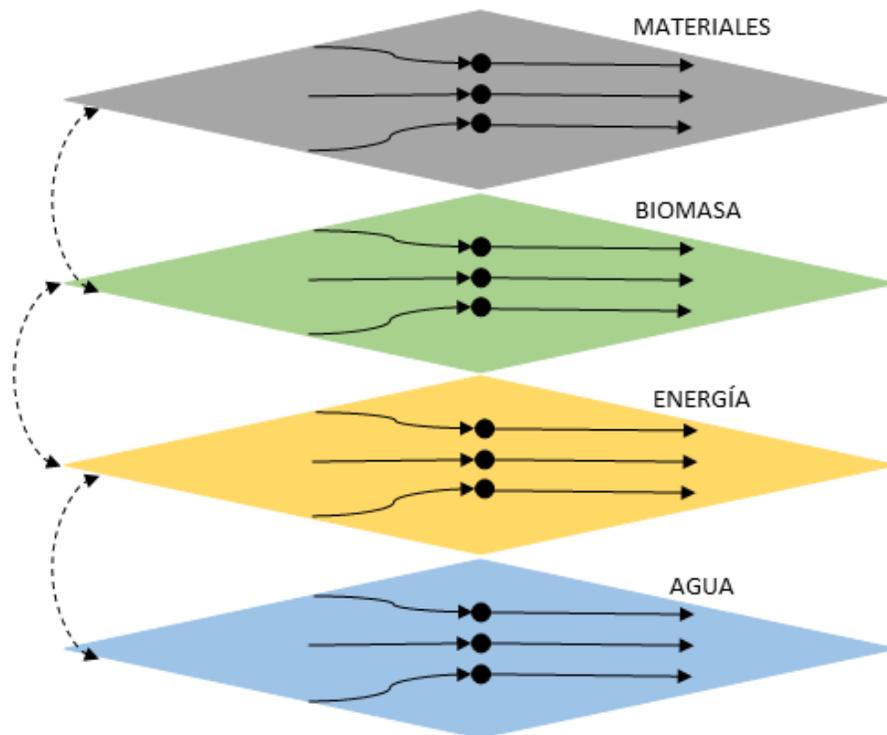


Figura 3-5: Diagrama de capas materiales y energéticas que componen el metabolismo de la ciudad. Elaboración propia

En esta sección se eligen las capas materiales/energéticas según las mostradas en la Tabla 6 y la respectiva elaboración de diagramas de flujo para la comprensión del metabolismo. Como fue expuesto en la sección anterior, el Gran Santiago está caracterizado por ser una zona con alta actividad económica comercial y de servicios, con una importante actividad de transporte público y privado y la presencia de los rellenos sanitarios más grandes del país. Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que se quiere poner especial foco en el carbono para utilizarlo como elemento comparativo, las capas que debiesen ser consideradas son energía y biomasa. Es por lo anterior que las capas materiales que se priorizarán en este estudio serán la energía (combustibles fósiles principales y energía eléctrica) y biomasa: alimentos.

Tabla 7: Tabla de distintas capas materiales y energéticas para el estudio del metabolismo urbano. Elaboración propia. En celeste los flujos que han sido seleccionados para ser cuantificados.

<i>Flujos de entrada</i>	<i>Flujos de salida</i>
Energía	
Gas natural.	Emisiones de CO ₂
Combustibles fósiles para automóviles.	Emisiones de CH ₄
Combustibles fósiles para barcos	Emisiones de CO
Combustibles fósiles para aviones.	Emisiones MP
Carbón.	Emisiones NOx
Electricidad y pérdidas.	Otras Emisiones
Materiales	
Importaciones totales	Residuos sólidos municipales
Cemento	Residuos sólidos industriales
Hierro	Residuos líquidos municipales
Químicos	Residuos líquidos industriales
Cobre	Exportaciones
Plásticos	
Biomasa	
Alimentos totales	Residuos sólidos municipales
Biomasa forestal	Residuos sólidos industriales
Biomasa combustible	Residuos líquidos municipales
Pesca – Biomasa marina	Residuos líquidos industriales
Agua	
Agua superficial	Residuos líquidos municipales
Agua subterránea	Residuos líquidos industriales
Agua total	

De la capa de energía fueron eliminados los combustibles de embarcaciones pues este tipo de consumo no se asocia a la ciudad por razones geográficas. Además, los elementos de biomasa forestal, biomasa combustible y biomasa marina fueron dejados fuera de los alcances por que se consideró que estos serían comparativamente menores (en términos de flujos) que los anteriores, sin embargo, lo anterior podría diferir de la realidad. La capa de agua es otro aspecto importante que no se incorporara para ajustarse a los plazos de este trabajo. Otras capas, como los materiales de construcción, plásticos, papel, insumos químicos o insumos domésticos se dejan fuera del estudio por consideraciones de alcances y tiempo para el desarrollo de este trabajo.

3.4.1 Capa 1: Energía (Electricidad, combustibles líquidos y combustibles gaseosos).

La primera capa corresponde a la de energía. En esta capa se consideran distintas formas de proveer energía, en particular, se considerará la electricidad y combustibles como el gas, las gasolinas, el petróleo diésel y el kerosene. Los flujos de esta capa pueden ser cuantificados en unidades de energía y en unidas

másicas utilizando sus equivalencias respectivas, pero en este trabajo se realizará una cuantificación en unidades de energía. En las Figura 3-6 y Figura 3-7 se presenta la ruta de la electricidad y los combustibles respectivamente. Las flechas indican flujos y los números indican los momentos del proceso en los que se buscará la información de cuantificación. Para el caso de la electricidad, identificamos la producción, distribución y el consumo industrial, comercial, público y del transporte. Adicionalmente, en la figura se muestran que indican salidas del sistema en forma de emisiones. Para el caso del uso de los combustibles en su formato material, el recorrido es el mismo.

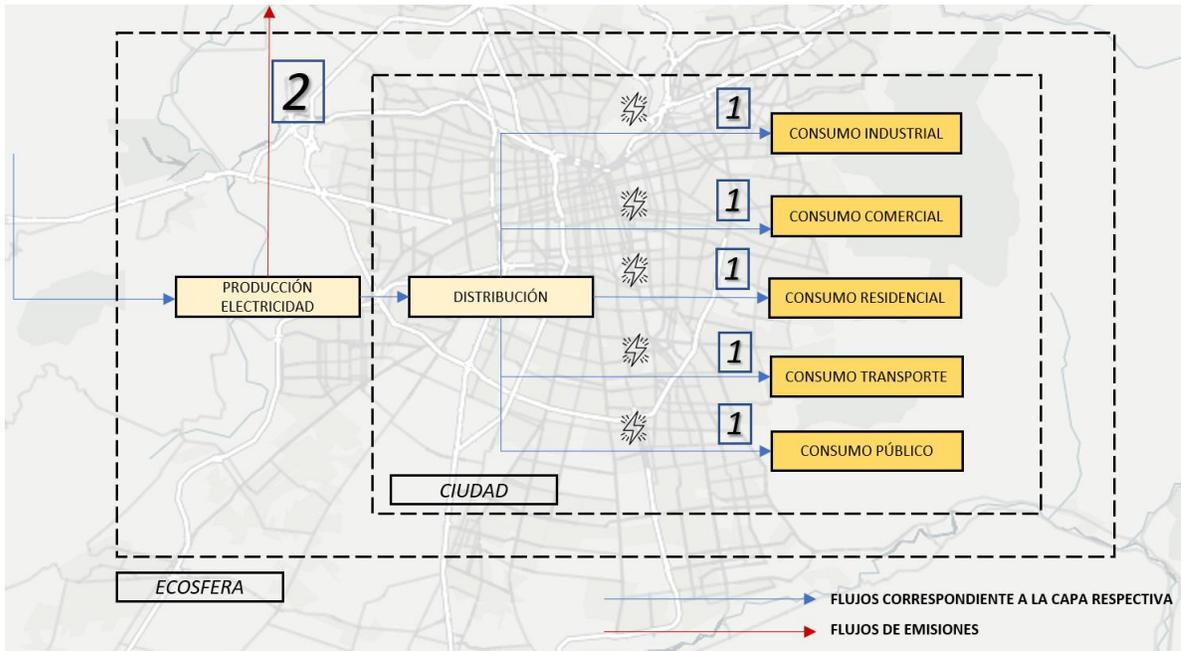


Figura 3-6 : Diagrama de ruta de la energía eléctrica en la zona urbana del Gran Santiago. Los números en el diagrama indican los puntos de cuantificación de información.

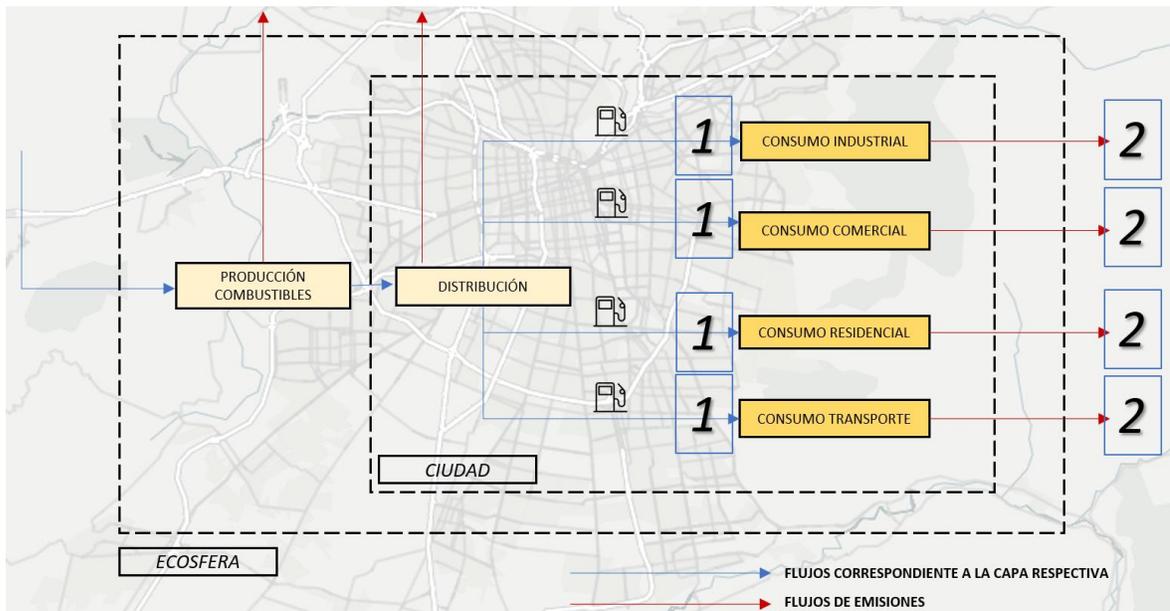


Figura 3-7: Diagrama de ruta de la energía desde derivados de petróleo en la zona urbana del Gran Santiago. Los números en el diagrama indican los puntos de cuantificación de información.

3.4.2 Capa 2: Biomasa (Alimentos).

La segunda capa material corresponde a la capa de biomasa, en particular la de alimentos. Como se mencionaba en el capítulo anterior, la capa de biomasa también podría considerar elementos como la biomasa forestal o la biomasa marina. Como estas actividades no son intensivas en la zona y no son tan fundamentales para el funcionamiento urbano, no serán consideradas en el estudio a pesar de que sí son demandas por las personas del Gran Santiago (los habitantes de la zona igualmente consumen estos productos, pero son producidos en otras regiones o partes del mundo). En la Figura 3-8 se observa el diagrama de la ruta de los alimentos a través del Gran Santiago. En el sistema se identifica la producción e importación de alimentos, la distribución, exportación, el consumo en la ciudad, el consumo industrial y su disposición final como residuos sólidos o líquidos en el alcantarillado, ambas con destino final el relleno sanitario.

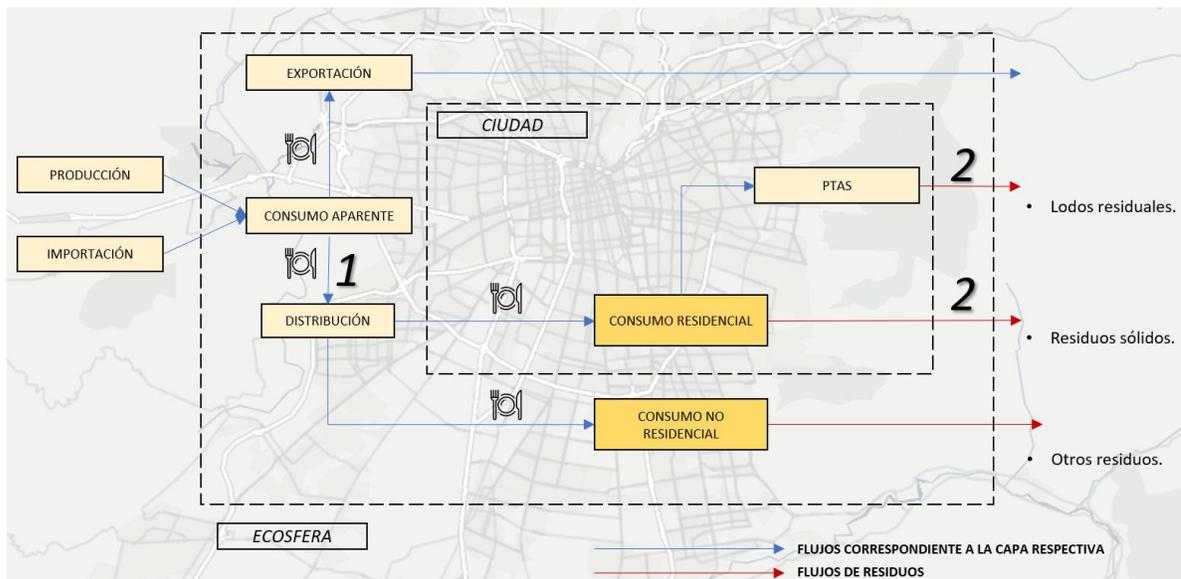


Figura 3-8: Diagrama de ruta de los alimentos en la zona urbana del Gran Santiago. Los números en el diagrama indican los puntos de cuantificación de información.

3.5 Elección de sustancia básica elemental

Tal como se mencionó en el capítulo 1 de este trabajo, el carbono es una de las principales sustancias elementales relacionadas con el cambio climático. Por esta razón resulta de interés analizar el metabolismo urbano de este elemento. Comprender la ruta e intensidad de flujos que este tiene a través de la ciudad podría ser útil para comparar la intensidad metabólica de las distintas actividades urbanas en términos de un solo elemento. Es por esto que será el carbono la sustancia que se cuantificará en los flujos de las capas consideradas. Otra motivación para cuantificar la masa de carbono contenida en los flujos que atraviesan la ciudad es dar un primer paso en verificar si acoplar ciclos biogeoquímicos globales con las ciudades puede ser una alternativa para atenuar la intensidad del metabolismo a través de la reincorporación de flujos. En particular, se busca estudiar el potencial acople de la ciudad con los ciclos naturales del carbono.

4 Cuantificación de flujos materiales y energéticos

En esta sección se presenta la cuantificación de los flujos materiales y energéticos que fueron seleccionados para la realización de este trabajo. Se presentan los resultados de la cuantificación de flujos de consumo de energía eléctrica, combustibles líquidos, alimentos y las respectivas salidas o eliminaciones de flujos como emisiones y residuos orgánicos de alimentación.

4.1 Resultados capa 1: Energía

A continuación, se presentan los resultados de la cuantificación de la capa energética dentro del Gran Santiago. La información para la elaboración de los siguientes resultados fue obtenida en su totalidad desde la plataforma *Energía Abierta* de la comisión nacional de energía del Ministerio de Energía de Chile [66]. Primero se presentan los resultados obtenidos para el consumo de energía eléctrica (consumo final de energía) residencial y no residencial en [TJ] para el periodo 2015-2019. Se desagregó esta información utilizando proporciones de consumo de electricidad de los distintos sectores reportados en los balances energéticos nacionales. La diferenciación entre el sector residencial y no residencial hace referencia a las tarifas de los consumidores. En general, clientes conectados en líneas de voltaje de alta o baja tensión pero con potencias de consumo menor a 10 [kW] serán considerados residenciales.

Luego, se presentan los resultados de consumo de gas (natural, biogás, licuado) para los sectores industrial, transporte y comercial, público y residencial en [TJ] en el gran Santiago durante el periodo 2008-2019. Los resultados para el periodo 2014-2019 fueron calculados utilizando los flujos de consumo final declarados para la Región Metropolitana en el balance energético nacional y ponderados por la razón de población entre la Región Metropolitana y el Gran Santiago debido a que la información no se encontraba desagregada por comuna o solo para el Gran Santiago. Los resultados calculados del periodo 2008-2013 para los sectores industrial, transporte y comercial, público y residencial fueron realizados extrapolando las proporciones de uso de uso cada sector comparando el total regional con el nacional debido a que no se encontraron desagregados directamente por sector. Estas proporciones se utilizaron sobre los datos de consumo nacional y se obtuvieron los consumos regionales. Finalmente, para obtener el resultado de consumo para el Gran Santiago, los resultados de consumo regional fueron ponderados por el factor de población.

Por último, se presentarán los resultados para el consumo de combustibles líquidos de gasolinas de 93, 95 y 97 octanos, gasolinas de aviación, kerosene doméstico, petróleo combustible y petróleo diésel durante el periodo 2008-2020 en [TJ] obtenidos de la misma forma que para los combustibles gaseosos. Tanto para el caso de combustibles gaseosos como para los flujos de combustibles líquidos se removieron los aportes de industrias que se conoce que no se encuentran en la zona urbana de Santiago, industrias como centrales productoras de energía y minería. En los Anexo Q, Anexo R, y Anexo S se presentan los detalles de datos, cálculo de las proporciones y extrapolaciones de los datos.

4.1.1 Electricidad: Flujos de entrada

Los resultados para el consumo eléctrico residencial y no residencial promedio para el periodo 2015-2019 en [TJ] ($1 \text{ TJ} = 277,7 \text{ MWh}$) por comuna se presentan la en la Figura 4-1. Es posible observar que dentro del Gran Santiago, las comunas que mayor consumo de energía eléctrica residencial son las comunas de Santiago, Las Condes, Puente Alto, Maipú, La Florida, Ñuñoa y Providencia. Lo anterior es esperable pues son parte de las comunas con mayor población, por lo que se espera que los totales sean proporcionalmente mayores según la población, pero el resultado se desvía de esta lógica cuando entra al listado Ñuñoa y Providencia. Lo anterior estaría indicando que, a pesar de que estas dos comunas no son parte de las más pobladas, su consumo energético es elevado. Lo anterior indica que no necesariamente el consumo eléctrico residencial es proporcional al tamaño de la población

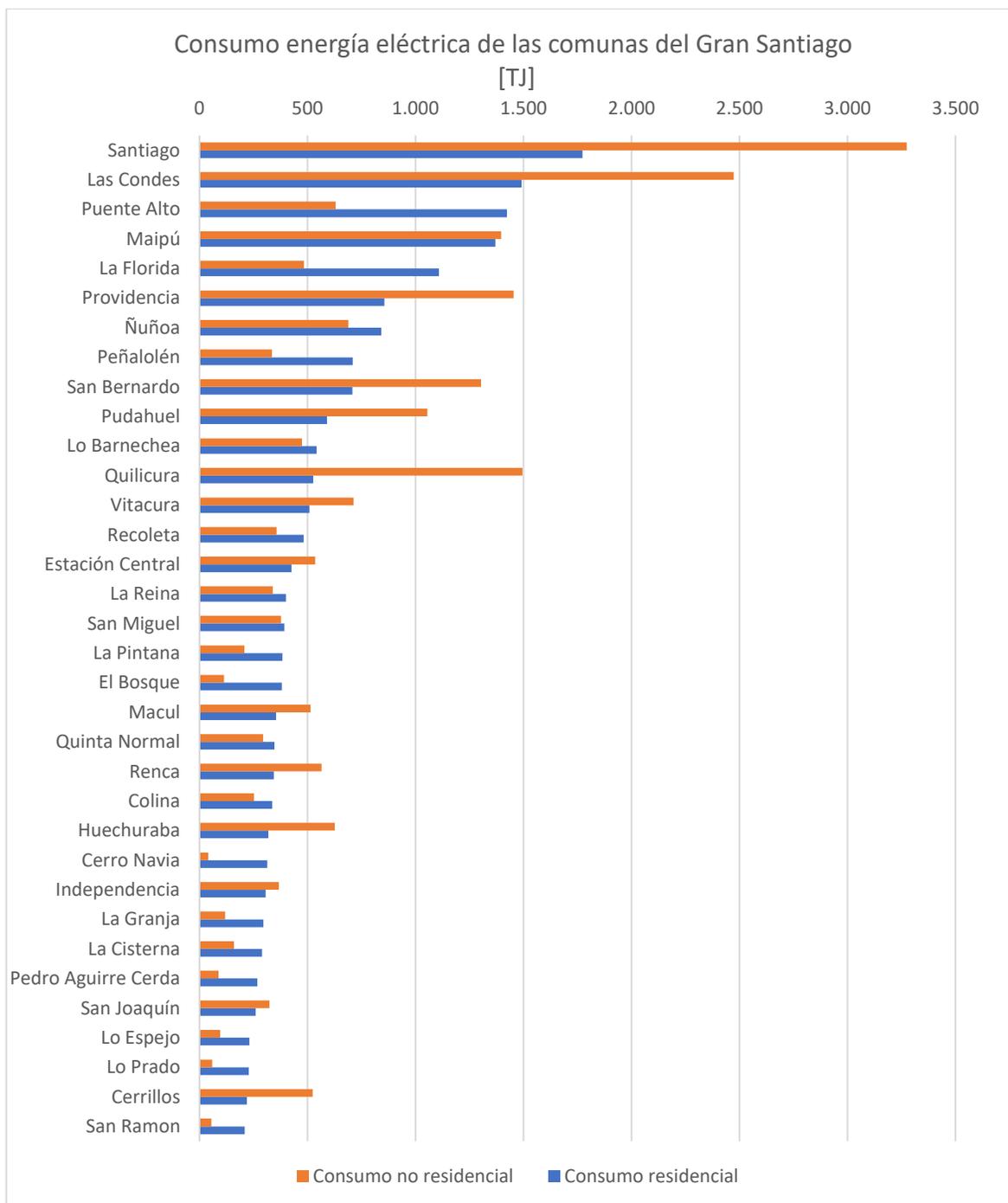


Figura 4-1: Consumo eléctrico promedio en las comunas del Gran Santiago para el periodo 2015-2019. Comunas ordenadas según consumo energético residencial.

Observando el consumo no residencial, las comunas con mayor consumo son las de Santiago, Las Condes, Quilicura, Providencia, San Bernardo, Maipú y Pudahuel. Al tratarse del sector no residencial, los resultados esperados serían que las comunas con mayor presencia de actividades industriales o comerciales tengan consumos mayores. Efectivamente, lo observado es que gran parte del total no residencial es demandado por comunas como Santiago, Las Condes y Providencia que tienen una baja

presencia industrial, pero alta actividad comercial o de servicios, corroborando lo analizado anteriormente sobre la baja incidencia que tiene el sector industrial en el consumo eléctrico dentro de Gran Santiago.

Analizando el consumo eléctrico residencial total del Gran Santiago en la Figura 4-2, se observa que los rangos de consumo van entre los 18.604 [TJ] (o 5.167.958 MWh) hasta los 19.858 [TJ] (o 5.515.975 MWh), que la tendencia es al aumento y, observando su totalidad, las tasas de variación en el uso, con respecto al año anterior, van desde los 0,2% en el periodo 2017-2018 hasta un 3,5% en el periodo 2016-2017 y al comparar los años 2015 y 2019, el consumo ha incrementado en un 7%. A pesar de que la tendencia es al aumento, el aumento promedio es tan solo de un 1,75% anual. La tendencia del consumo de energía eléctrica residencial puede deberse a que con el paso del tiempo, las personas consumen más calefacción, acondicionamiento de aire y tecnología en general que es abastecida por la electricidad. Por otro lado, esto también podría estar explicado por los niveles de ingreso (aumento PIB anual), a medida que más recursos económicos se poseen, más acceso al consumo del recurso existirá. Ambas razones podrían ser una explicación del aumento en el consumo de este recurso pero la razón más probable tiene que ver con el incremento de la población en la ciudad en el mismo periodo la cual es aproximadamente de un 8%.

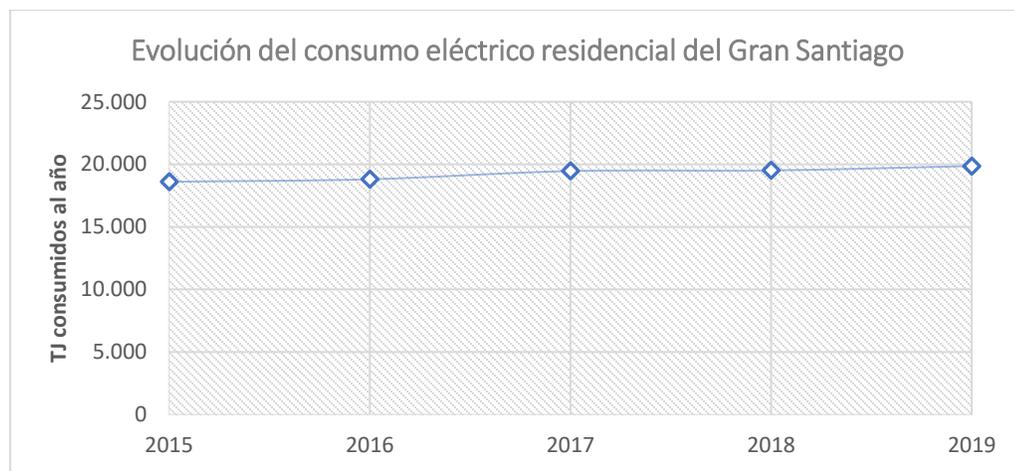


Figura 4-2: Evolución del consumo eléctrico residencial del Gran Santiago. Periodo 2015-2019.

El consumo no residencial presenta un comportamiento opuesto al residencial. Se observa en la Figura 4-3 que el consumo no residencial en el Gran Santiago tiene rangos de consumo desde los 25.149 [TJ] (o 6.985.866 MWh) hasta los 15.759 [TJ] (o 4.377.441 MWh) y ha tenido un comportamiento decreciente importante con el paso de los años. Durante el periodo 2015-2016 existió un leve aumento en la demanda total del 1,4% pero luego, para los periodos futuros, la demanda fue decreciendo de forma constante, variando en un -6,6% durante el periodo 2016-2017, un -15,6% en el periodo 2017-2018 y en un -20,4% en el periodo 2018-2019. A diferencia del caso residencial, las variaciones del sector no residencial son importantes pues muestran variaciones significativas, alcanzando una disminución del 36% en el periodo 2015-2019 y una disminución promedio del 9% anual.

Se desconoce la razón de la disminución en el consumo no residencial pero podría deberse a algún reemplazo de las fuentes de energía utilizada en los sectores no residenciales, cambiando la electricidad por algún otro tipo de combustible. También podría ser producto a un aumento en la eficiencia de uso a través del tiempo o simplemente un cambio en la definición y adquisición de las tarifas, reemplazando

clientes no residenciales por clientes residenciales.. Otra posible razón es una transición desde la producción hacia el servicio, reemplazándose sectores industriales por servicios a menor escala. Por último, a pesar de que la tendencia del consumo es a la baja, se espera que una mayor electrificación del transporte, fenómeno altamente esperado en el país [80], genere un cambio en la tendencia del consumo de este recurso para el sector no residencial, incrementando las tasas de consumo en niveles considerables.

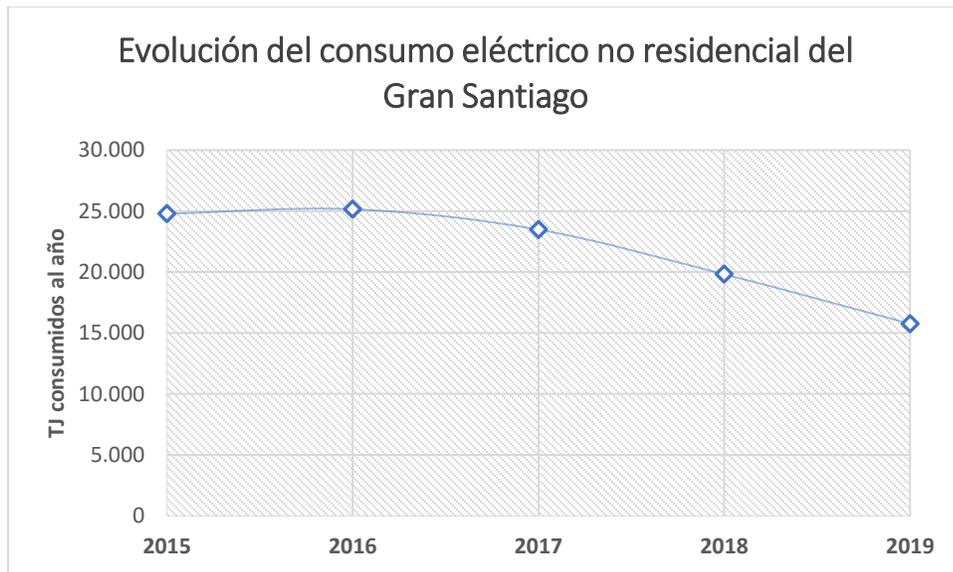


Figura 4-3 :Evolución del consumo eléctrico no residencial del Gran Santiago. Periodo 2015-2019.

Observando el sector residencial y no residencial juntos en la Figura 4-4 se nota que el rango de consumo eléctrico total en el Gran Santiago se mueve entre los 44.000 [GJ] hasta los 35.616 [GJ] en el periodo estudiado y que la tendencia es a la disminución. Existe un leve aumento en el consumo durante el periodo 2015-2016 para luego bajar durante el 2017 a un nivel similar al del año 2015 y luego disminuir de manera constante durante los periodos 2017-2018 y 2018-2019 alcanzando una disminución total (periodo 2015-2016) de un 18%. La disminución promedio para el periodo es de un 4,5% anual.

Al igual que lo comentado anteriormente, se espera que a medida que la electromovilidad comience a participar más en el sector transporte y la electrificación generada por el auge de las energías renovables comience a reemplazar parte de la matriz energética, el consumo total de energía eléctrica en el Gran Santiago (y el país) aumente. Además, se espera que si la matriz energética aumenta su porcentaje de energías renovables no basadas en carbono (solar, eólica, hidráulica), el consumo de electricidad se generalice, desplazando los combustibles fósiles e incrementando el consumo de electricidad en al menos el mismo consumo actual de energía fósil.

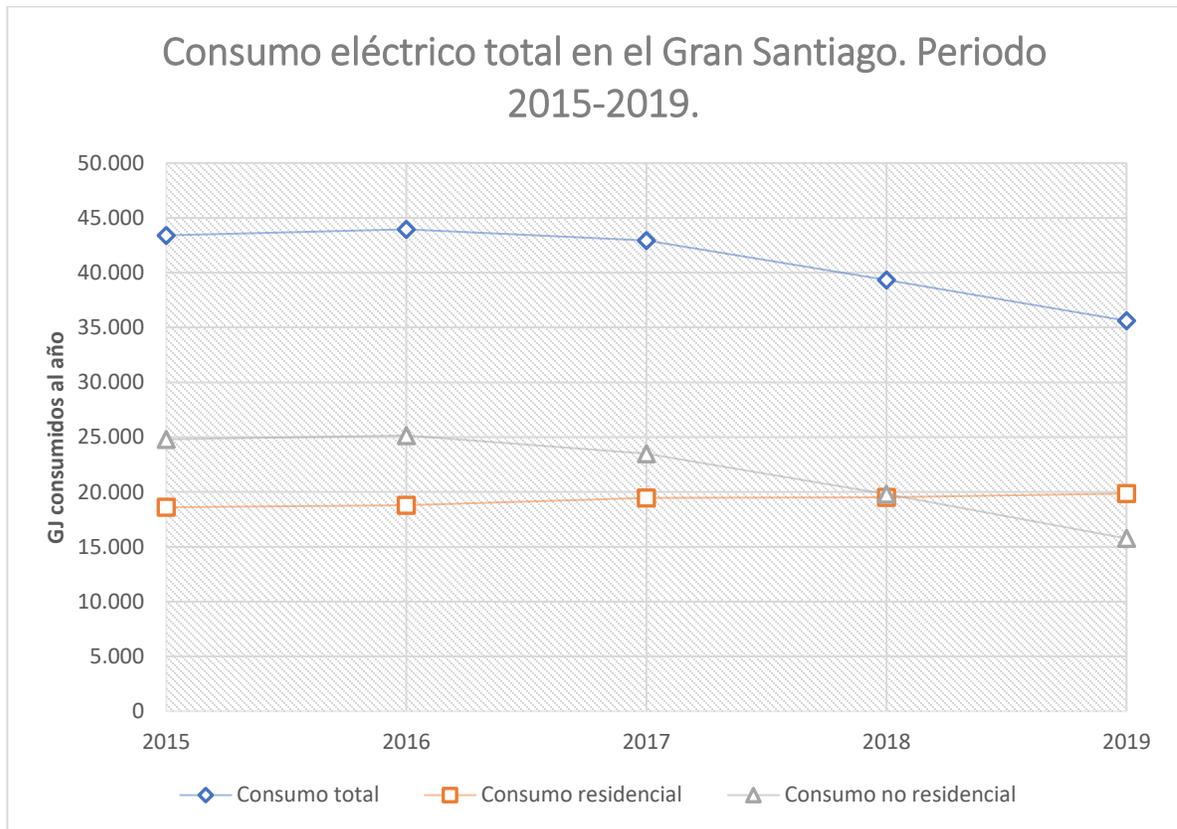


Figura 4-4: Evolución del consumo eléctrico total para el Gran Santiago. Periodo 2015-2019.

También es posible observar que el sector no residencial posee la mayoría del consumo eléctrico en los años 2015, 2016 y 2017, para luego en 2018 alcanzar un consumo idéntico y finalmente en 2019 el sector residencial superar al sector no residencial. Debe tenerse en cuenta que estos resultados son solo para las comunas del Gran Santiago, por lo tanto, que los resultados muestren mayor consumo del sector residencial no debe concluirse como que no existen actividades industriales en el resto de la Región Metropolitana.

4.1.2 Electricidad: Flujos de salida.

Para realizar los cálculos de flujos de salida asociados al uso de energía eléctrica se considerará las emisiones de carbono equivalente al momento de la generación de la electricidad. Como se mostró en la sección 3.3.5 de este trabajo, la matriz energética productora de energía eléctrica está compuesta de variadas fuentes y emisiones de distintas especies son liberadas, por lo tanto, para simplificar cálculos, los flujos de salidas asociados a esta capa energética que se considerarán serán solo los equivalentes de dióxido de carbono (CO₂.eq) y se calcularán con los factores de emisión promedio de carbono equivalente elaborados por la comisión nacional de energía [66] mostrados en la Tabla 8 para la producción de energía eléctrica en Chile.

Tabla 8: Factores de emisión de producción de energía eléctrica correspondientes al SIC para los años 2015 a 2017 y para el SEN para los años 2018 y 2019 [66].

Año	Factor de emisión promedio (FE)
2014	0,364 [tCO ₂ -eq/MWh]
2015	0,346 [tCO ₂ -eq/MWh]
2016	0,397 [tCO ₂ -eq/MWh]
2017	0,336 [tCO ₂ -eq/MWh]
2018	0,419 [tCO ₂ -eq/MWh]
2019	0,406 [tCO ₂ -eq/MWh]
2020	0,383 [tCO ₂ -eq/MWh]

Para calcular los flujos de salida se realizará el siguiente procedimiento:

$$Flujo\ salida_{CO_2-eq} = FE \left[\frac{t\ CO_2-eq}{MWh} \right] * Flujo\ eléctrico\ [MWh] \quad (5)$$

Los resultados se presentan a continuación:

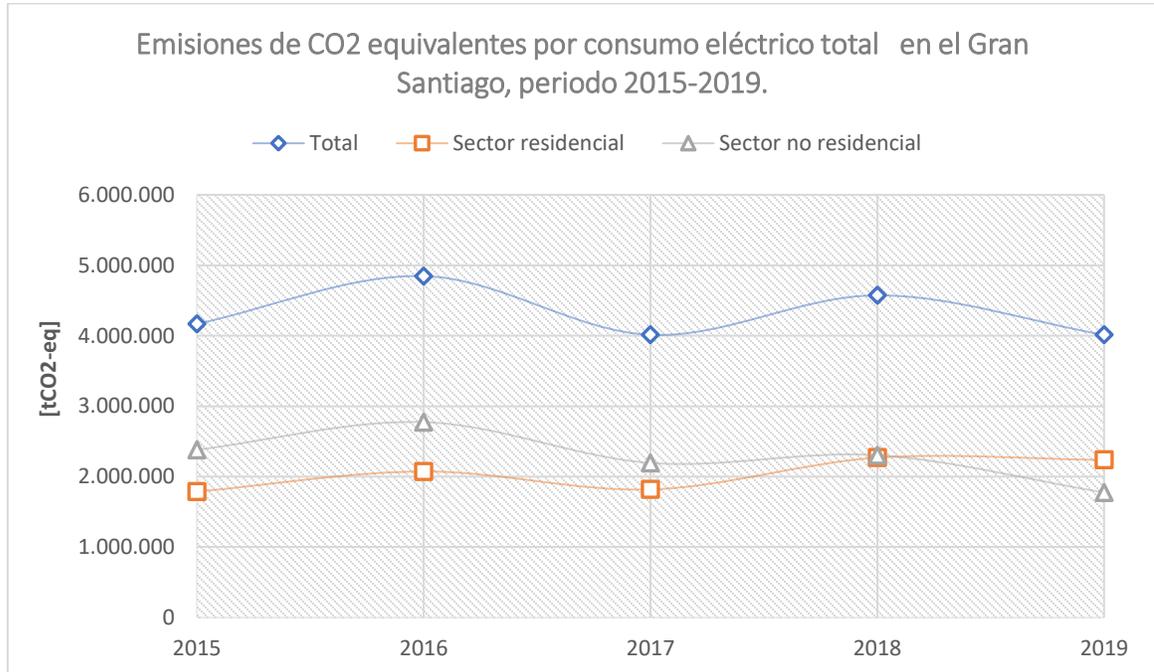


Figura 4-5: Emisiones de CO₂-eq producto del consumo de energía eléctrica en el Gran Santiago, periodo 2015-2019.

Las emisiones de CO₂-eq totales producto al consumo de electricidad en el Gran Santiago durante el periodo 2015-2019 presentan valores relativamente constantes, con un comportamiento oscilatorio y

dentro de los rangos de los 4.000.000 y 5.000.000 de [t CO₂-eq]. De igual forma, con un comportamiento oscilatorio, el sector residencial ha tenido un comportamiento con tendencia al aumento y el sector no residencial un comportamiento oscilatorio, pero con tendencia a la disminución. A diferencia del comportamiento más suave de las curvas de consumo neto de energía eléctrica, las curvas de emisiones presentan este comportamiento oscilatorio debido a la variación en el factor de emisión de producción de electricidad, pudiendo desprenderse que cuando el factor aumenta las emisiones también, a pesar de la disminución del consumo. Es debido a lo anterior a que se evidencian dos factores relevantes en el traspaso de carbono hacia la atmósfera: Los niveles de consumo de energía y la fuente productora de energía. Con estos resultados se puede concluir que las emisiones indirectas de GEI de la ciudad tienen estrecha relación con la composición de la matriz eléctrica nacional y la operación de las respectivas plantas generadoras.

4.1.3 Electricidad: Flujos de carbono asociados.

Debido a que el sistema de transmisión de energía eléctrica nacional (SIC) está unificado, no es posible asignar de forma exacta la fuente de energía primaria responsable de generar la electricidad consumida en el Gran Santiago. Adicionalmente, como existen variadas fuentes primarias de producción de electricidad, la electricidad consumida podría tener mayores o menores niveles de carbono en su producción, generando incertidumbre en los flujos de carbono asociados. Por lo tanto, los flujos de carbono relacionados a la energía eléctrica serán estimados como el 27,3% en masa (o 12/44 de la molécula) de las emisiones de CO₂-eq transferidos al ambiente durante la producción de electricidad.

Tabla 9: Flujos de Carbono aportados hacia la atmósfera u otro reservorio debido a la utilización de energía eléctrica en el Gran Santiago.

Año	Emisiones CO ₂ - eq [kt]	Flujos de Carbono [kt]
2015	4.169	1.138
2016	4.847	1.323
2017	4.012	1.095
2018	4.574	1.249
2019	4.013	1.096

Tabla 10: Flujos de carbono aportados hacia la atmósfera debido a la utilización de energía eléctrica

Flujos de carbono [kt]	2015	2016	2017	2018	2019
Sector Residencial	488	566	496	619	611
Sector no residencial	650	757	599	629	485
TOTAL [kt] de C	<i>1.138</i>	<i>1.323</i>	<i>1.095</i>	<i>1.249</i>	<i>1.095</i>

Los flujos de energía eléctrica consumidos se encuentran desagregados por comuna pero solo se declara según sector residencial y no residencial, es por eso que los resultados de la Tabla 10 se presentan según esta categorización. El Ministerio entrega el balance regional de energía en el cual se pueden obtener los flujos de consumo final de energía eléctrica para la Región Metropolitana, los cuales no se utilizaron

porque representa información menos detallada. A pesar de lo anterior, esa información fue utilizada para calcular proporciones de uso por sector en la región y esta fue aplicada a los resultados del Gran Santiago, de esa forma se obtiene los resultados de la Tabla 11:

Tabla 11: Flujos de carbono aportados a la atmósfera por uso de electricidad, por sector. Periodo 2015-2019

Flujos de carbono [kt]	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	688,7	802,5	665,3	758,8	663,7
Industrial	419,6	486,2	401,3	457,8	402,8
Transporte	29,7	34,2	28,4	32,4	29,4
Total [kt]	1.138	1.323	1.095	1249,0	1.095

Los resultados presentados en Tabla 9, 16 y 17 se desvían de la realidad pues se calcularon considerando que el aporte de carbono a la atmósfera es proporcional a los CO_{2-eq} cuando en realidad este valor está calculado por la suma de moléculas que no tienen carbono, como los N₂O o también por moléculas como el CH₄, que aportan alrededor de 25 veces más equivalentes de CO₂ que una molécula de CO₂. Estos valores podrían ser corregidos estimando la proporción de cada gas emitido por las fuentes productoras, sin embargo, para lo anterior se tendría que conocer la composición de combustible utilizado, tecnologías y condiciones de operación. A pesar de lo anterior, esto sirve como primera aproximación de los flujos de carbono que son aportados al ambiente desde la capa de energía eléctrica.

Analizando el consumo total de energía eléctrica y los flujos de carbono aportados a la atmósfera, es posible observar el impacto que tiene el del factor de emisión de dióxido de carbono al flujo de carbono estimado. Si se analiza el periodo 2017-2018 se nota que el consumo energético total presenta una disminución mientras que los flujos de CO_{2-eq} y de carbono asociados al mismo periodo presentan un aumento. Lo anterior deja en evidencia que la energía eléctrica y los flujos de carbono que están asociados a esta están fuertemente ligados a la fuente productora. Una producción que no dependiera del carbono podría tener altos impactos positivos en los flujos totales de carbono, generando un desacople entre la energía y el carbono.

4.1.4 Combustibles gaseosos: Flujos de entrada.

A continuación se presentan los resultados encontrados para el consumo de gas (gas natural, biogás, licuado, gas coque, de refinería, de altos hornos y corriente) total en el Gran Santiago en [TJ]. Los resultados fueron obtenidos con los datos de consumo de gas en la Región Metropolitana disponibles en el sitio Energía Abierta del Ministerio de Energía y fueron ponderados por el porcentaje de la población del Gran Santiago dentro de la Región Metropolitana para cada año. Para el periodo 2008-2014 solo se encontró información disponible del total nacional, por lo que para obtener los consumos dentro del Gran Santiago, dicho periodo fue calculado extrapolando y ponderando valores del total nacional. Se calcularon proporciones de consumo regional sobre el total nacional (por sector) para el periodo 2009-2015 y estas fueron extrapoladas linealmente para obtener las proporciones de los años 2008 a 2014. Una vez obtenidas estas proporciones, el total nacional fue ponderado por estas y por la razón de población (Gran Santiago/Región), obteniéndose los consumos por sector para el Gran Santiago.

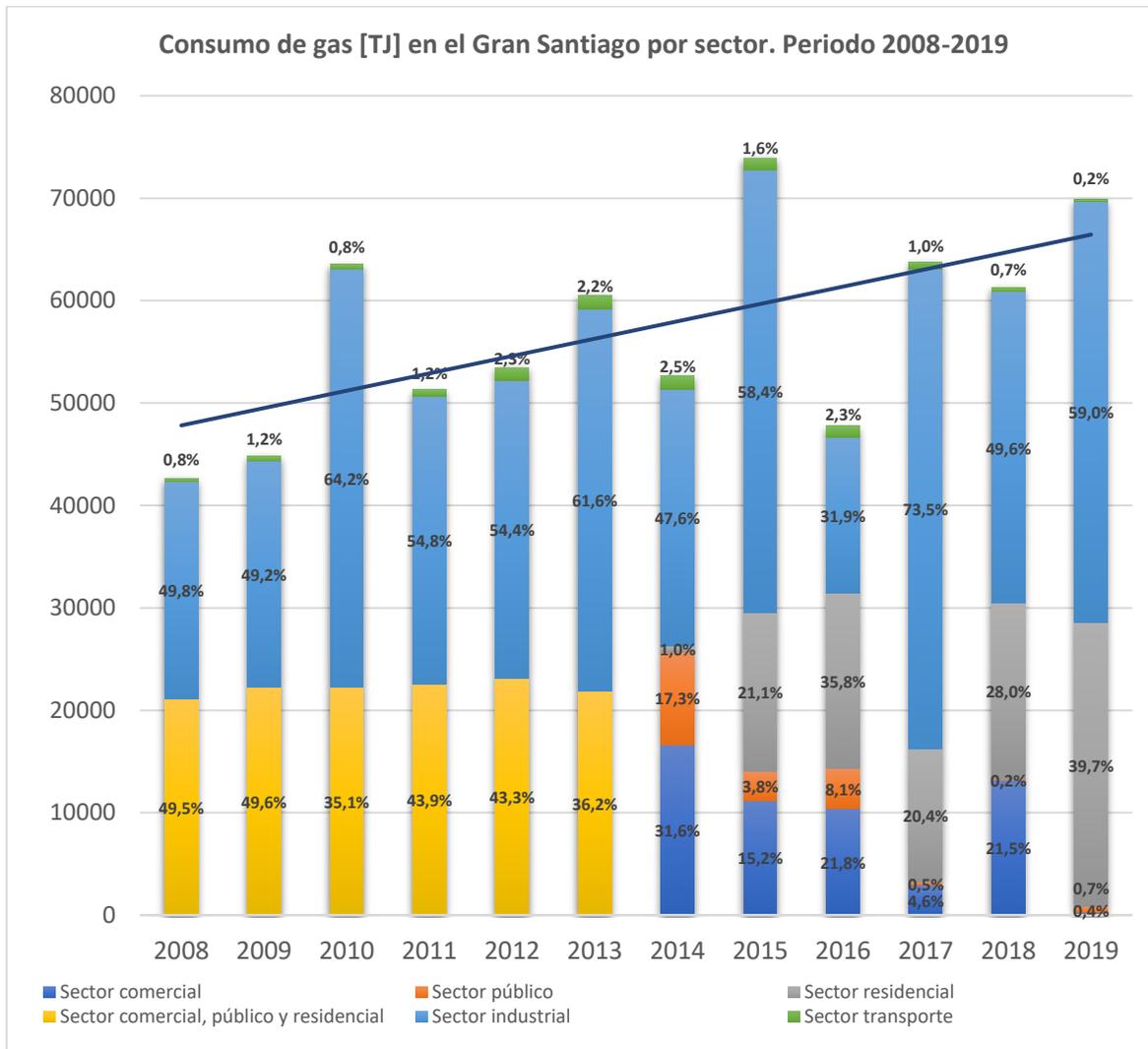


Figura 4-6: Consumo de gas en el Gran Santiago por sectores (transporte, comercial, público, residencial e industrial) durante el periodo 2008-2019.

En la Figura 4-6 se puede notar que la tendencia en el consumo de los combustibles gaseosos es al aumento, sin embargo las variaciones son irregulares a través de los años, presentándose periodos de aumento y otros de disminución. Los años de mayor consumo son el 2015, 2010 y 2019, en ese orden, mientras que los años de menor consumo son el 2008, 2009 y 2014. La variación porcentual en el consumo, comparando los extremos del intervalo de tiempo (2008-2019) es de un 58%, lo que indica que el nivel de consumo ha tenido un incremento relevante, pasando de un consumo de 44.350 [TJ] aproximadamente a 70.000 [TJ] aproximadamente. La variación porcentual promedio es de un 5,3% anual.

Analizando los resultados por sectores, el sector que mayor demanda ejerce sobre el consumo de este recurso es el industrial, superando el 50% del total de consumo en la mayoría de los años analizados y, además, el sector que mayor incremento total ha tenido en la demanda del recurso (aumento del 95% para el periodo 2008-2019). Seguido del sector industrial, el segundo sector con mayor consumo es el sector comercial, público y residencial para todo el periodo 2008-2013. Luego, durante el periodo 2014-2019, gracias a la desagregación de información se observa que el sector residencial es el que más consumo tiene, luego el comercial, público y finalmente el sector transporte. Los resultados obtenidos

hacen sentido, pues los combustibles gaseosos son principalmente utilizados como forma de calefacción en procesos industriales o para la calefacción de los hogares y en menor medida como combustible para transporte.

Los resultados de flujos de entrada para los combustibles gaseosos se pueden encontrar sobreestimados ya que estos fueron calculados en base a la información reportada para la Región Metropolitana y luego ponderados por la población del Gran Santiago dentro de la Región. Se cree que su valor está sobre estimado y no subestimado por la presencia de actividades industriales intensivas que no fueron removidas de la cuantificación porque se desconocía si su presencia estaba en el Gran Santiago o solo en la Región Metropolitana (recordar que actividades como la minería sí fueron removidas porque existe seguridad que no hay minería en la zona urbana de Santiago).

4.1.5 Combustibles gaseosos: Flujos de salida.

Los flujos de salidas que serán cuantificados en este trabajo serán solo los relacionados con el carbono, por lo tanto, se calcularán como flujos de salida las emisiones de CO₂, CH₄ y CO. A diferencia del caso anterior, las emisiones de compuestos con carbono desde la combustión se encuentran más estudiada por lo que es posible aproximar los flujos de CO₂, CH₄ y CO correspondientes. Para estimar los flujos asociados se utilizarán factores de emisión del IPCC declarados para cada sector según la metodología de cálculo de emisiones nivel 1 [81]. Las emisiones de dióxido de carbono se obtienen multiplicando las emisiones de carbono (indicadas en la tabla) por 44/12, haciendo uso del peso molecular.

Tabla 12: Factores de emisión de distintas especies con carbono para la combustión de distintos combustibles gaseosos [81].
Dióxido de Carbono (CO₂) presentado directamente como el total de carbono (C) contenido.

Combustibles	C [tC/TJ]			CH ₄ [kg/TJ]			CO [kg/TJ]		
	Comercial, público y residencial	Industrial	Transporte	Comercial, público y residencial	Industrial	Transporte	Comercial, público y residencial	Industrial	Transporte
Gas natural	15,3			5	5	50	50	30	400
Biogás	30,6			300	30	-	5000	1000	-
Gas Licuado	17,2			10	2	50	20	10	400
Gas Corriente	26,8			10	10	-	2000	150	-

Realizando los cálculos correspondientes, se obtiene que los flujos de salida debido al consumo de combustibles gaseosos en el Gran Santiago para CH₄, CO y CO₂ son los siguientes:

Tabla 13: Emisiones de CH₄ correspondientes al uso de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.

kg de CH ₄ emitidos	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	204.942	405.188	304.008	362.467	346.369	384.096
Industrial	153.188	264.003	132.539	185.229	199.034	221.609
Transporte	43.300	36.840	36.057	17.498	12.334	2.335
TOTAL [kg]	401.430	706.030	472.604	565.195	557.737	608.040

Tabla 14: Emisiones de CO correspondientes al uso de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.

kg de CO emitidos	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	1.065.739	3.814.473	1.871.727	2.704.418	2.459.969	3.008.604
Industrial	2.560.297	1.154.275	386.239	658.068	665.839	904.141
Transporte	521.630	457.915	435.206	256.941	170.300	44.550
TOTAL [kg]	4.147.666	5.426.663	2.693.172	3.619.426	3.296.109	3.957.294

Tabla 15 :Emisiones de CO₂ correspondientes al uso de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.

[kt] de CO ₂ emitidas	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	1.613	2.071	2.013	2.204	2.174	2.267
Industrial	2.370	3.669	1.812	2.812	2.849	3.185
Transporte	83	73	69	42	28	7
TOTAL [kt]	4.066	5.813	3.894	5.059	5.050	5.460

Es posible observar que las emisiones gaseosas para cada una de las especies siguen una tendencia similar a la del consumo de combustibles, pero no del todo proporcional. Tomando como ejemplo las emisiones de CO, al comparar los años 2014 y 2019, se observa que a pesar de un mayor consumo total de energía el año 2019, las emisiones de CO son menores. Lo anterior es debido a que en los primeros años evaluados, existe un mayor consumo de gas licuado de petróleo (GLP) por el sector transporte, generando entre 20 a 40 veces más emisiones por unidad de energía consumida que en el año final. También afectan a estos resultados las pequeñas variaciones de otros combustibles y el aumento o disminución en la participación de otros sectores. Lo anterior evidencia que para un mismo nivel de consumo, las emisiones pueden variar dependiendo del sector que utilice esa energía o dependiendo del combustible utilizado. Otro factor importante puede ser la tecnología utilizada para hacer la combustión.

4.1.6 Combustibles gaseosos: Flujos de carbono asociados.

El stock de carbono relacionado a la utilización de combustibles gaseosos se calcula multiplicando el total másico de cada especie que contiene carbono por su porcentaje de carbono en el total de su peso

molecular y luego sumándolas. Según lo anterior, el CO₂ debe ponderarse por 12/44, el metano por 12/16 y el CO por 12/28. Los resultados se presentan en la tabla:

Tabla 16: Flujos de Carbono aportados hacia la atmósfera u otro reservorio debido a la utilización de combustibles gaseosos en el Gran Santiago.

flujos de carbono [kt]	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	431	496	520	556	553	568
Industrial	430	703	269	505	472	591
Transporte	22	19	18	11	7	2
TOTAL [kt]	883	1.218	807	1.072	1.033	1.160

Finalmente, el comportamiento observado para los flujos de carbono sigue la misma tendencia del consumo de energía. Lo anterior muestra que a los flujos de carbono asociado a combustibles gaseosos no son desacoplables del carbono ya que, evidentemente, son parte de su estructura y son sus enlaces con otros átomos los que generan la energía. A diferencia de la energía eléctrica, no se observa un potencial directo de desacoplar la energía abastecida con combustibles gaseosos del metabolismo del carbono.

4.1.7 Combustibles líquidos: Flujos de entrada.

A continuación, en la Figura 4-7, se presentan los resultados de la cuantificación de consumo de combustibles líquidos en el que se consideraron las gasolinas de 93, 95 y 97 octanos, gasolinas de aviación, kerosene de aviación, kerosene doméstico, petróleo combustible y petróleo diésel. Al igual que en los casos anteriores, los resultados fueron obtenidos con los datos de consumo de combustibles líquidos en la Región Metropolitana disponibles en el sitio Energía Abierta del Ministerio de Energía y fueron ponderados por el porcentaje de la población del Gran Santiago dentro de la Región Metropolitana para cada año.

Al igual que para los combustibles gaseosos, la tendencia de consumo de combustibles líquidos es al aumento y con variaciones mucho más regulares que para el caso anterior. Los años de mayor consumo son el 2017 donde se alcanzaron cerca las 188.654 [TJ] y el 2019 donde se alcanzaron cerca de las 183.439 [TJ] mientras que los años de menor consumo son el 2009 y el 2014 donde no se superaron las 144.000 [TJ] consumidos. La variación porcentual observada entre el año 2008 y el año 2019 es de un 22% y la variación anual porcentual promedio es tan solo de un 2%.

El sector transporte es el que mayor demanda ejerce sobre el consumo de este recurso, superando en todos los casos el 83% del total anual para todo el periodo 2008-2019. Además es el sector que más aumento ha presentado en el aumento total del recurso. El incremento sostenido del uso de este recurso es un directo reflejo de la intensidad en el transporte al tener tan elevada participación dentro del total. Algunas razones de esto puede ser debido al aumento del parque vehicular en la ciudad en los últimos años [82][83], lo que también se traducen en mayores congestiones vehiculares, mayores tiempos de traslado y más uso de combustibles. Se espera que este comportamiento tenga un cambio al aumentarse la electrificación del transporte, reduciendo el consumo de combustibles líquidos fósiles. Luego del sector transporte, el sector industrial sigue como el sector que más consume pero con una demanda 10 veces menor que el sector transporte. Finalmente, el sector comercial, público y residencial es el que menor presión genera sobre este recurso, demandando tan solo un 5% promedio anual del total de los combustibles líquidos.

Consumo de combustibles líquidos [TJ] en el Gran Santiago, por sectores. Periodo 2008-2019.

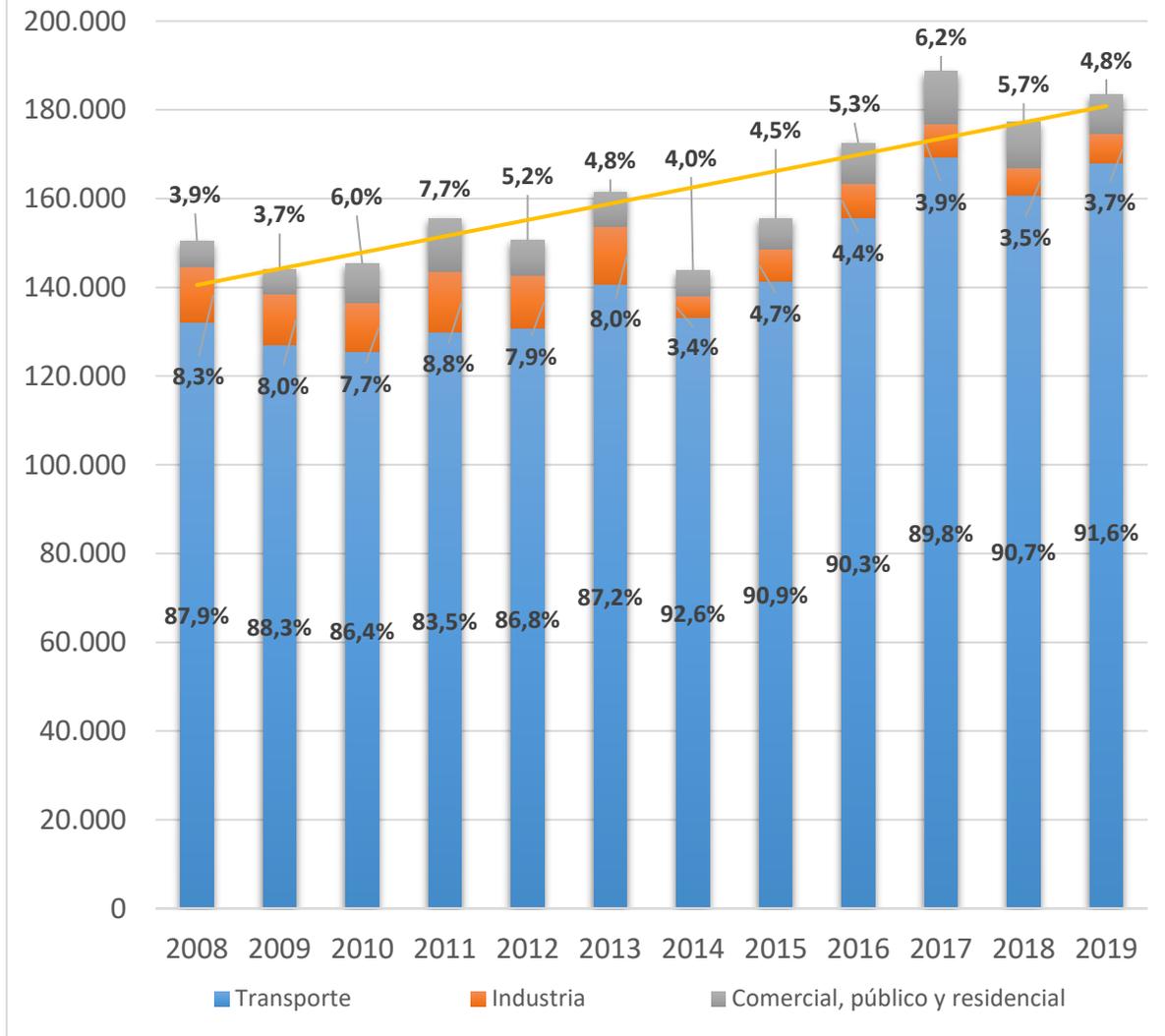


Figura 4-7: Consumo de combustibles líquidos en el Gran Santiago por sectores (transporte, industrial y comercial, público y residencial) durante el periodo 2008-2019.

Dentro del total de consumo presentado, fueron retirados los consumos asociados a industrias mineras y del cobre al tener seguridad de que estas no operan dentro del Gran Santiago. A pesar de lo anterior, como los resultados totales fueron extraídos del total regional y ponderados, estos podrían estar sobredimensionados ya que se podrían estar considerando actividades industriales que operan en otras zonas de la región y no particularmente dentro del Gran Santiago. Un ejemplo puede ser la consideración de actividades industriales intensivas como la industrial del papel y celulosa que aportan al consumo regional pero no necesariamente al del Gran Santiago, desviando los resultados levemente.

4.1.8 Combustibles líquidos: Flujos de salida.

Al igual que en el caso anterior, los flujos de salidas que serán cuantificados en este trabajo serán solo los relacionados con el carbono. Para estimar los flujos asociados se utilizarán factores de emisión del IPCC

declarados para cada sector según la metodología de cálculo de emisiones nivel 1 [81]. Las emisiones de dióxido de carbono se obtienen multiplicando las emisiones de carbono (indicadas en la tabla) por 44/12, haciendo uso del peso molecular.

Tabla 17: Factores de emisión de distintas especies con carbono para la combustión de distintos combustibles gaseosos [84]. Dióxido de Carbono (CO₂) presentado directamente como el total de carbono (C) contenido.

Combustibles	C [tC/TJ]			CH ₄ [kg/TJ]			CO [kg/TJ]		
	Comercial, público y	Industrial	Transporte	Comercial, público y	Industrial	Transporte	Comercial, público y	Industrial	Transporte
Gasolina de aviación	18,9			10	2	0,5	20	10	100
Kerosene	19,6			10	2	0.5	20	10	100
Kerosene de aviación	19,5			10	2	0,5	20	10	100
Petróleo combustible	21,1			10	2	5	20	10	1000
Petróleo Diésel	20,2			10	2	20	20	10	8000
Gasolina de motor	18,9			10	2	20	20	10	8000

Realizando los cálculos correspondientes, se obtiene que los flujos de salida debido al consumo de combustibles gaseosos en el Gran Santiago para CH₄, CO y CO₂ son los siguientes:

Tabla 18: Emisiones de CH₄ correspondientes al uso de combustibles líquidos en el Gran Santiago.

Kg de CH ₄ emitidos	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	49.971	59.696	78.270	101.274	87.392	74.908
Industria	17.003	7.918	4.501	5.753	3.550	2.558
Transporte	1.801.408	1.882.511	2.040.699	2.247.152	2.048.270	2.037.575
Total [kg]	1.868.383	1.950.125	2.123.470	2.354.178	2.139.212	2.115.041

Tabla 19: Emisiones de CO correspondientes al uso de combustibles líquidos en el Gran Santiago.

Kg de CO emitidos	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	99.943	119.392	156.541	202.547	174.783	149.816
Industria	85.017	39.591	22.505	28.763	17.751	12.790
Transporte	718.014.633	750.162.580	812.999.069	895.445.867	815.648.563	810.688.494
Total [kg]	718.199.592	750.321.564	813.178.115	895.677.177	815.841.098	810.851.100

Tabla 20: Emisiones de CO₂ correspondientes al uso de combustibles líquidos en el Gran Santiago.

Kt de CO ₂ emitidas	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	366	433	575	744	643	551
Industria	820	674	566	610	488	462
Transporte	8.166	8.677	9.557	10.409	9.871	10.304
Total [kt]	9.353	9.784	10.699	11.763	11.002	11.317

En este caso se observa un comportamiento similar que en el caso de los combustibles gaseosos. Es posible notar que todas las emisiones siguen la misma tendencia del consumo hasta el año 2018 y 2019 donde estas disminuyen y vuelven a aumentar. En ese caso, es posible observar que a pesar de tener un menor consumo en el año 2018, las emisiones de CO y CH₄ son mayores. De igual manera, lo anterior es producto de los tipos de combustibles que fueron utilizados y por los sectores que fueron consumidos, indicando que la distribución de combustibles en el año 2018 tuvo mayor participación de petróleo y diésel, dejando de lado otros como kerosene de aviación, gasolina de aviación, petróleo diésel.

4.1.9 Combustibles líquidos: Flujos de carbono asociados.

Los flujos totales de carbono asociados a la capa de combustibles líquidos se presentan a continuación:

Tabla 21: Flujos de Carbono aportados hacia la atmósfera u otro reservorio debido a la utilización de combustibles líquidos en el Gran Santiago.

Flujos de carbono [kt]	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	100	118	157	203	176	150
Industria	224	184	154	166	133	126
Transporte	2.536	2.689	2.957	3.224	3.043	3.159
Total [kt]	2.860	2.991	3.268	3.594	3.352	3.435

En este último caso también se puede observar lo ya mencionado para la capa de energía eléctrica y combustibles gaseosos. Los cálculos muestran que durante casi todo el periodo 2014-2019, las variaciones en el consumo de combustible fueron mayores que las variaciones en los flujos de carbono liberados, indicando que existe la posibilidad disminuir o mantener constante los flujos de carbono para un mismo consumo energético si es que se utilizan aquellos combustibles con menor carbono en su contenido.

4.1.10 Resumen capa energía.

A continuación se presenta un resumen del total de consumo de la capa energética y los flujos de carbono de salida asociados. El resumen de resultados solo se presenta para los años 2015 a 2019 ya que

no se encontraba disponible la información de flujos de energía eléctrica para años previos.

Tabla 22: Flujos totales de uso de energía en el Gran Santiago, por sector. Periodo 2015-2019.

	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial [TJ]	64.219	68.587	55.468	65.743	60.020
Industrial [TJ]	64.866	49.339	70.104	49.702	59.850
Transporte [TJ]	143.780	158.133	171.330	162.362	169.080
Total [TJ]	272.865	276.060	296.902	277.807	288.950

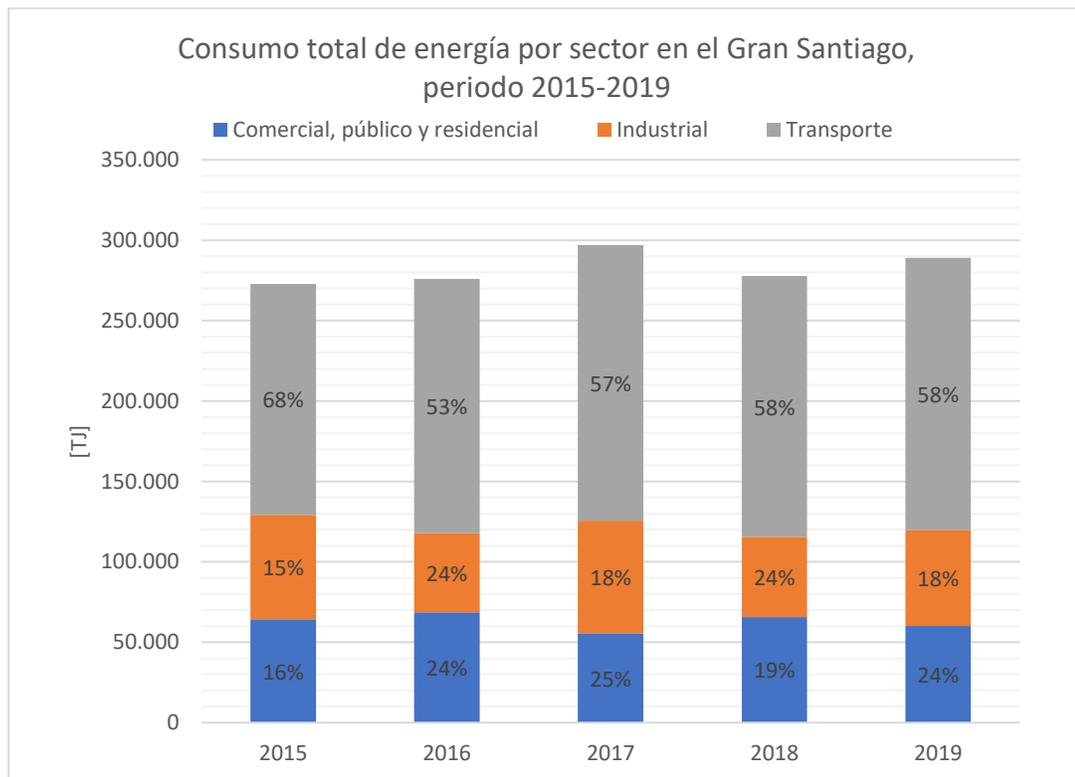


Figura 4-8: Flujos totales de consumo de energía (eléctrica y de combustibles líquidos y gaseosos) para el periodo 2015-2019.

La demanda de recursos energéticos se ha mantenido relativamente constante durante los últimos 5 años estudiados, sin embargo la tendencia sigue estando al aumento. La variación porcentual promedio anual de los últimos 5 años alcanzó un 1,75%. Se observa que dentro del total de consumo energético, el sector de transporte es el que mayor demanda energética presenta, superando el 50% del uso en todos los periodos estudiados. Luego del sector transporte viene el sector comercial, público y residencial y finalmente el sector industrial. Si se comparan los totales de los sectores comercial, público y residencial con el total del sector industrial, se nota que las diferencias son bajas, sugiriendo que el Gran Santiago no es una zona principalmente industrial, tal como se creía por el análisis de actividades económicas.

Debido a que el transporte supera el 50% de la demanda energética en todos los periodos estudiados, es el sector al que mayor atención se le debe poner. Analizando los datos, este es el único sector que presenta una tendencia al aumento, mientras que los otros dos presentan tendencia a la disminución. Si

se analiza sólo la demanda de combustibles líquidos para el transporte, el cambio porcentual de uso de este recurso entre el año 2008 y 2019 fue de un 27% o de un 2,5% anual promedio. Por último, si se compara el uso de energía total para transporte entre los años 2015 y 2019, el incremento es aún mayor, alcanzando un valor del 17,6% o de un 3,5% anual promedio.

Por otro lado, se puede analizar los resultados totales de la capa energía categorizándolos según las fuentes: electricidad, combustibles gaseosos y líquidos. En la Figura 4-9 se muestra que para todos los periodos mostrados, el consumo mayoritario es por parte de combustibles líquidos, luego combustibles gaseosos y por último la energía eléctrica. Es posible notar que en los últimos 5 años analizados, la participación de la energía eléctrica ha tenido una disminución importante de casi 10.000 [TJ]. A pesar de lo anterior, existe la hipótesis de que el uso de este consumo presente un cambio al alza en los próximos años y en adelante por los costos económicos de consumo de los otros combustibles y por el aumento en la electrificación de artefactos, principalmente el transporte.

Tabla 23: Flujos totales de uso de energía en el Gran Santiago, por fuente de energía. Periodo 2015-2019

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Electricidad	-	43.390	43.953	42.938	39.325	35.616
Combustibles gaseosos	52.659	73.905	47.762	63.773	61.285	69.841
Combustibles líquidos	143.760	155.570	172.522	188.654	177.197	183.439
Total	196.419	272.865	264.236	295.365	277.807	288.896

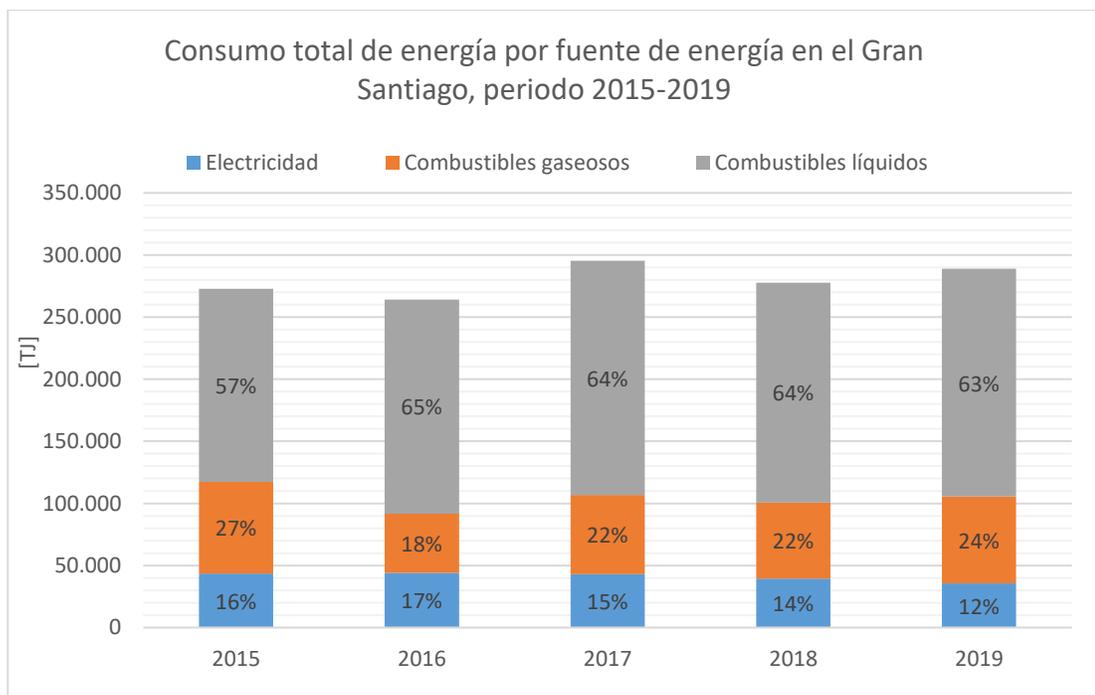


Figura 4-9: Flujos totales de consumo de para el periodo 2015-2019 según la fuente de energía.

Por último, los flujos de carbono aportados a la atmósfera también se han mantenido relativamente constante en los últimos 5 años pero con una leve tendencia al aumento, lo anterior se muestra en la Tabla 24. La variación promedio anual de los 5 últimos años alcanzó un valor de 1,5%. Esto demuestra que los flujos de entrada y salida presentan incrementos con el paso de los años, sin embargo los flujos de salida han reportado un aumento menor. Lo anterior se debe a que las fuentes de energía han

cambiado y han reemplazado levemente al carbono por otro tipo de fuentes productoras, generando así que los flujos de carbono transferidos a la atmósfera tengan una menor tasa de aumento.

Tabla 24: Flujos de salida de carbono asociados a la utilización de energía en el Gran Santiago. Periodo 2015-2019.

	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	1.303	1.480	1.425	1.488	1.382
Industrial	1.369	1.217	1.273	1.161	1.123
Transporte	2.740	3.011	3.265	3.084	3.191
Total [kt]	5.412	5.707	5.963	5.733	5.695

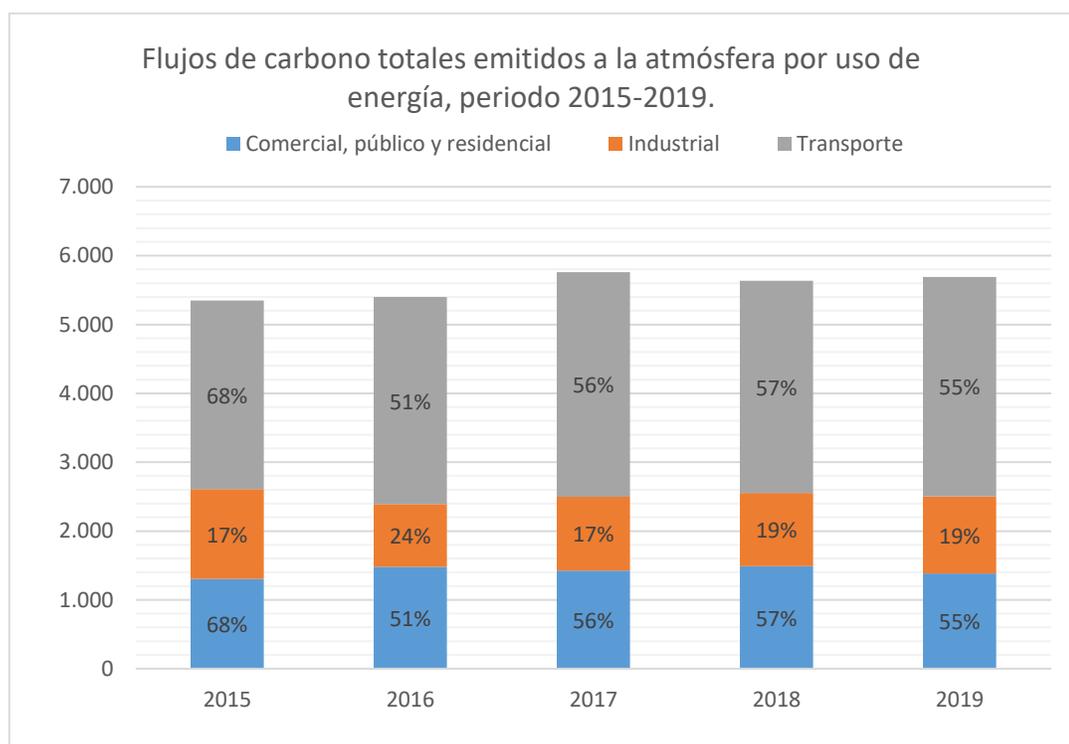


Figura 4-10: Flujos de carbono totales aportados a la atmósfera por la capa energética. Periodo 2014-2019.

El sector industrial, al ser el que menor aportes de carbono tiene con respecto al total durante todo el periodo estudiado, permite concluir que el Gran Santiago es una zona poco industrializada con consumos y aportes de carbono aún menores que el sector comercial, público y residencial. A pesar de que la tendencia del total de uso de recursos es al aumento, el sector de transporte es el único que presenta aumentos y arrastra al total, pero se destaca que el sector industrial y el sector público, comercial y residencial han presentado tendencias a la disminución en los últimos 5 años. Finalmente, los flujos de carbono aportados a la atmósfera desencadenados por el uso de recursos energéticos se han mantenido relativamente constante, con tendencia al aumento, pero con una menor tasa de aumento que los flujos de entrada. Lo anterior sugiere que es posible desacoplar el uso de energía de los flujos de carbono aportados a la atmósfera si es que se logra reemplazar al carbono como principal fuente de energía, particularmente con la energía eléctrica.

4.2 Resultados capa 2: Alimentos

A continuación se presentan los resultados de cuantificación de consumo (entradas) y eliminación (salidas) de la capa material de alimentación dentro del Gran Santiago.

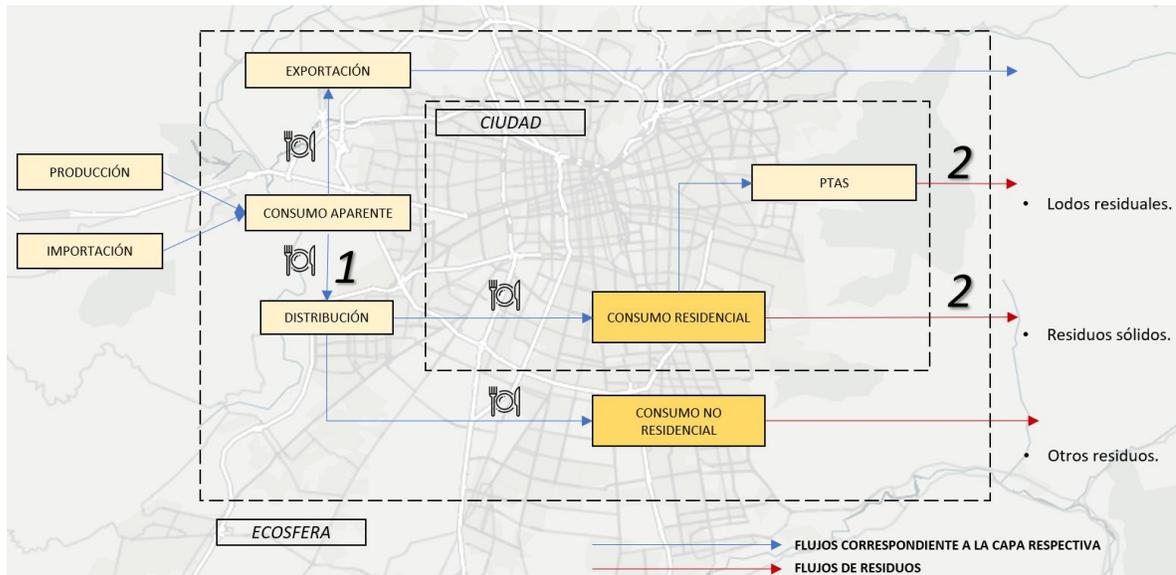


Figura 4-11: Diagrama de bloques representativo para la capa de alimentos.

En la Figura 4-11 se presenta el diagrama de bloques representativo de la capa de alimentos. Los números 1 y 2 representan las entradas y salidas cuantificadas respectivamente. Los flujos de alimentos consumidos que se presentan a continuación fueron rescatados del estudio de consumo aparente de los alimentos en Chile realizado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)[85] y se presentan como consumo por habitante. Debido a que el consumo se presenta en esas unidades, se utilizará la población total año a año y una metodología *top-down* para estimar el total del consumo en el Gran Santiago. El consumo aparente es definido de la siguiente forma:

$$\text{Consumo aparente} = \text{Producción (P)} + \text{Importación (I)} - \text{Exportación (E)} - \text{Otros usos (no consumo residencial)} \quad (6)$$

Dentro del balance de la ecuación 6 se muestra que del total del consumo aparente no son considerados los flujos de alimentos que no son de consumo humano al agregar la categoría "otros usos", pero en el texto del documento [85] se declara que esto no pudo ser realizado para todos los alimentos. Para corregir ese balance, se incorporará una nueva categoría llamada "consumo no residencial" y evitar problemas con los balances.

$$\text{Consumo aparente} = \text{Consumo residencial} + \text{Consumo no residencial} = P + I - E - OU \quad (7)$$

Adicionalmente, se considerará que el consumo aparente también está regido por el siguiente balance de masa:

$$\text{Consumo aparente} = \text{Residuos líquidos (lodos)} + \text{Residuos sólidos} + \text{Otros residuos} \quad (8)$$

En la ecuación (8) se presenta el flujo correspondiente a *otros residuos*. Este indica los residuos de alimentos que fueron consumidos o utilizados en otros sectores, no el domiciliario. Por ejemplo, dentro

de esta categoría podrían existir residuos industriales de alimentos o desperdicios de alimentos que se generaron post producción y durante la distribución.

Por otro lado, dentro del balance de masa no fue incluido el porcentaje de nutrientes que son absorbidos y acumulados en los organismos humanos ya que esa información se escapa del estudio y se piensa que debe ser un porcentaje relativamente pequeño en comparación a los totales de consumo. Tampoco fue incluido de forma separada en el balance de masa los flujos de carbono que son emitidos en forma de CO₂ gaseoso producto del metabolismo humano por la misma razón. Teniendo en cuenta lo anterior, se asume que en el sistema no existirá acumulación, supuesto que se aleja de la realidad. Debido a que los datos mencionados anteriormente corresponden al consumo aparente de algunos de los alimentos más consumidos en el país, esta información fue complementada con una encuesta realizada por el Ministerio de Salud (MINSAL) sobre el consumo personal de distintos alimentos[86] . Por último, la información se encontraba disponible solo para el periodo 2004-2013 la cual fue extrapolada linealmente para obtener estimaciones hasta el año 2019.

4.2.1 Alimentos: Flujos de entrada

A continuación se presentan los flujos de entrada o consumo aparente de la capa de alimentación. Los alimentos que son considerados en el cálculo de consumo aparente son los siguientes: Carnes de vacuno, ovina, porcina, de aves, productos lácteos como leche, quesos, quesillos, yogurt, mantequilla, huevos, aceite de oliva, azúcar, papas, porotos, lentejas, garbanzos, arvejas, manzanas, uvas, plátanos, paltas, vino y pan. Además de lo anterior, se agregó al total de consumo una categoría denominada “otros” en la cual se engloban los alimentos no caracterizados que fueron agregados a la información de la ODEPA a través de la encuesta del MINSAL.

Los alimentos fueron categorizados en “carnes”, “lácteos y huevos”, “azúcar”, “frutas, verduras y tubérculos” y “granos y legumbres”. Los resultados se presentan a continuación:

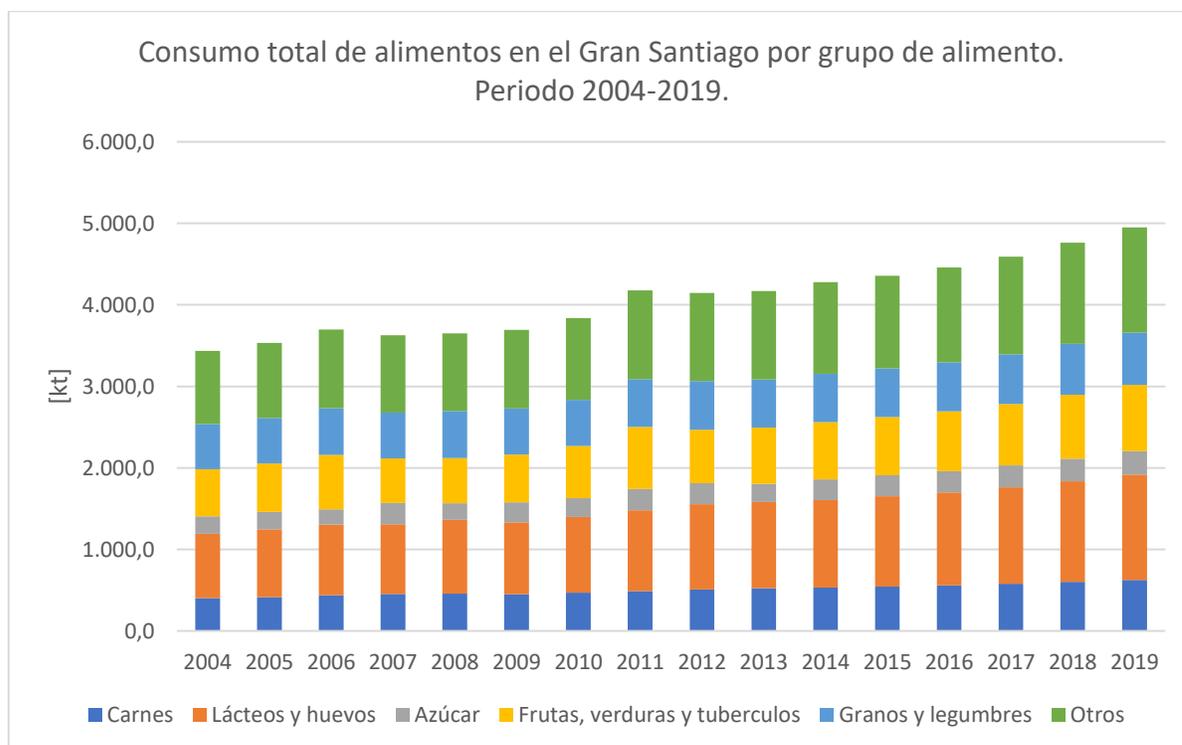


Figura 4-12: Consumo total de alimentos en el Gran Santiago en [kt] para el periodo 2004-2019.

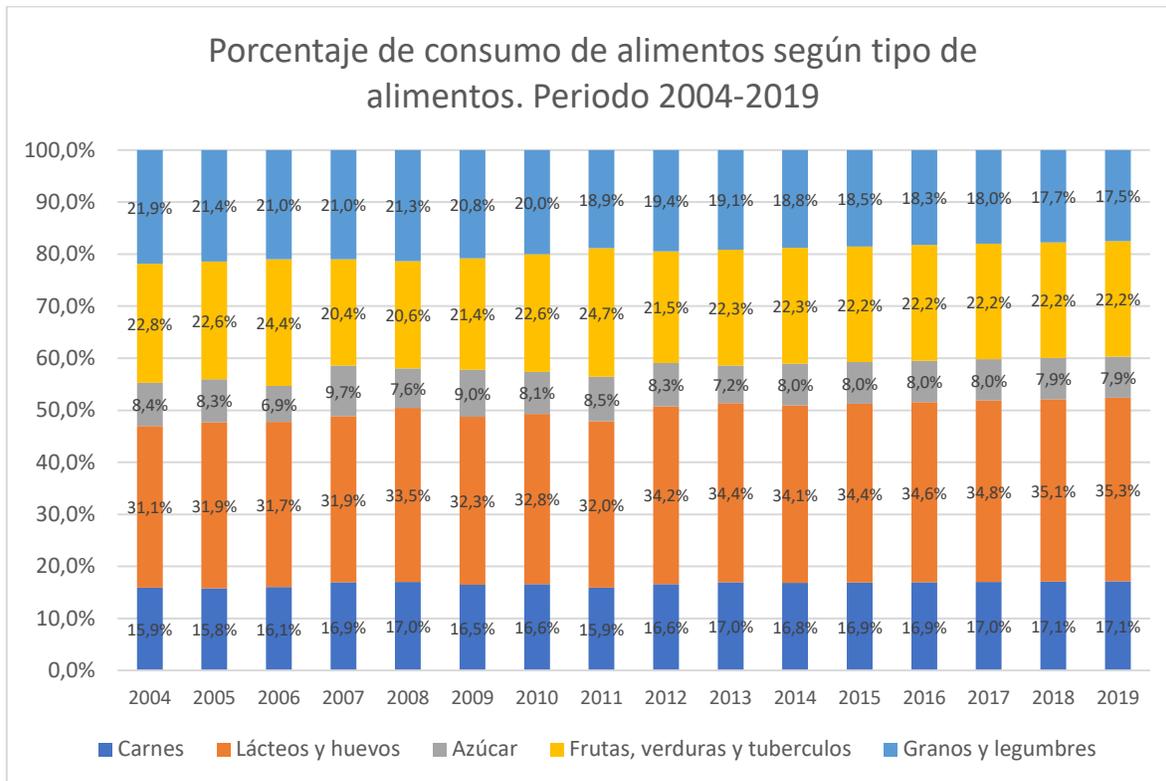


Figura 4-13: Porcentaje de consumo de alimentos según tipo de alimentos para el periodo 2004-2019

En el Anexo T se encuentran los datos numéricos del consumo total de alimentos.

En la Figura 4-12 se observa el consumo total de alimentos en el Gran Santiago durante el periodo 2004-2019. Al igual que para el consumo de combustibles y energía eléctrica, la tendencia de consumo es al alza, variando un 22,5% en el total del periodo estudiado y marcando un alza promedio anual de un 2,4%.

Por otro lado, en la Figura 4-13, se muestra el porcentaje de consumo según el tipo de alimento y se puede notar que durante todo el periodo analizado, los productos más consumidos son los *lácteos y huevos*. El segundo lugar de consumo es compartido por la categoría de *frutas, verduras y tubérculos* y *granos y legumbres* seguido por la categoría *carnes* y finalmente la categoría *azúcar*.

En términos de sostenibilidad, es ampliamente conocido que los productos de origen animal tienen una mayor generación de impactos a lo largo de su cadena productiva (potencial de calentamiento global, agotamiento de recursos, acidificación, cambio en el uso de la tierra, etc.) que la mayoría de los productos de origen vegetal ya que se destinan más recursos o se generan más sustancias contaminantes para producir una misma cantidad másica o calórica de alimentos [87] [88] [89]. Tal como se puede observar en la figura Figura 4-14, el consumo de alimentos de origen animal y vegetal tienen un porcentaje de consumo similar a través de los años, pero se puede notar que los productos de origen animal tienen un aumento leve pero sostenido en el periodo estudiado.

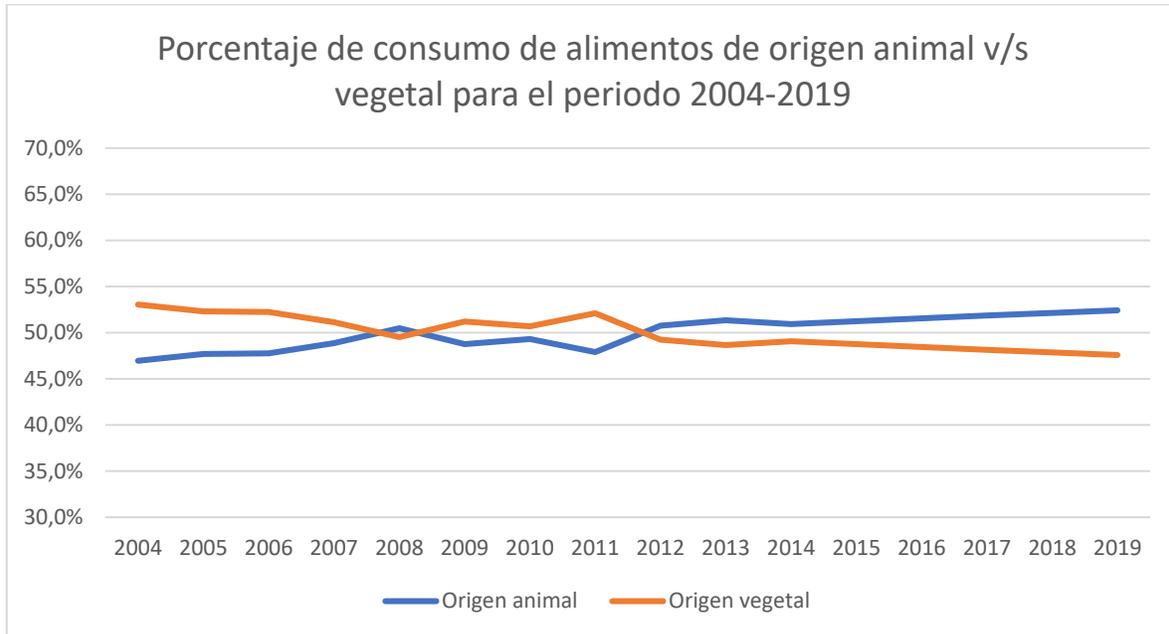


Figura 4-14: Comparación de consumo de alimentos de origen animal versus vegetal durante el periodo 2004-2019.

4.2.2 Alimentos: Flujos de salida

A diferencia de la categoría anterior, los flujos de salida de la capa de alimentos pueden encontrarse en distintos estados de la materia: como residuos sólidos, residuos líquidos o emisiones gaseosas. En este trabajo se considerará que los flujos de carbono estarán completamente contenidos solo en los residuos sólidos y líquidos para efectos de simplicidad, dejando fuera las emisiones de gases.

Para obtener una aproximación de la cantidad de alimentos que efectivamente se convierte en residuos sólidos, se utilizará información disponible en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RECT)[90]. Las bases de datos allí disponibles entregan información de los residuos totales generados por comuna dentro del Gran Santiago, sin embargo la caracterización existente de cada uno de ellos no es clara y no permite determinar el porcentaje de residuos orgánicos o de alimentos dentro del total. A pesar de lo anterior, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo en su Diagnóstico Nacional y Regional Sobre Generación y Eliminación de Residuos Sólidos y Asimilables indica que la composición de materia orgánica dentro del total de los residuos municipales para el año 2018 es de un 57% [91] para casi todas las comunas del Gran Santiago con excepción de San Bernardo que tiene una composición de orgánicos del 51%. Es por lo anterior y bajo el supuesto que la composición de alimentos se mantiene constante en los periodos de años estudiados, se asumirá que el 57% de los residuos municipales declarados corresponden a residuos de alimentos. Lo anterior corresponde a un supuesto que se aleja de la realidad ya que también existen otros residuos orgánicos en la ciudad que aportan a este porcentaje como los resultantes del manejo de áreas verdes y la composición no necesariamente se mantiene constante. A continuación se presentan los resultados de flujos de salida como flujos de residuos sólidos:

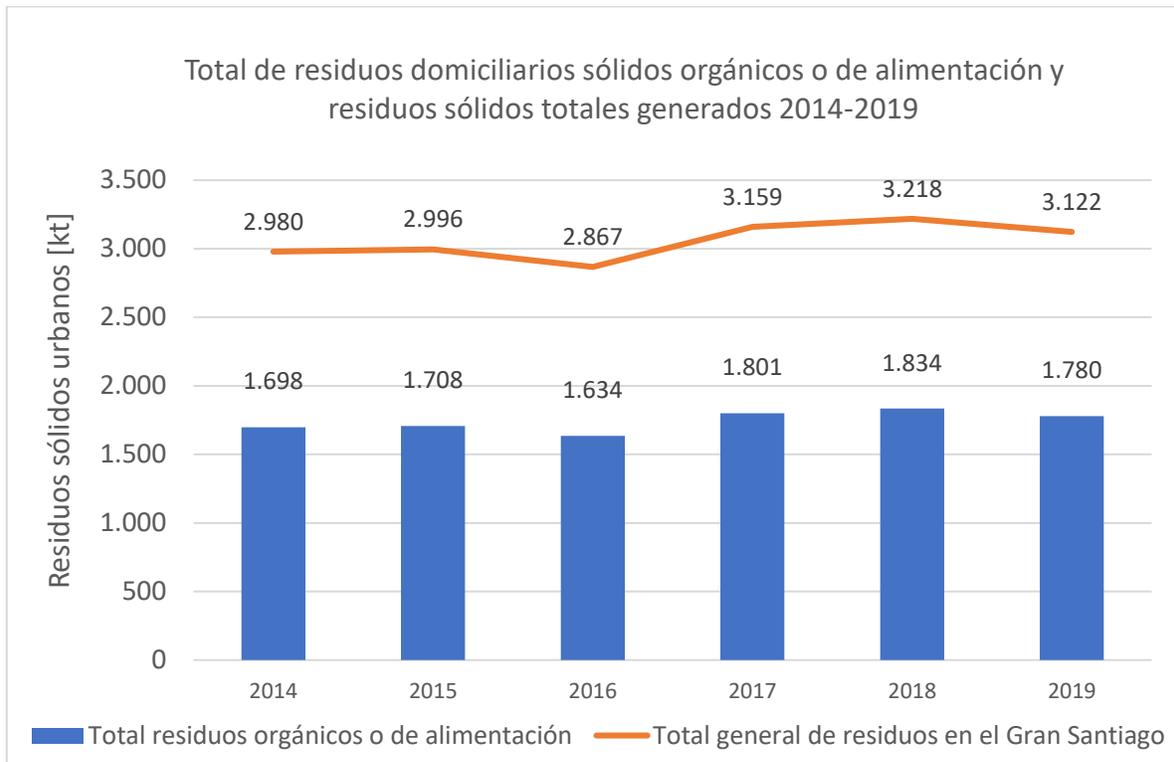


Figura 4-15: Flujo de salida de la capa de alimentación como residuos orgánicos o de alimentos y generación total de residuos en el Gran Santiago para el periodo 2014-2019.

Se puede observar que los residuos sólidos totales y los residuos orgánicos o de alimentación presentan una tendencia al aumento. Lo anterior es esperable debido a que el consumo aparente de alimentos también tiene una tendencia al aumento. A pesar de lo anterior, el flujo de residuos de alimentos no ha presentado una evolución positiva al mostrarse un aumento en la tasa de producción del 1,2% promedio anual. Si bien es esperable que los residuos generados aumenten porque también hay mayores entradas al sistema, se esperaría que hubiera una gestión y consumo más eficiente. Si se compara el consumo aparente de cada año con la cantidad de residuos de alimentos que llegan a relleno sanitario, en promedio un 43% del consumo es desechado como residuos municipales.

Para la estimación de generación de lodos de aguas servidas se utiliza información de la empresa Aguas Andinas S.A en sus reportes anuales de sustentabilidad [92]. Estos flujos contienen un porcentaje másico residual de los alimentos que fueron ingeridos pero no metabolizados (no acumulados en el cuerpo). Debido a que los lodos están compuestos por sólidos orgánicos y agua, se considera la norma para establecer cuánto del total declarado efectivamente corresponde a material orgánico perteneciente a la capa de alimentos y cuánto es agua. Según el SEA, el porcentaje máximo de humedad con el que se podrán disponer lodos estabilizados en rellenos será de un 75% [93]. De esta manera, se calcula el porcentaje de lodos secos que se generan en el Gran Santiago utilizando la cantidad de lodos totales y restándole la humedad contenida. A continuación se presentan los resultados para de flujos de salida como flujos de residuos líquidos o lodos de plantas de aguas servidas:

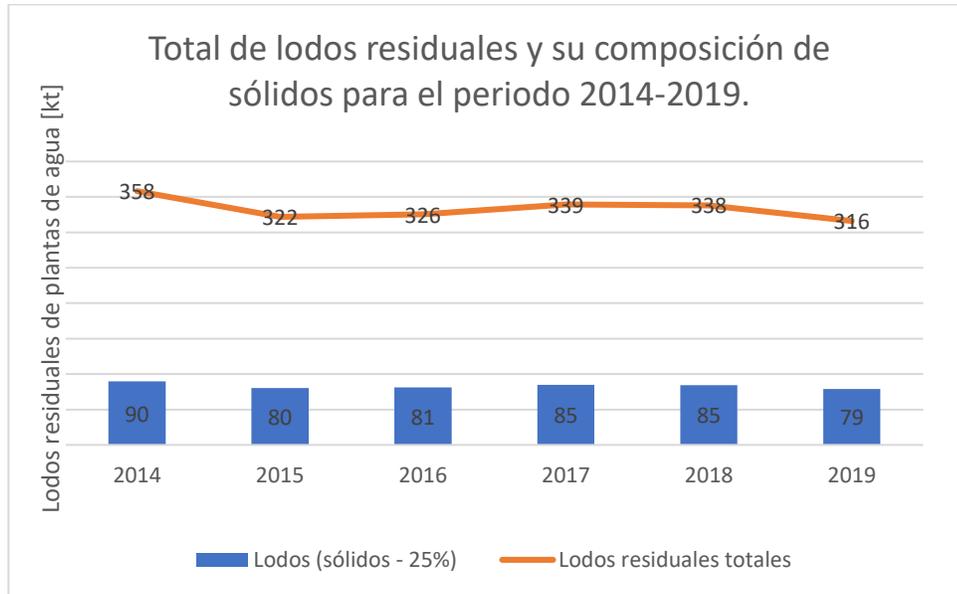


Figura 4-16: Cantidad de lodos residuales (sin humedad) generados en el Gran Santiago para el periodo 2014-2019.

Los lodos residuales representan la materia orgánica desechada por los seres humanos y puede considerarse proporcional o equivalente al consumo de alimentos que efectivamente es ingerido por las personas. Un aumento en las tasas de generación de estos flujos podría estar relacionado con una mayor ingesta efectiva de alimentos o con una peor absorción de ellos. A diferencia de todas las otras capas materiales cuantificadas, los lodos presentan una tendencia a la disminución. Bajo la lógica recién planteada, el comportamiento decreciente de estos flujos podría ser un reflejo de un consumo efectivo de alimentos menor, una mayor tasa de absorción de nutrientes o una mayor tasa de eliminación de alimentos hacia relleno sanitario.

Los resultados obtenidos en esta sección muestran solo una parte de la capa de alimentos debido a que no existe información exacta de los flujos de consumo de alimentos no residencial. Sería posible estimar el consumo de alimentos residencial (no consumo aparente) si es que se asumiera que los residuos domiciliarios orgánicos y lodos residuales conformaran el 100% de este flujo. De todas formas, los resultados presentados sirven como estimación del consumo de alimentos y flujos de carbono asociados a la capa de alimentación en el Gran Santiago, además de indicar las tendencias en el comportamiento de sus flujos.

4.2.3 Alimentos: Flujos de carbono asociados

Siguiendo la lógica de los balances de masa, la cantidad de carbono contenida en los flujos de entrada debiese ser la misma que en los flujos de salida. Sin embargo, como cierto porcentaje de nutrientes es absorbido y acumulado en los organismos humanos y otro porcentaje es emitido como CO₂ gaseoso y hay flujos de los que no se tiene información, existe una cantidad desconocida de carbono que debiese diferenciar la entrada con la salida. Sin perjuicio de lo anterior, los flujos de carbono asociados a la capa de alimentación serán estimados con la totalidad de los flujos de entrada (consumo aparente) ya que existe una mejor caracterización de su composición y porque estos representan con mayor fidelidad el carbono que fue extraído de la ecósfera para ser utilizado en la ciudad.

Para estimar el carbono contenido en los flujos de alimentos se utilizó la lista de alimentos con la que se realizó la cuantificación de los flujos de entrada [85]. Se caracterizó cada alimento de la lista con la

cantidad de lípidos, proteínas y carbohidratos en su contenido según correspondiera, asumiendo que estas categorías describen en totalidad la estructura de los alimentos. Lo anterior se observa en la Tabla 25 [94]. Adicionalmente, se estimó una proporción de carbono contenido en cada una de estas categorías, resultando lo obtenido en la Tabla 26 [95][96][97][98]. Por último, la cantidad de carbono contenida en cada uno de los alimentos se estima como la fracción de lípidos, carbohidratos y proteínas que contienen, ponderados por la cantidad de carbono respectiva de cada uno de ellos.

Tabla 25: Composición promedio de proteínas, grasas y carbohidratos de los alimentos [94].

Alimentos				
	Proteínas	Grasas	Carbohidratos	%C [%C/ kg alimento]
Carne bovina	26%	20%	0%	24,6%
Carne ovina	24%	21%	0%	24,2%
Carne porcina	27%	17%	0%	23,7%
Carne aviar	22%	2%	0%	12,6%
Otras carnes	25%	15%	0%	21,3%
Productos lácteos [†]	8%	11%	8%	13,5%
Quesos y quesillos	22%	27%	5%	28,4%
Yogur	4%	1%	19%	10,4%
Mantequilla	1%	81%	0%	45,0%
Huevos	13%	10%	1%	12,4%
Aceite oliva	0%	100%	0%	54,9%
Azúcar	0%	0%	100%	41,4%
Papa	2%	0%	18%	8,7%
Poroto	22%	1%	61%	38,0%
Lenteja	26%	1%	60%	39,0%
Garbanzo	19%	6%	61%	38,6%
Arveja	25%	1%	60%	38,5%
Manzana	0%	0%	14%	5,9%
Uva de mesa	1%	0%	18%	8,0%
Plátanos	1%	0%	40%	17,3%
Palta	2%	15%	9%	12,6%
Vino	0%	0%	3%	1,1%
Pan	9%	4%	50%	27,7%
Arroz	7%	1%	79%	36,5%

Tabla 26: Carbono contenido en cada macromolécula característica de los alimentos [95][96][97][98].

Categoría	Proporción de Carbono (%C m/m)
Lípidos	54,9%
Carbohidratos	41,4%
Proteínas	52,6%

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4-17: Flujos de carbono asociados a la capa de alimentación. Periodo 2004-2019. Figura 4-17:

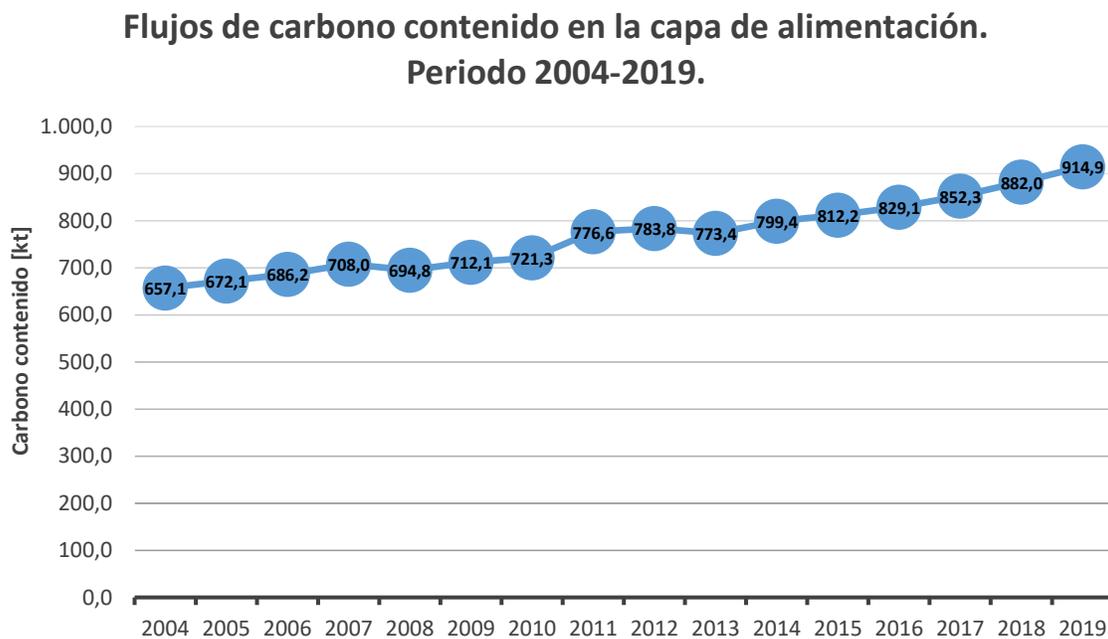


Figura 4-17: Flujos de carbono asociados a la capa de alimentación. Periodo 2004-2019.

Se puede observar que el flujo de carbono contenido en la capa de alimentación ha tenido un crecimiento sostenido durante el periodo estudiado y se diferencia levemente con la tendencia de consumo de alimentos. La diferencia en la tendencia entre estos resultados y el flujo de consumo aparente de alimentos se debe a que con el paso de los años, la composición de la dieta de las personas cambia y, en este caso, se ha desplazado hacia alimentos con menor contenido de carbono, generando que la tendencia en los flujos de carbono sea levemente mayor que la tendencia de consumo. Lo anterior significa que con el paso de los años, cada vez menos carbono ha sido removido de la ecósfera para satisfacer el consumo alimenticio. Previamente fue comentado que el consumo de alimentos de origen animal tiene un mayor impacto negativo que el consumo de alimentos de origen vegetal. Esto no necesariamente va a ser observado con estos resultados ya que los flujos de carbono que fueron cuantificados en este trabajo son flujos de carbono contenido y no los de carbono relacionados al ciclo de vida del alimento ni la huella de carbono asociada.

Finalmente, al comparar el inicio y final del periodo evaluado, los flujos de carbono muestran un aumento cercano a los 258 [kt C] o un aumento del 39.2% (equivalentemente a un aumento del 2,6% anual). Esto se debe a que la demanda de alimentos también ha ido incrementando, pero lo realmente importante es conocer si es que este aumento de los flujos de carbono ha sido mejor aprovechado o no o está equiparado con el aumento poblacional. Lo anterior podrá ser revisado más adelante.

4.2.4 Resumen capa Alimentos

A continuación se presenta un resumen de la capa de alimentos para el periodo 2014-2019 ya que solo para estos años existe información de todos los flujos considerados:

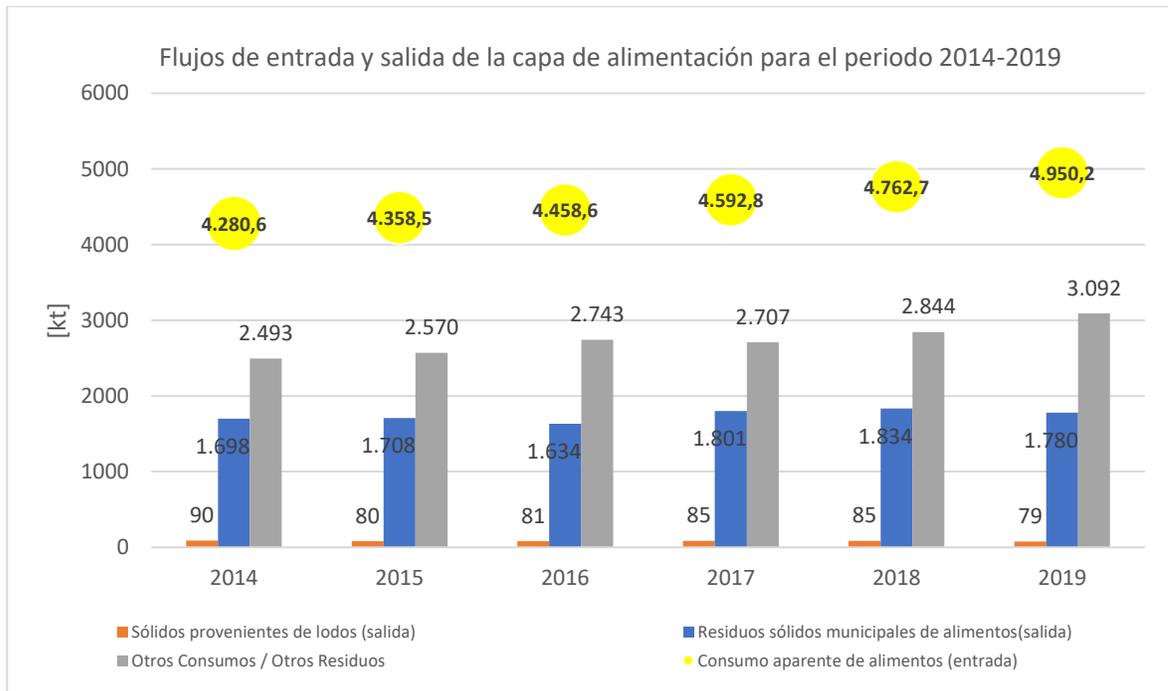


Figura 4-18: Resumen de flujos de entrada y salida de la capa de alimentación

En la Figura 4-18 es posible notar lo anteriormente explicado sobre que los residuos municipales y los residuos en forma de lodos no componen el total del consumo aparente de alimentos. Es por lo anterior que en esta figura se presenta la categoría llamada *otros consumos/otros residuos* para hacer referencia a aquellos flujos señalados (y su respectiva salida) en el diagrama de flujos de la Figura 4-11. El total de *otros consumos/otros residuos* fue calculado como la diferencia entre el total del consumo aparente menos las salidas cuantificadas de residuos municipales orgánicos y lodos. Dentro de esta categoría podrían estar considerados aquellos consumos industriales de alimentos que no son con fines de alimentación humana directa, pérdidas de alimentos en la cadena productiva y también podrían estar sumados aquellos flujos de alimentación acumulada en los organismos humanos. Estos flujos representan más de un 50% del consumo aparente y su caracterización es desconocida por lo que es posible concluir que si bien el consumo urbano es relevante y los flujos de salida de la capa de alimentación podrían ser mejor aprovechados, los flujos de la categoría *otros consumos/otros residuos* componen más de la mitad de los flujos de totales de esta capa y una mejora sustancial al aprovechamiento de los flujos de alimento debería ser aplicada poniendo foco en estos flujos.

4.3 Resumen cuantificación

Finalmente, se presenta un diagrama de *Sankey* que muestra visualmente el recorrido e intensidad de flujos de carbono en la ciudad para el año 2019, indicando las entradas por uso de energía eléctrica, combustibles líquidos, combustibles gaseosos y sus salidas respectivas: emisiones gaseosas, residuos sólidos, lodos y otros residuos de alimentación.

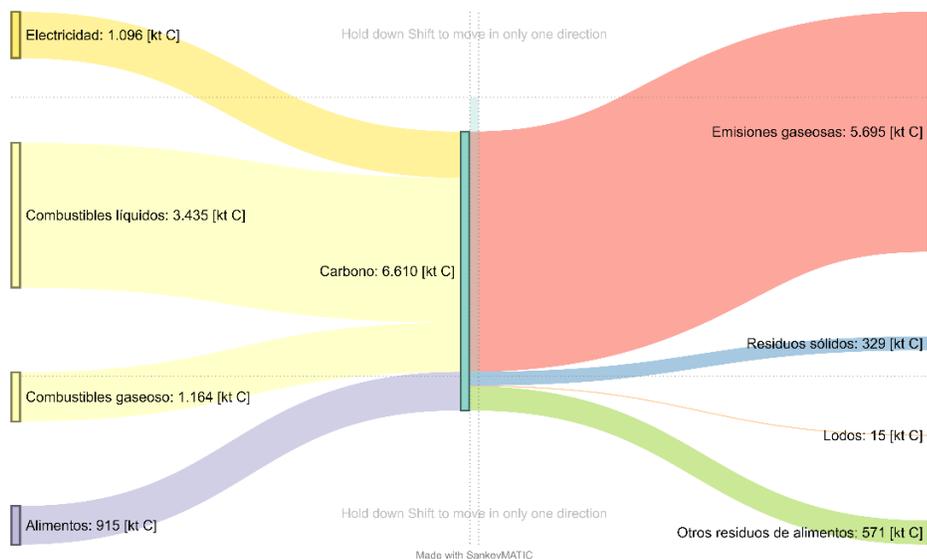


Figura 4-19: Diagrama de Sankey para las entradas y salidas de los flujos de carbono en el Gran Santiago, año 2019.

Se destaca que los flujos de entrada que mayor intensidad de carbono presentan en el total de las capas cuantificadas son los combustibles líquidos, luego los combustibles gaseosos y por último se encuentran la electricidad y los alimentos. La salida más relevante son las emisiones gaseosas generadas por el uso de los combustibles y electricidad. Más atrás, con flujos significativamente menores, se encuentran salidas de residuos orgánicos como residuos sólidos municipales, lodos de plantas de agua y otros residuos de alimentación.

Con este diagrama es posible de observar los potenciales focos del metabolismo que presentan un comportamiento más acelerado en la ciudad. Al tratarse de un análisis del metabolismo del carbono, se nota que los potenciales para dejar de depender del carbono son dispares en el sentido de que no es posible eliminar el carbono de la composición de los combustibles fósiles ni de los alimentos, sin embargo, es posible hacerlo para la electricidad. Desacelerar el metabolismo del carbono, podría entonces, estar enfocado en reemplazar elementos del metabolismo que tienen alta composición de carbono por elementos con una menor composición de carbono, por ejemplo usar más energía pero que este compuesta por menos carbono. En esta misma línea, existen cotas mínimas de consumo de carbono que podrían ser fijadas asociadas a los flujos de alimentación. Avanzar hacia un escenario con un metabolismo ideal podría estar compuesto por un mínimo de carbono en la alimentación y un desacople total del carbono en la energía

En este trabajo no se estudiaron los stocks de carbono acumulados dentro de la ciudad, sin embargo, lo anterior podría ser un buen indicador de qué tanto es posible desacoplar el sistema urbano de los sistemas naturales sin que este deje de funcionar. Las acumulaciones de carbono se ven como un buen indicador del metabolismo ya que estas podrían estar ligadas a un menor consumo en las entradas y menores desechos en las salidas.

5 Indicadores y proyecciones del metabolismo urbano

A continuación se presenta el cálculo de distintos indicadores que relatan el metabolismo urbano de la ciudad de Santiago en función de los flujos de entrada, flujos de salida, población, densidad poblacional y áreas verdes urbanas. Al final del capítulo se utilizan algunos de los indicadores para comparar el estado metabólico del Gran Santiago con otras comunas.

5.1 Tendencia de intensidad

Este indicador busca mostrar la evolución de los flujos de entrada o salida en comparación con el periodo de evaluación anterior. Se calcula como la variación porcentual de los flujos de cada capa entre dos años consecutivos y se evalúa el promedio:

$$T_{pc} = \frac{F_{i+1} - F_i}{F_i} * 100 \quad (9)$$

A continuación se presentan los resultados obtenidos para este indicador:

Tabla 27: Variación porcentual anual y promedio del total del periodo para los flujos del Gran Santiago. Años 2015-2019.

Energía	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio %
Electricidad [TJ]	-	-	1%	-2%	-8%	-9%	-4,7%
Combustibles líquidos [TJ]	-	8%	11%	9%	-6%	4%	5,2%
Combustibles gaseosos [TJ]	-	40%	-19%	10%	-6%	14%	7,7%
Total [TJ]	-	-	1%	8%	-6%	4%	1,75%
Emissiones CO2 [kt]	-	-	6%	4%	-3%	-1%	1,3%
Alimentación	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio %
Alimentos (consumo aparente) [kt]	-	2%	2%	3%	4%	4%	2,9%
Residuos domiciliarios de alimentos [kt]	-	1%	-4%	10%	2%	-3%	1,2%
Residuos industriales o pérdidas [kt]	-	2%	6%	-5%	1%	5%	1,7%
Residuos de lodos [kt]	-	-10%	1%	4%	0%	-7%	-2,3%
Otros	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio %
Residuos sólidos domiciliarios [kt]	-	1%	-4%	10%	2%	-3%	1,2%
Lodos provenientes de aguas servidas [kt]	-	-10%	1%	4%	0%	-7%	-2,3%

Para la mayoría de las capas estudiadas, a excepción del consumo de electricidad y los residuos de lodos, se observa un aumento en el consumo total de los recursos. El aumento más significativo es observado en la capa de energía con los combustibles gaseosos y líquidos respectivamente. A pesar de que estos resultados son concordantes con el aumento de la población, es importante recordar que los recursos son finitos y el aumento no puede ser sostenido por siempre ya que la capacidad productiva de los ecosistemas tiene un límite finito. Con estos resultados se refuerza la idea de que en algún punto se debe generar un desacople del uso de recursos con las necesidades metabólicas o mejorar la eficiencia en el uso de recursos.

5.2 Intensidad per cápita

Este indicador mide la cantidad del recurso consumido o residuo generado por cada habitante en la ciudad. Se calcula como el flujo total sobre la cantidad de habitantes en la zona para un determinado año:

$$I_{pc,i} = \frac{F_i}{P} \quad (10)$$

Los resultados se calculan a partir de la información de flujos mostrada en el capítulo anterior y la proyección de población corregida del INE mostrada en el Anexo . En la Tabla 28 se presentan los resultados del indicador para los años 2014 a 2019:

Tabla 28: Indicadores de intensidad per cápita del Gran Santiago para los años 2014 a 2019.

Energía		2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio o
Entradas	Electricidad [GJ/ hab]	-	7,28	7,30	7,02	6,28	5,54	6,68
	Combustibles líquidos [GJ/ hab]	24,31	26,10	28,67	30,83	28,28	28,52	27,79
	Combustibles gaseosos [GJ/ hab]	8,91	12,40	9,90	10,67	9,78	10,87	10,42
	Total [GJ/ hab]	33,22	45,79	45,88	48,52	44,33	44,93	43,78
Salidas	Emisiones CO2 [t/habitante]	1,9	2,8	3,0	3,0	2,9	2,8	2,73
Alimentación		2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Entradas	Alimentos (consumo aparente) [kg/hab]	723,94	731,35	740,92	750,50	760,07	769,64	746,07
Salidas	Residuos domiciliarios de alimentos [kg/hab]	287,2	286,6	271,6	294,2	292,8	276,7	284,85
	Otros consumos/otros residuos [kg/hab]	367,8	371,7	388,9	363,2	357,8	366,1	369,25
	Residuos como parte de lodos [kg/hab]	15,1	13,5	13,5	13,9	13,5	12,3	13,63
Otros		2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Salidas	Residuos sólidos domiciliarios [kg/hab]	503,9	502,8	476,5	516,2	513,6	485,4	499,74
	Lodos provenientes de aguas servidas [kg/hab]	60,6	54,0	54,1	55,4	54,0	49,1	54,54

Estos indicadores muestran la conducta individual de los habitantes del Gran Santiago al reflejar el consumo aproximado de cada uno en las distintas capas del metabolismo. Estos resultados permiten comparar el comportamiento del metabolismo urbano de Santiago con otras ciudades para tratar de comprar si tiene un estado acelerado, medio o desacelerado.

5.3 Tendencia per cápita

Este indicador busca mostrar los cambios en las conductas de consumo y generación de flujos de cada habitante de la ciudad. Se calcula como el porcentaje de cambio de los flujos entre dos años consecutivos y se evalúa el promedio:

$$T_{pc} = \frac{F_{i+1} - F_i}{F_i} * 100 \quad (11)$$

Los resultados se calculan a partir del indicador anterior (5.1). A continuación, en la se presentan los resultados obtenidos de este indicador en la Tabla 29:

Tabla 29: Variación porcentual anual y promedio del total del periodo para los flujos per cápita del Gran Santiago. Años 2014-2019

Energía	2015	2016	2017	2018	2019	promedio %
Electricidad [GJ/ hab]	-	0,3%	-3,9%	-10,6%	-11,8%	-6,5%
Combustibles líquidos [GJ/ hab]	7,4%	9,8%	7,5%	-8,3%	0,9%	3,5%
Combustibles gaseosos [GJ/ hab]	39,2%	-20,2%	7,8%	-8,4%	11,1%	5,9%
Total [GJ/ hab]	-	0,2%	5,8%	-8,6%	1,3%	-0,3%
Emisiones CO2 [t/habitante]	-	4,5%	1,9%	-5,3%	-3,6%	-0,6%
Alimentación	2015	2016	2017	2018	2019	promedio %
Alimentos (consumo aparente) [kg/hab]	1,0%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,2%
Residuos domiciliarios de alimentos [kg/hab]	-0,2%	-5,2%	8,3%	-0,5%	-5,5%	-0,6%
Residuos industriales o pérdidas [kg/hab]	1,1%	4,6%	-6,6%	-1,5%	2,3%	0,0%
Residuos como parte de lodos [kg/hab]	-10,8%	0,1%	2,5%	-2,6%	-9,0%	-4,0%
Otros	2015	2016	2017	2018	2019	promedio %
Residuos sólidos domiciliarios [kg/hab]	-0,2%	-5,2%	8,3%	-0,5%	-5,5%	-0,6%
Lodos provenientes de aguas servidas [kg/hab]	-10,8%	0,1%	2,5%	-2,6%	-9,0%	-4,0%

En la tabla se desprende que el consumo de recursos per cápita presentan mejores resultados que los otros indicadores al observarse que dentro del periodo estudiado, el promedio de consumo per cápita a través de los años tiene tendencia a la disminución en la mayoría de los flujos cuantificados. Los flujos de alimentos y flujos de combustibles gaseosos y líquidos per cápita son los únicos flujos que muestran un aumento de consumo en el periodo estudiado. Lo anterior significa que la población del Gran Santiago está consumiendo cada vez más recursos energéticos relacionados a la industria y al transporte y más alimentos. Particularmente, el aumento en el consumo per cápita de combustibles líquidos se puede entender como un reflejo directo del aumento en la intensidad del sector transporte.

5.4 Energía per cápita como función de parámetros demográficos

Según la revisión bibliográfica presentada en el primer capítulo, el consumo energético de una ciudad podría estar relacionado con variables demográficas como población total, la superficie o la densidad poblacional. En esta sección se exploran estas ideas con el fin encontrar variables que aporten hacia un metabolismo urbano más sostenible. El primer caso de análisis corresponde al estudiar el consumo total de energía de una ciudad en función de su población total bajo la primicia de que las ciudades podrían tener un consumo energético completamente proporcional a su población y, por lo tanto, mientras más pobladas, mayores consumos tendrían. A continuación se presentan distintas megaciudades del mundo, sus poblaciones y sus consumos totales de energías[99]

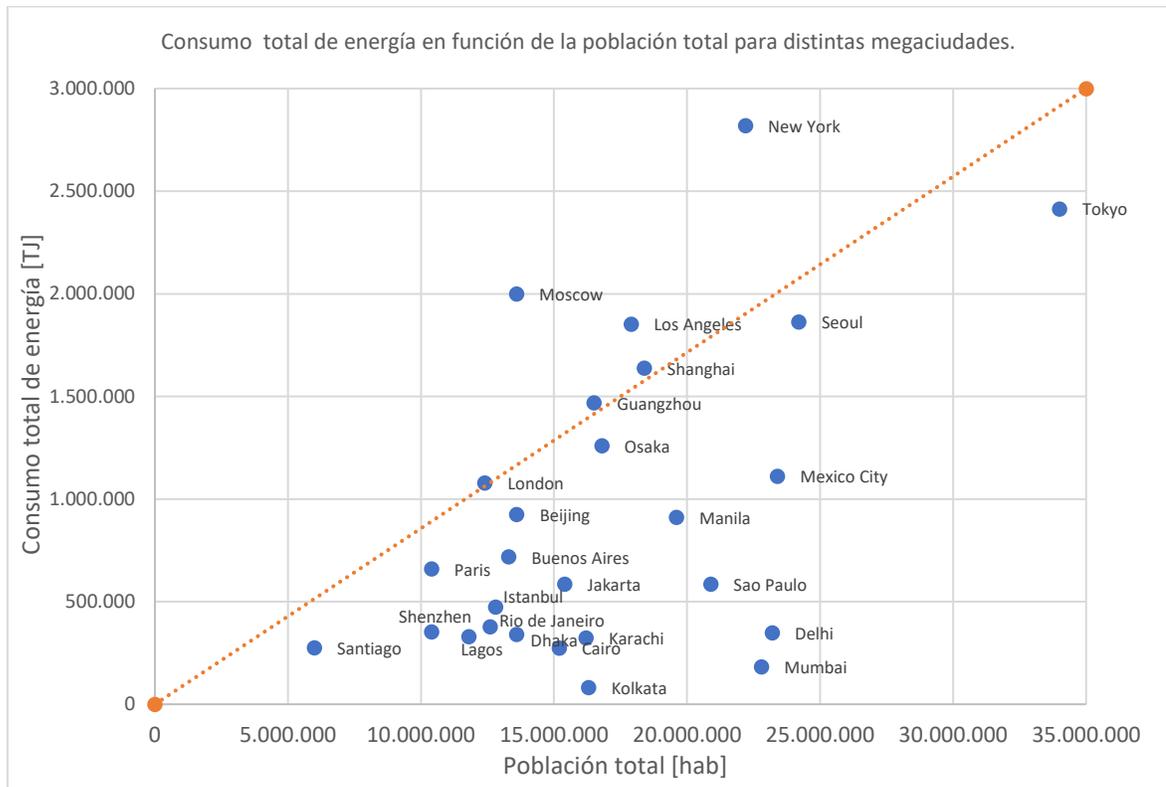


Figura 5-1: Mega ciudades y su consumo total de energía en función de su población[99].

Una primera estimación del consumo energético de una urbanización podría ser establecer una proporción con su población. De tal manera, se supondría que urbanizaciones con mayores poblaciones tienen un mayor consumo (lógicamente, porque tienen más habitantes que sostener) y que este consumo sería linealmente creciente en función de la población. En la Figura 5-1 observamos el comportamiento real de lo recién planteado. Es posible notar que efectivamente las ciudades que tienen poblaciones más grandes muestran mayores niveles de consumo, sin embargo, la tendencia no es estrictamente lineal y, en su mayoría, se muestran consumos que crecen con una pendiente que no es equitativa, favoreciendo a las ciudades más grandes por consumos presuntamente más eficientes. Por lo tanto, es posible desprender que la variable poblacional podría ser un parámetro que afecta positivamente al consumo de recursos energéticos, indicando que un aumento en la población significaría un mayor consumo de recursos totales, sin embargo, el crecimiento sería proporcionalmente favorable pues la población crecería más de lo que crece el consumo.

Otra relación interesante de estudiar es el consumo total de recursos energéticos en función de la superficie urbana total de la ciudad. A pesar de que existen distintas configuraciones geográficas y otros parámetros que podrían afectar, se cree que las ciudades con mayores superficies presentan mayores consumos energéticos debido a las distancias que deben ser recorridas por sus habitantes. En la Figura 5-2 se observa el consumo total de energía de distintas megaciudades en función de su superficie. En la figura es posible observar una relación casi lineal entre la superficie de las megaciudades y su consumo total de energía, indicando una posible correlación entre estas dos variables.

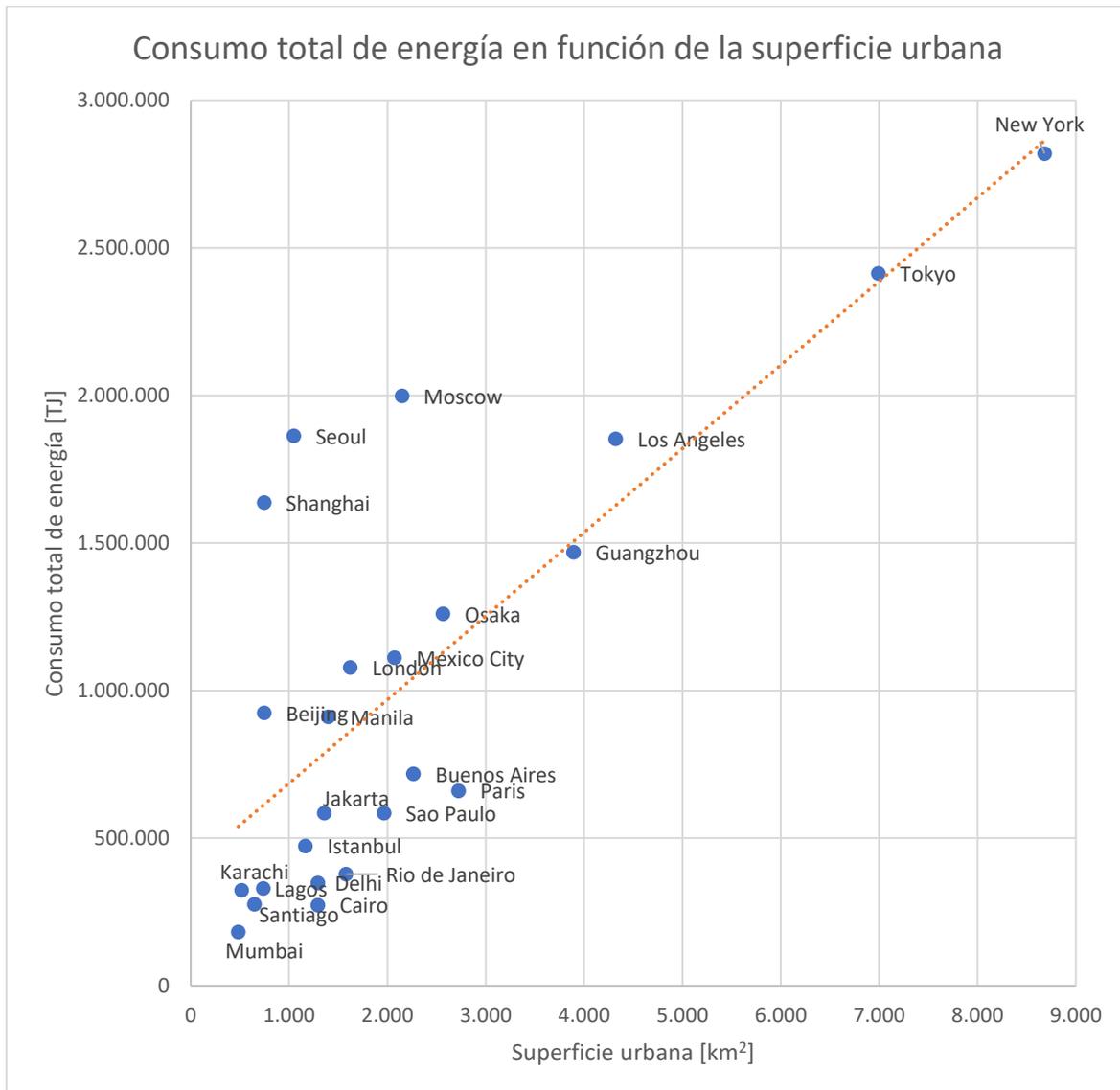


Figura 5-2: Megaciudades y su consumo total de energía en función de su superficie urbana[99].

La hipótesis de que ciudades con mayores superficies tienen un mayor consumo debido a las distancias que se deben recorrer diariamente podría estar entonces sostenida en esta correlación. De esta manera, se podría concluir que el crecimiento espacial de las ciudades podría afectar negativamente en el consumo de recursos energéticos, indicando que ciudades más pequeñas serían una mejor opción para el metabolismo urbano porque el uso de energía se vería reducido.

Retomando las dos ideas recién planteadas, se tienen dos variables que podrían estudiarse para mejorar el uso de recursos energéticos y, por lo tanto, el metabolismo de la ciudad. Por un lado, se concluyó que ciudades más pobladas podrían tener un uso más eficiente de los recursos energéticos y, por otro lado, ciudades más pequeñas tendrían una menor intensidad de uso por las menores distancias a recorrer. Considerando lo anterior, ambas variables podrían estudiarse como un único parámetro de densidad poblacional. Con esto se buscaría estudiar las posibles relaciones entre la intensidad de los flujos de energía y la densidad poblacional.

Como se vio anteriormente, A. Facchini y C Kennedy postulan en su trabajo *The energy metabolism of*

megacities la existencia de una relación entre el consumo de energía y la densidad poblacional [3], señalando que las ciudades más compactas podrían ser más eficientes en términos energéticos. Es por esto que, a través de este indicador, se buscará comparar el comportamiento del Gran Santiago con otras megaciudades dentro de la Figura 1-3. A continuación, en la Figura 5-3 se presentan los resultados del posicionamiento del Gran Santiago dentro del trabajo sobre la eficiencia energética de las ciudades según su densidad poblacional. No fue posible recopilar información del año 2011 para el Gran Santiago por lo que se utiliza el año más cercano (2015).

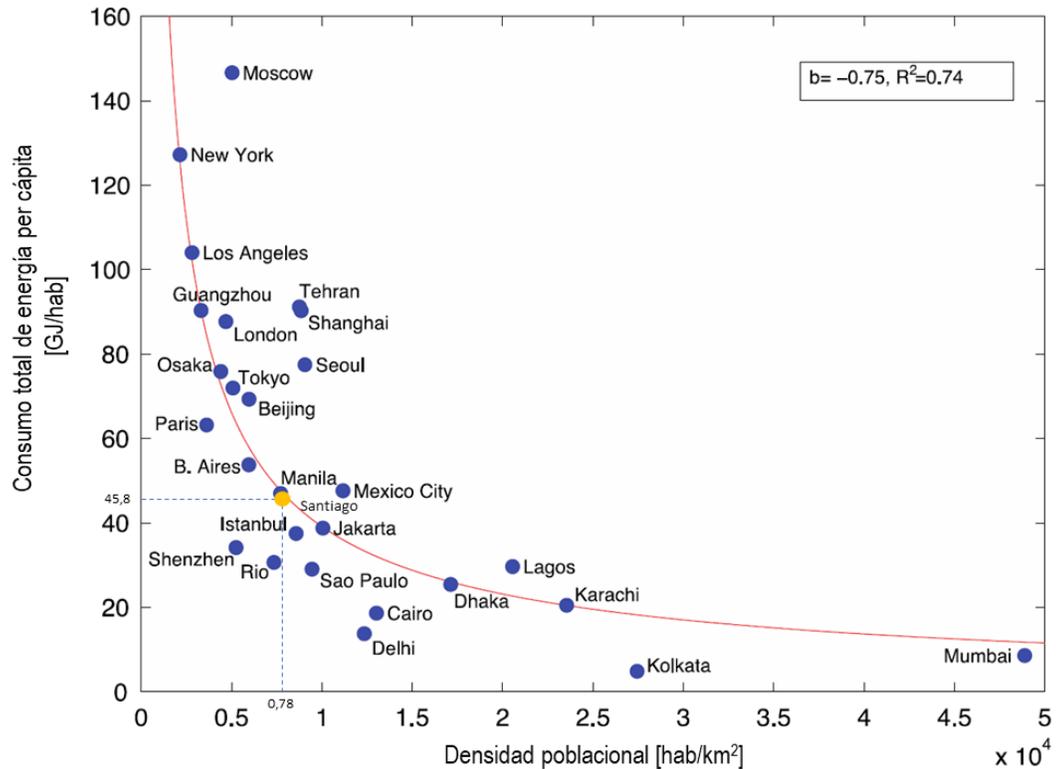


Figura 5-3: Consumo de energía per cápita versus densidad poblacional del Gran Santiago y otras megaciudades del mundo. Adaptado de [3], Santiago: elaboración propia.

Se observa que Santiago se ajusta de buena forma a lo propuesto por los autores, siendo parte de las ciudades que, comparativamente, tienen menor densidad poblacional pero un consumo per cápita relativamente bajo. La ecuación que se ajusta a la curva presentada es la siguiente:

$$y [GJ/hab - año] \approx 39.200 \cdot x^{-0,75} \quad (12)$$

Para entender por qué una mayor densidad poblacional estaría relacionada con un menor consumo energético per cápita se debe entender cómo es el uso de energía en estas condiciones. En zonas de mayor densidad, digamos un edificio, vive una mayor cantidad de personas y utiliza un determinado flujo de recursos. Esta misma de población, si viviera en espacios más amplios, utilizaría más recursos energéticos porque se requiere acondicionar un ambiente más extenso. Imaginemos que acondicionamos térmicamente (energéticamente) una habitación en un lugar con alta densidad poblacional, muchos habitantes aprovecharían esta energía. Imaginemos ahora que acondicionamos una habitación en un lugar con baja densidad poblacional, esta energía sería aprovechada por menos personas. Otro ejemplo en el que se puede traducir la densificación puede ser en el transporte. Imaginemos que en vez de transportar 1 solo habitante en un vehículo se transportan 2, el consumo de

energía por habitante disminuye con este cambio. Extrapolamos el caso a que se transportan 100 habitantes en un mismo vehículo, el consumo por habitante se reduce increíblemente. Si lo pensamos con la lógica de análisis de procesos, la energía pareciera ser reintegrada al sistema porque hay más de una operación (habitante) que utiliza esa misma energía para cumplir sus funciones (o satisfacer su necesidad), asimilándose al concepto de economía de escalas.

Es importante destacar que se podría pensar que en ciudades con temperaturas promedio templadas, el consumo de energía per cápita sea menos intenso que en aquellas ciudades con temperaturas más extremas debido al uso intensivo de calefacción y acondicionamiento de aire. Por lo tanto, la correlación observada podría variar levemente según el contexto geográfico de cada ciudad. Esta misma lógica se puede aplicar para ciudades con grandes superficies, elevaciones de terreno u cualquier otra característica física de la ciudad que no permita hacer una comparación completamente justa.

Adicionalmente, se realiza un análisis para corroborar si esta tendencia de consumo de recursos se observa en el escenario de consumo de energía eléctrica y se compara con la densidad poblacional de cada comuna del Gran Santiago. Los resultados pueden observarse en la Figura 5-4, donde se nota que la tendencia potencial de consumo no es observada de igual manera si los límites espaciales de análisis son por comuna y solo se analiza el consumo eléctrico.

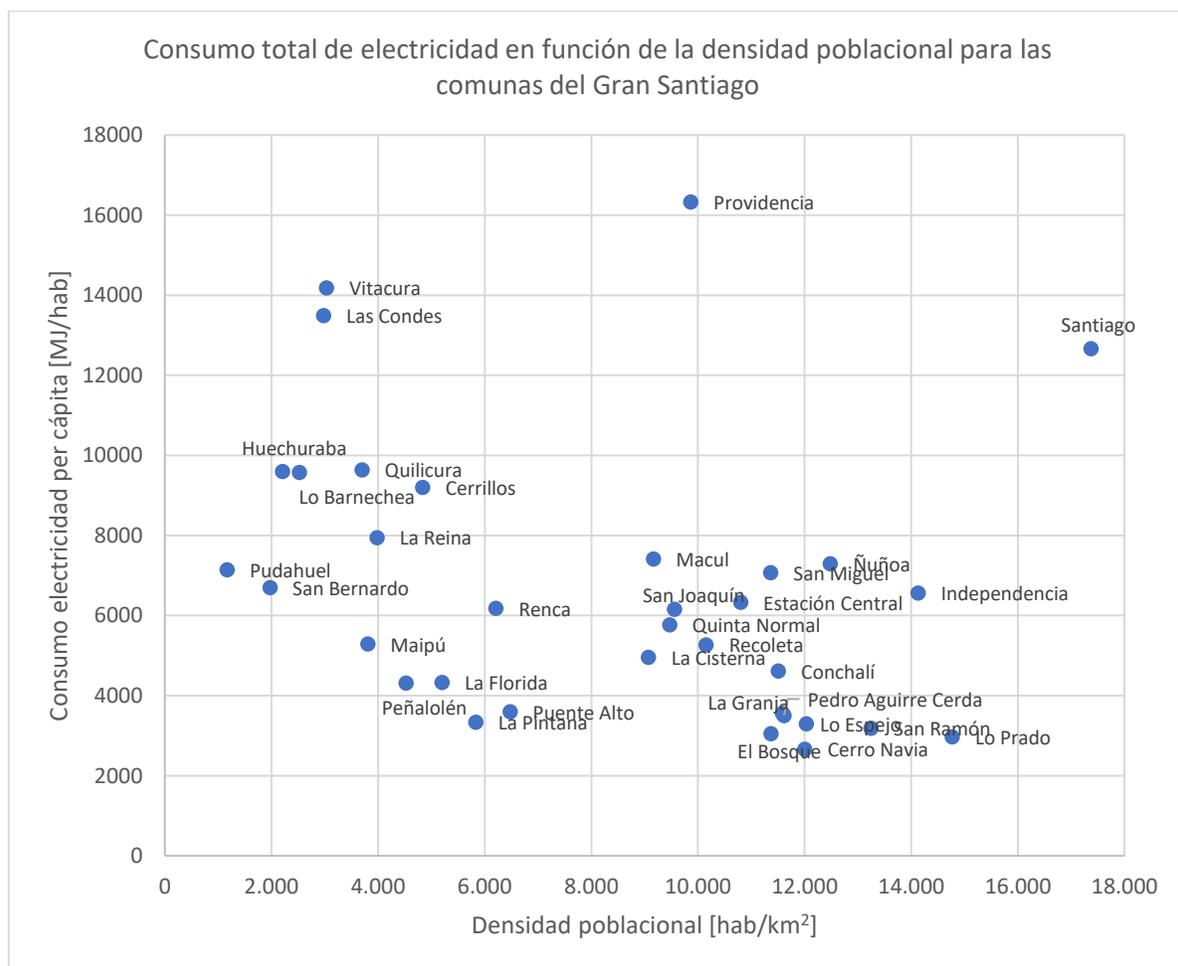


Figura 5-4: Consumo de energía eléctrica per cápita de cada comuna en función de su densidad poblacional respectiva.

Estos resultados se contrastan con los que establecen una relación potencial entre el uso de energía y la densidad poblacional para la ciudad en su completitud para mostrar que no es posible determinar una

relación entre la energía estacionaria (electricidad) y la densidad poblacional. Podría considerarse que si el consumo total de energía de una ciudad está formado por consumos estacionarios y consumos móviles, el comportamiento potencial de la energía en función de la densidad tendría que ser resultado de un comportamiento potencial por parte de consumos estacionarios y móviles por separado. Por lo tanto, con estos resultados sería posible indicar que la relación potencial de consumo no estaría dominada por los consumos de energía estacionarias sino que se refuerza la idea de que son los consumos de energía móvil los que llevarían a favorecer esta correlación potencial.

5.5 Superficie de vegetación urbana

Se tiene la hipótesis de que las ciudades podrían estar acopladas a los ciclos biológicos naturales con el fin de fijar carbono y aportar de forma positiva al metabolismo de la ciudad tal como lo haría un organismo fotosintético. Una ciudad con altos niveles de vegetación podría disminuir o reincorporar flujos de carbono a su metabolismo, favoreciendo a un funcionamiento más sostenible de la ciudad bajo la lógica de que si esta es la responsable de los flujos de carbono, que esta también sea el agente regenerativo. A través de este indicador se busca realizar una primera estimación de la superficie de vegetación urbana necesaria para compensar los flujos de carbono utilizados por la ciudad con el fin de cerrar el ciclo con una mirada fotosintética. Para lo anterior se estiman las hectáreas de vegetación urbana requeridas para regenerar todo el carbono utilizado por la ciudad de Santiago en promedio durante los años 2015 a 2019. Se consideró que la vegetación responsable de esta regeneración será un bosque urbano con especies nativas a la Región Metropolitana. Considerando lo anterior, se toma un factor de secuestro de carbono correspondiente al de un bosque esclerófilo[100]. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 30: Indicador de superficie de bosque urbano equivalente al consumo promedio del Gran Santiago de los últimos 5 años.

Flujo de carbono asociado a:	Flujo promedio de Carbono [kt C] Periodo 2015-2019	Factor de secuestro de carbono bosque urbano [100] [t C / ha año]	Superficie requerida para la regeneración [km ² /año]	Veces la superficie del Gran Santiago [52]	Veces la superficie de la Región Metropolitana [52]
Alimentación	858	1,99	4.312	5,3	0,28
Energía del sector comercial, público y residencial	1.415	1,99	7.112	8,8	0,46
Energía del sector industrial	1.094	1,99	5.499	6,8	0,36
Energía del sector transporte	3.057	1,99	15.360	19,0	1,00
Total de carbono contenido o carbono que debe ser secuestrado	6.424	1,99	32.284	40,0	2,10

Los resultados muestran que la superficie necesaria para reincorporar o regenerar el carbono que fue utilizado por las distintas capas energéticas y materiales del Gran Santiago superan valores factibles. Se observa que para satisfacer solo la alimentación y el consumo de energía se necesitaría una superficie total de 30.255 [km²], unas 40 veces la superficie la ciudad o cerca de 2 veces el tamaño de la Región Metropolitana. Todo esto sin considerar que también existen otras actividades metabólicas en la ciudad como el consumo de bienes, redes de agua, etc.

A pesar de que estos resultados superan cualquier aplicación posible, estos podrían ser incluso mayores debido a las tasas de secuestro de carbono utilizadas. Para el caso de alimentación no se utilizan valores de recaptación de carbono de cultivos alimenticios debido a la dificultad para precisar la composición de origen de los alimentos consumidos, pero se estima que estos representan menores tasas de absorción de carbono biogénico neto por la menor cantidad de biomasa contenida por unidad de superficie. Por otro lado, no fueron considerados dentro del metabolismo urbano otras actividades que también aportan a los flujos de carbono como la adquisición de bienes o servicios ni las cadenas productivas o ciclos de vida de ninguna de las capas, aportando más carbono que el ya estimado. El factor de absorción de carbono que fue utilizado para la obtención de los resultados corresponde al secuestro de carbono que tiene un bosque esclerófilo con una situación de densidad arbórea densa (caso más positivo). Si este fuese el caso, no sería factible que este tipo de bosque coexistiera con las actuales arquitecturas de las ciudades por las dificultades que esto generaría pues se requiere una cobertura superficial por parte de los árboles cercana al 55% para alcanzar este criterio por lo cual pierde completa factibilidad en la actualidad. La eventual aplicación de este tipo de propuestas podría verse reflejada en un mejor uso de energía por atenuación de radiación pero a su vez requiere grandes costos de inversión y de operación. Además, significaría un impacto significativo en los consumos de agua, los cuales no fueron estimados pero podrían representar un peligro para asegurar el acceso al consumo humano.

Lo anterior revela que el metabolismo de la ciudad supera en grandes niveles la capacidad de auto regeneración biogénica para satisfacer los estilos de vida actuales al ser un área considerablemente mayor que la superficie de la región geográfica que contiene al centro urbano. Con esto se concluye que es poco factible que con el metabolismo actual de la ciudad se logre establecer un ecosistema regenerativo acoplado al sistema urbano para compensar sus actividades por las dificultades y costos que esto significaría. Sin embargo, surge el cuestionamiento de si este ecosistema regenerativo debiese estar o no ubicado dentro del centro urbano o si en realidad debiese situarse en el lugar de dónde se extrajo la fuente de carbono en un inicio. Si esto último fuese el caso, los bosques (ya no urbanos necesariamente) si pueden ser una posible forma de compensar los flujos si es que estos estuvieran ubicados en otras zonas. Por último, se debe tener en consideración que todos los flujos fueron compensados a través de un factor relacionado a bosques cuando en realidad podría ser compensado por otras formas de compensación de carbono como cultivos de alimentos, por ejemplo.

A pesar de la existencia de posibilidades de incorporar ecosistemas acoplados al sistema urbano, la baja factibilidad de los bosques urbanos con la arquitectura actual de centros urbanos lleva a pensar que el acoplarse con el ecosistema para entrar en su ciclo es muy costoso (en términos de área, recursos y dinero). Es por esto que se deben evaluar otras alternativas para que los flujos de carbono utilizados sean razonables con el entorno en el que se desarrollan las ciudades.

5.6 Comparaciones de metabolismos

A continuación se presentan los niveles de intensidad del metabolismo urbano de distintos flujos para distintas ciudades del mundo analizadas en el capítulo 2 y su evolución en el tiempo con el fin de evaluar comparativamente cómo es el rendimiento del Gran Santiago. Según lo revisado anteriormente, se esperaría que ciudades con menores densidades poblacionales, como Hong Kong, Vancouver y Toronto, presentaran un uso menos eficiente de los recursos energéticos, mientras que ciudades como París, que tienen una mayor densidad poblacional, presenten uno mejor. Sin embargo, al observar la Figura 5-5, el Gran Santiago tiene un consumo energético per cápita relativamente bajo en comparación con ciudades como París y Toronto (en sus distintos vecindarios), pero tiene un consumo levemente mayor que Hong Kong y que Vancouver. Podría concluirse que, comparativamente, el Gran Santiago se encuentra en un

nivel medio de consumo de recursos energéticos. En este caso, la relación densidad-uso per cápita no entrega conclusiones completamente correctas y por lo tanto se podrían rescatar algunas conclusiones. No es posible afirmar que todas las ciudades se ajustan a este tipo de tendencias, por lo tanto, reducir el consumo de recursos energéticos a solo una variable demográfica (densidad poblacional en este caso) no es completamente exacto. Por otro lado, existe una alta posibilidad de que existan otro tipo de variables demográficas, urbanas o sociales, no necesariamente aquellas relacionadas con la densidad, que impacten de forma positiva (o negativa) en el uso de energía, pero que no han podido ser identificadas. Al comparar los distintos vecindarios presentados para Toronto, es posible notar diferencias importantes en el consumo de energía las cuales son asociadas a los tipos de vivienda (casas o edificios), distancia con el centro de la ciudad y calidad de la infraestructura. Por último, es importante recalcar que deben existir diferencias metodológicas en los cálculos de los valores con los comparando, lo que conlleva a que no se pueda ser preciso en las conclusiones al comparar este tipo de indicadores.

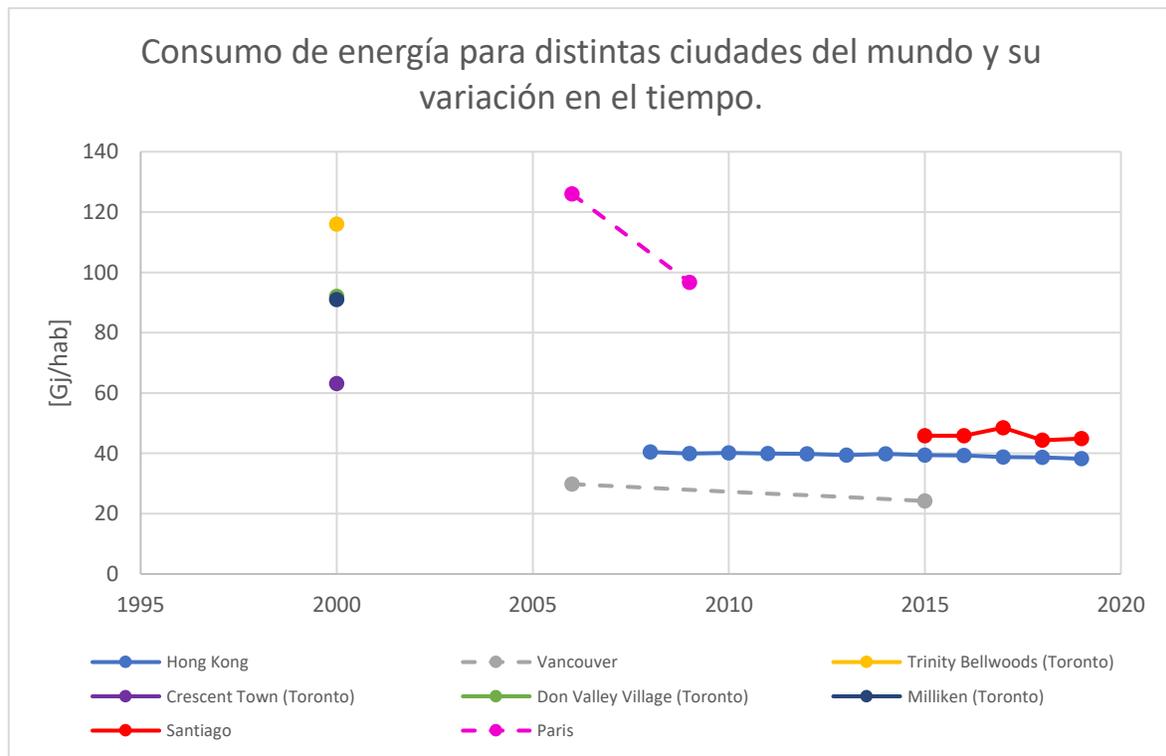


Figura 5-5: Gráfico comparativo: Consumo de energía per cápita en distintas ciudades del mundo.

Con respecto a la comparación del consumo de alimentos per cápita observada en la Figura 5-6, se puede rescatar que, dentro de los centros urbanos comparados, el Gran Santiago tiene un consumo total de alimentos per cápita relativamente bajo. También es posible observar que las variaciones en el tiempo de este indicador son relativamente bajas, todas bordeando un promedio de un 1% anual. De igual manera, el consumo del Gran Santiago podría ser categorizado, comparativamente, como un consumo medio. Por otra parte, este tipo de indicador podría dar indicios a un límite razonable en el consumo urbano de alimentos bajo la lógica de que si un determinado centro urbano logra satisfacer esta necesidad con bajos niveles de consumo, por qué las otras ciudades no. A pesar de lo anterior, los resultados y comparaciones también se encuentran sujetos a posibles errores debido a las diferencias metodológicas que se utilizaron para el cálculo de los flujos en cada ciudad.

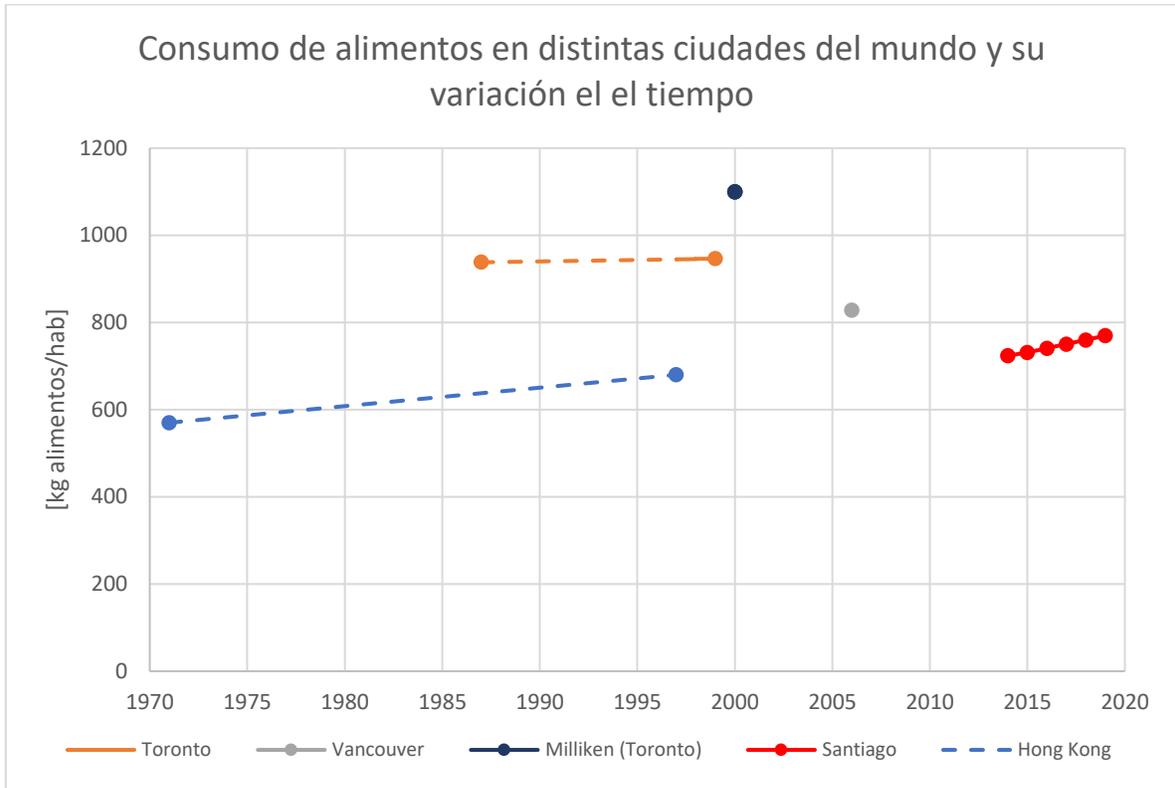


Figura 5-6: Gráfico comparativo: Consumo de alimentos per cápita en distintas ciudades del mundo.

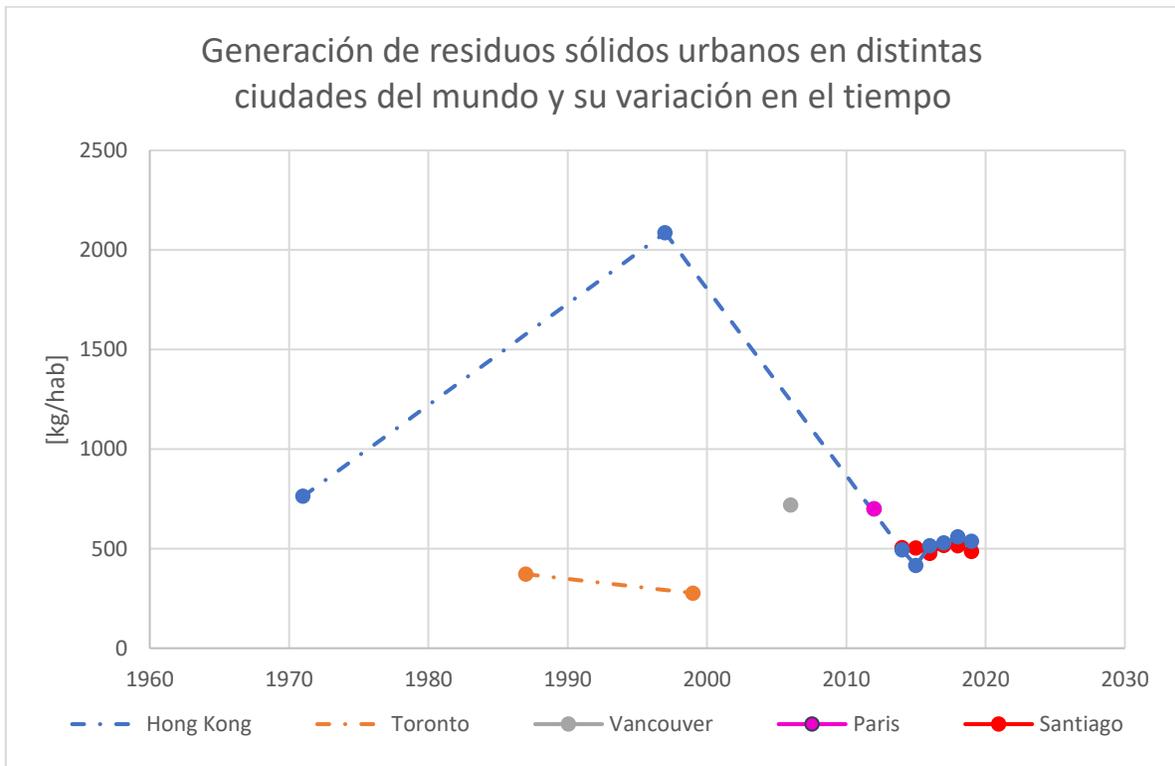


Figura 5-7: Gráfico comparativo: Generación de residuos sólidos urbanos en distintas ciudades del mundo.

Finalmente, al comparar la generación de residuos urbanos del Gran Santiago con otras ciudades o centros urbanos, el Gran Santiago se posiciona dentro de un rango medio alto comparativamente, con tasas de generación de residuos levemente menores que ciudades como Vancouver y París. Cabe destacar que el caso de Hong Kong, que posee información de 1970, 1997 y 2015 en adelante, muestra una variación importante en los residuos urbanos generados. Lo anterior está asociado a una evolución de la ciudad en términos infraestructurales y económicos según lo revisado en [40], pues en 1997 los residuos de construcción eran considerados dentro de la misma categoría. El caso anterior muestra que la transformación estructural y/o económica de las ciudades tiene un costo ambiental o una *intensificación* del metabolismo muy alta en términos de generación de residuos (en este caso consumo de recursos y generación de residuos), pero que los niveles se volverían a estabilizar una vez alcanzados los objetivos de construcción. Esto podría ser una advertencia importante con relación a las conclusiones obtenidas previamente. Si bien el crecimiento de las ciudades podría significar un aumento en la eficiencia del uso de recursos, el camino hacia ciudades más grandes, en términos de infraestructura, significa un costo ambiental y una intensificación del metabolismo importante en término de consumo de recursos y generación de residuos.

A modo de conclusión parcial, se tiene que el Gran Santiago presenta niveles de consumo medios en términos energéticos, niveles de consumo medios y crecientes en términos de alimentación y, por último, niveles generación de residuos medio-alta. Ninguno de los indicadores posiciona a Santiago como un ejemplo positivo en términos de metabolismo urbano pues todos ellos podrían mejorar si se evaluaran acciones operacionales o de gestión concretas dentro de la ciudad.

6 Propuestas para mejorar el metabolismo del carbono de Santiago

Recopilando las conclusiones que se obtuvieron en la sección de cálculo de flujos e indicadores y considerando las directrices establecidas por la ONU en sus objetivos 9, 11 y 12 de desarrollo sostenible, se evalúan 4 escenarios con el objetivo de mejorar el rendimiento del metabolismo urbano del Gran Santiago. Para cada escenario se analizará la variación de los flujos totales de carbono de la ciudad y se evaluará cómo mejora el rendimiento del metabolismo cada propuesta en función de la disminución de los flujos de carbono. El supuesto principal de cada propuesta evaluada es que la descarbonización del metabolismo tendría efectos ambientales positivos. Cabe destacar que el concepto de descarbonización en este trabajo hace referencia a la eliminación del carbono de los flujos utilizados en la ciudad y no únicamente a la eliminación del carbón como fuente de combustible como ha sido mencionado en otros contextos [101].

6.1 Escenario 1: Electrificación del transporte

A continuación se presenta la evaluación de propuesta de electrificación completa del sector transporte, sector que comparte la mayor parte de los flujos totales de energía y el mayor aporte de flujos de carbono a la atmósfera. En este caso se considera que el requerimiento energético del sector transporte abastecido por combustibles fósiles líquidos y gaseosos será abastecido por la matriz eléctrica (Servicio eléctrico nacional).

Se realizará una comparación entre los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 y el escenario 1 analizando los flujos de carbono asociados a cada una de las fuentes energéticas (fósiles y eléctrica) para determinar cuál tendría un mejor rendimiento. A continuación se presentan los resultados de flujos de carbono totales en el sistema urbano al reemplazar del requerimiento energético del sector transporte desde fuentes líquidas fósiles a electricidad para distintos años.

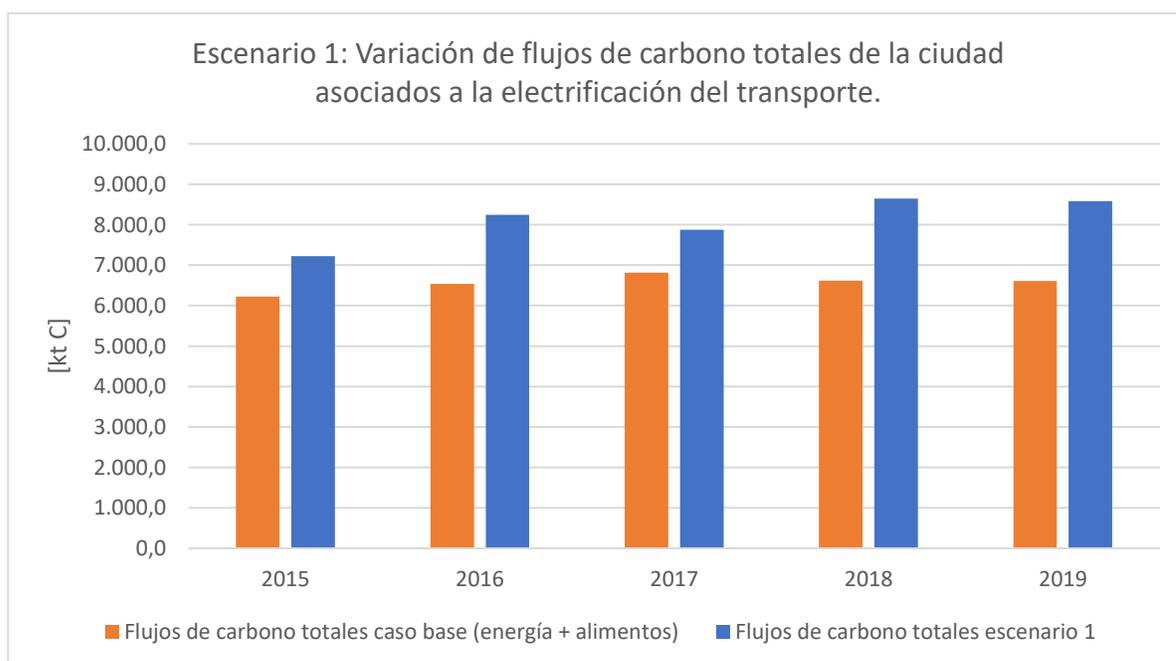


Figura 6-1: Escenario 1: Variación de flujos de carbono totales de la ciudad por electrificación del transporte.

Para todos los años evaluados, la electrificación del consumo energético asociado al sector transporte hubiese significado un aumento de los flujos de carbono entre 13% y un 23%. Los resultados obtenidos sugieren que satisfacer una determinada demanda energética tiene mayores impactos si esta es abastecida por la red eléctrica actual (2015-2019) que directamente desde los combustibles. Estos resultados parecen ser contradictorios con el análisis del contexto mencionado en las secciones anteriores, en particular con lo relacionado a la electrificación de la red de transporte del Gran Santiago. A continuación se discuten algunas de las razones de los resultados.

En primer lugar, el reflejo inicial de la opinión pública sobre la electrificación del transporte es que las emisiones generadas disminuyen, sin embargo, lo anterior es cierto solo para las emisiones directas generadas por los vehículos pero deja de lado las emisiones indirectas asociadas a la producción de la electricidad. Generar energía eléctrica en la actualidad tiene en su origen la utilización de combustibles fósiles como el carbón o el gas natural, provocando que esta no esté libre de emisiones, creando una percepción errónea sobre el uso de electricidad. Así mismo, se desconocen qué límites considera la construcción del factor de emisión de producción de electricidad y, por lo tanto, este podría estar considerando emisiones asociadas a otros conceptos distintos de la producción, aumentando así el valor de este factor y por lo tanto las emisiones totales calculadas. También es desconocida la metodología de cálculo de emisiones que son utilizadas en cada una de las distintas plantas productoras de energía eléctrica. Para este trabajo se utilizó la metodología de nivel 1 de cálculo de emisiones para inventarios nacionales del IPCC [81] y de no ser utilizada la misma metodología, los resultados podrían presentar variaciones como las recién observadas. También es relevante el poder calorífico que fue utilizado para el cálculo de las emisiones en ambos casos. Utilizar el poder calorífico superior se refleja en un cálculo total de emisiones mayor que utilizar el poder calorífico inferior y por lo tanto, esta también puede ser una fuente de errores. Por último, la metodología de cálculo de uso de energía del sector transporte que se utilizó en este trabajo corresponde a una del tipo *top-down*. Lo anterior significa que se cuantificó el total del consumo de energía por el sector transporte en la ciudad, donde el máximo nivel de detalle es el tipo de combustible que se utilizó. Esto también puede ser una fuente de error en las emisiones calculadas ya que se desconoce cómo fue utilizada esta energía, en qué vehículos o con qué tecnologías, generando incertidumbre en los totales calculados.

En caso de que los resultados tuvieran concordancia metodológica, lo observado podría explicarse con que la matriz eléctrica de Chile aún tiene en su composición una participación cercana al 50% de combustibles fósiles que aportan con cantidades significativas de CO_{2-eq} (y por lo tanto de carbono) durante la producción de energía eléctrica [59]. Esto es posible de notar en las barras de la Figura 6-1, pues se observa que dependiendo del factor de emisión con el que se calculen las emisiones y sus flujos de carbono respectivos, existirá una variación importante en los resultados. Estos resultados sugieren que para obtener un total de flujos de carbono menor con la electrificación o un metabolismo menos intensificado, en este caso del transporte, la matriz eléctrica del país debe continuar diversificándose con fuentes de energía no basadas en el carbono y disminuir aún más su factor de emisión de producción de electricidad.

6.2 Escenario 2: Electrificación del transporte + descarbonización de matriz energética.

Como se pudo desprender de la sección anterior, las fuentes de energía que componen la producción de electricidad y el factor de emisión resultante son fundamentales para que la electrificación del transporte presente un mejor rendimiento que el escenario base (combustibles fósiles). Es por esto que el escenario 2 contempla una evaluación de la electrificación del transporte utilizando las proyecciones del factor de emisión de producción de electricidad, considerando la incorporación de nuevas centrales de energía renovable y las metas de carbono neutralidad del país. Observando la proyección del factor

de emisión elaborada por el Ministerio de Energía el año 2020 [102], se puede desprender que cercano al año 2025 el factor de emisión de la red eléctrica ya sería menor a 0,2 [t CO₂ / MWh] y el 2050 alcanzaría un valor del 0,06 [t CO₂ / MWh]. Estos valores son los utilizados para evaluar la propuesta.

A continuación se presentan los flujos totales de carbono del sistema urbano resultantes para cada caso. El escenario base fue elaborado considerando el promedio de flujos de carbono de los años 2015 a 2019, mientras que el escenario 2 fue determinado utilizando como base de requerimiento energético el promedio de consumo del periodo 2015 a 2019, pero reemplazando el consumo del sector transporte por uno electrificado con un factor de emisión estimado para el año 2025 y otro para el año 2050.

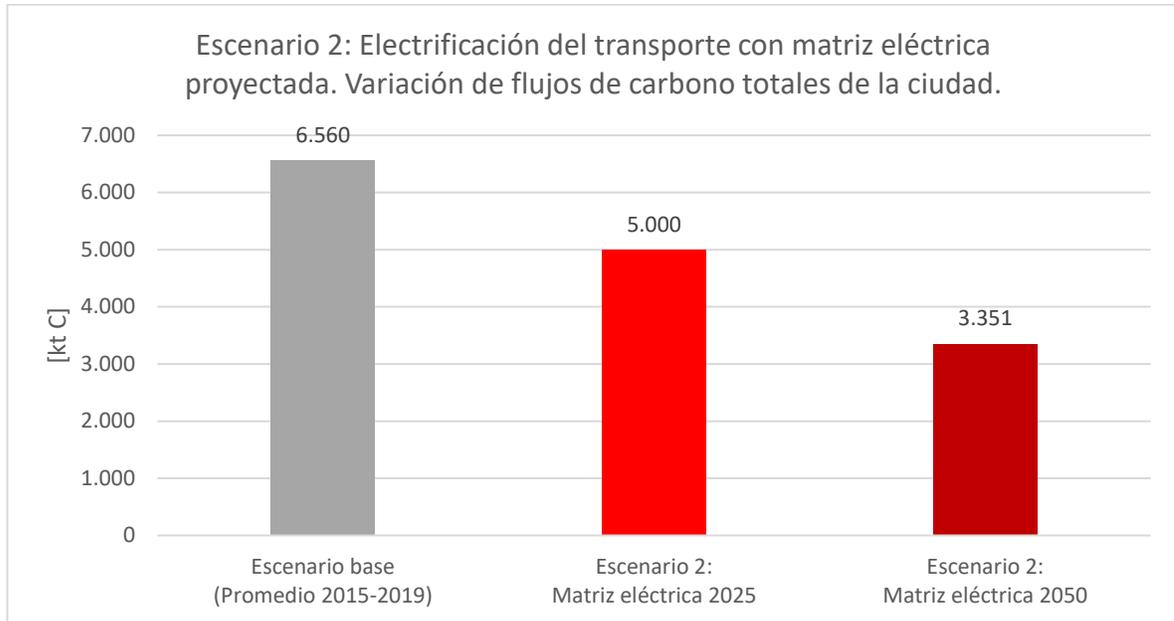


Figura 6-2: Variación de los flujos totales de carbono de la ciudad para el escenario 2: Electrificación del transporte con factor de emisión de red eléctrica proyectado al 2025 y 2050.

Se observa que al plantear un escenario de electrificación de transporte con una matriz eléctrica con un factor de emisión decreciente, las emisiones se comportan positivamente. Analizando la variación de las emisiones totales, se tiene una disminución del 24% para el año 2025 y una disminución del 49% hacia el 2050. Con estos resultados se confirma la hipótesis de que para que el transporte eléctrico sea efectivamente menos impactante en términos de intensidad de flujos de carbono, este debe tener una matriz eléctrica con una mínima participación de combustibles fósiles. Según los resultados obtenidos, el valor crítico del factor de emisión para que la energía eléctrica se convierta en un mejor suministro energético es de aproximadamente 0,26 [t CO₂ / MWh], valor que según la proyección debió haber sido alcanzado al 2020. A pesar de lo anterior, los valores reportados al 2022 aún bordean los 0,4 [t CO₂ / MWh] [66], observándose un retraso en lo anticipado y reflejándose en mayores emisiones. El resto de los flujos de carbono que se obtienen en las proyecciones del año 2025 y 2050 son los flujos asociados a las otras capas del metabolismo.

6.3 Escenario 3: Densificación de la ciudad

En la sección 5.4 se concluyó que el Gran Santiago se ajustaba de buena manera a la relación de consumo energético per cápita en función de la densidad poblacional. En este escenario se evaluará

cómo varía el consumo de energía y los flujos de carbono asociados al densificar la ciudad en distintos porcentajes. La ecuación que modela este comportamiento es la presentada a continuación, donde x representa la densidad poblacional [hab/km^2] de la ciudad:

$$y [GJ/hab] \approx 39.200 \cdot x^{-0,75} \quad (13)$$

Debido a que no se encontró alguna tendencia en el cambio de la densidad poblacional de las mega ciudades, en particular para el Gran Santiago, para estudiar los efectos que plantea este escenario se evaluarán aumentos porcentuales de la densidad poblacional en escalones de 10% hasta llegar a un aumento del 100%. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 31: Evaluación del Escenario 3 para distintos porcentajes de aumento en la densidad poblacional y su disminución de consumo respectiva.

	Densidad poblacional [hab/km^2]	Aumento de la densidad	Densidad similar a (2019)[50]:	Consumo estimado [$\text{GJ}/\text{hab} - \text{año}$]	Variación del consumo con respecto al caso anterior	Variación del consumo con respecto al caso base	Flujos de carbono por consumo de energía [$\text{kt C}/\text{año}$]	Flujos de carbono totales de la ciudad [$\text{kt C}/\text{año}$]
Escenario base (2019)	8.059	-		44,92	-	0	5.692	6.607
Escenario 3	8.864	10%	La Cisterna	42,91	4%	4%	5.437	6.352
	9.670	20%	Macul	40,20	6%	11%	5.094	6.009
	10.476	30%	Providencia	37,86	6%	16%	4.797	5.712
	11.282	40%	El Bosque	35,81	5%	20%	4.538	5.453
	12.088	50%	San Miguel	34,00	5%	24%	4.309	5.224
	12.894	60%	Estación Central	32,40	5%	28%	4.105	5.020
	13.700	70%	Ñuñoa	30,96	4%	31%	3.923	4.838
	14.505	80%	-	29,66	4%	34%	3.758	4.673
	15.311	90%	Lo Prado	28,48	4%	37%	3.609	4.524
16.117	100%	Independencia	27,40	4%	39%	3.473	4.388	

Analizando la figura Figura 5-3 para contrastarla con estos resultados, se observa que Santiago tiene una densidad poblacional que la posiciona en un lugar de la curva donde la pendiente del consumo es significativamente menor que si esta tuviera una densidad menor. Lo anterior se puede ver reflejado en la Tabla 31 y en la Figura 6-3 donde se nota que el aumentar en un 10% la densidad poblacional de la ciudad de Santiago solo disminuye el consumo y los flujos de carbono en un 7%. El caso más extremo evaluado corresponde a la densificación en un 100% o equivalentemente duplicar la cantidad de población manteniendo la misma área urbana, este escenario disminuiría el consumo en un 41% en comparación con el caso base (2019). Para tener como referencia, un aumento de densidad poblacional del 10%-20% conllevaría a que el total del Gran Santiago fuera similar a comunas como La Cisterna o Macul, un aumento del 50%-60% a comunas como San Miguel y Estación Central y un aumento del 100% a comunas como Independencia.

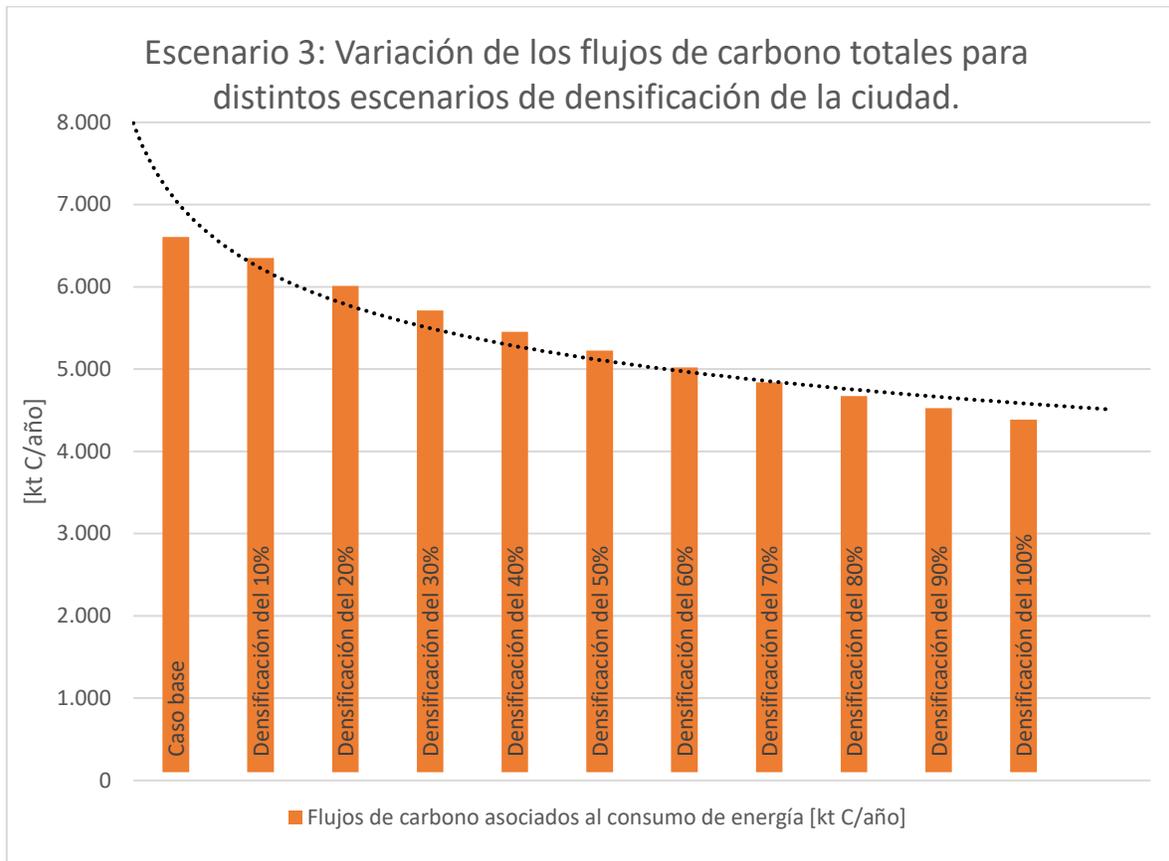


Figura 6-3: Variación de los flujos de carbono emitidos a la atmósfera por consumo de energía bajo los distintos escenarios de densificación de la ciudad.

Para ejemplificar en mayor profundidad las disminuciones de consumo de energía, se presenta la tabla a continuación:

Tabla 32: Variación del consumo de recursos energéticos en función del aumento constante de población. Ejemplificación.

Casos hipotéticos de ejemplificación		
Densidad inicial [hab/km ²]	Densidad final [hab/km ²]	Variación en el consumo
5000	6000	13%
6000	7000	11%
7000	8000	10%
8000	9000	8%

La tabla muestra que el que aumento de la población en 1.000 [hab] no tendría el mismo efecto si es que es una ciudad con una baja densidad poblacional inicial (5.000 [hab/km²]) o en una con una alta densidad inicial (8.000 [hab/km²]). Con se concluye que la densificación podría ser una buena alternativa para optimizar el consumo de recursos siempre que las ciudades se encuentren en un rango de densidad poblacional bajo. De todas formas, esta alternativa debiese ser contrastada teniendo en consideración aspectos económicos y sociales tales como los costos de inversión y operación que esto tendría o el cambio cultural y social que significaría vivir en ciudades con mayores densidades poblacionales.

A pesar de lo anterior, la densificación no necesariamente tiene que entenderse como una densificación generalizada de la ciudad o solo del sector residencial sino que podría aplicarse de forma localizada o sectorizada. Por ejemplo, este escenario puede aplicarse en el sector transporte (sector con mayor aporte de flujos de carbono) con el fin de densificar la movilización de las personas, promoviendo una mayor utilización del transporte público. Como fue expuesto anteriormente, una mayor cantidad de personas transportadas en un mismo vehículo puede generar que una misma unidad de energía sea mejor aprovechada, reduciendo así el total de consumo energético utilizado para una misma actividad. Siguiendo esta misma línea, otra variante de esta propuesta podría combinar la reducción de transporte y la densificación. Si el transporte corresponde a una de las actividades de mayor intensidad urbana, una mejora sustancial podría ser descentralizar las actividades urbanas y desplazarlas a las comunas donde residen los habitantes. Esto puede ser entendido como una des densificación de las comunas más densas para densificar aquellas con menor densificación.

Los resultados obtenidos en esta evaluación podrían estar alejados de la realidad ya que no existe seguridad de que la tendencia observada para las distintas ciudades del mundo deba ajustarse de forma precisa al caso particular de Santiago. Una mejor aproximación de esta propuesta podría ser evaluar el comportamiento del consumo de energía per cápita de Santiago en sus distintos años y corroborar si este sigue un comportamiento potencial con respecto a la densidad poblacional.

6.4 Escenario 4: Servitización de alimentación

Una de las ramas de la sustentabilidad que fueron revisadas en la introducción propone que la Servitización podría ser una buena alternativa para mejorar el desempeño ambiental de un determinado producto. Lo anterior puede aplicarse en el proceso de alimentación basado en el consumo de productos alimenticios y convertirlo en el consumo de un servicio de alimentación con el fin de mejorar la eficiencia de consumo y disminuir las pérdidas o generación de residuos. Algunas de las consideraciones que se deben tener en cuenta para que este escenario se convierta en una realidad son aumentar la eficiencia de consumo de los alimentos, consumir alimentos que generen menos residuos, cambio cultura sobre los alimentos y la relación que se tiene con ellos.

La lógica de esta disminución está basada en la idea de que si anualmente se están disponiendo cerca de 1743 [kt] de alimentos a relleno sanitario, su entrada respectiva podría ser eliminada por completo del sistema urbano y la alimentación aún seguiría estando cubierta por el resto del consumo. Lo anterior se traduce a que en este escenario hipotético no existirán salidas residuales domiciliarias a relleno sanitario de alimentos, reflejándose en una disminución del consumo en la entrada del sistema. Para este escenario se tendrán las siguientes consideraciones:

1. El total del consumo aparente es considerado como consumo humano/consumo urbano.
2. No existen otros consumos/otros residuos.
3. El 100% de los residuos orgánicos de alimentación promedio del periodo 2015-2019 serán eliminados, considerando que estos son prescindibles como flujo de la capa de alimentación, haciendo una disminución en la entrada de consumo aparente.
4. Se define el *consumo-ingesta* como los alimentos efectivamente ingeridos por las personas (no los adquiridos).

Los flujos totales de carbono resultantes para el caso base fueron elaborados considerando el promedio de flujos de carbono de los años 2015 a 2019, mientras que el escenario 4 fue determinado utilizando como base el promedio 2015-2019 pero un aprovechamiento del 50 y 100% respectivamente de los residuos. En el Anexo UAnexo se presenta la Figura 0-17 que muestra un nuevo diagrama para entender los supuestos tomados en este escenario. Los resultados obtenidos con el escenario 4 se muestran en la Figura 6-4.

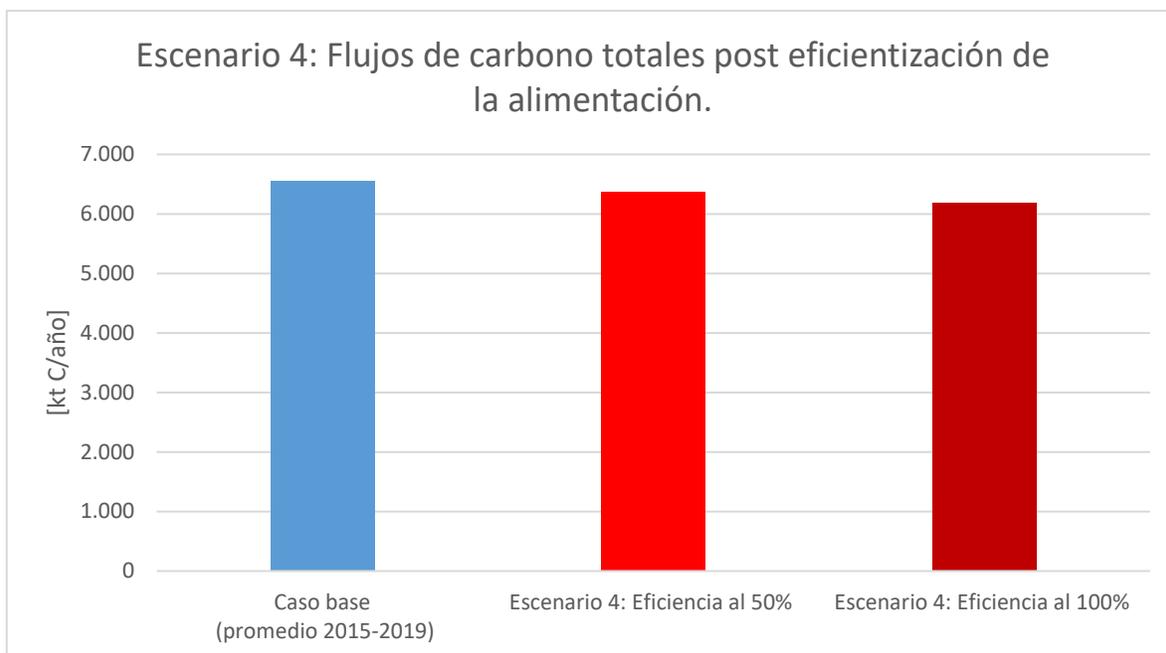


Figura 6-4: Resultados escenario 4. Eficientización de la alimentación a través de la eliminación de residuos de alimentos.

Se observa en el gráfico anterior que el eliminar los residuos orgánicos de alimentos promedio generados en el Gran Santiago para ser considerados como una entrada 50 o 100% consumible no logra disminuir los flujos de carbono totales de forma significativa, observándose una disminución del 3% y 6% respectivamente. A pesar de que no es observable en este gráfico, la disminución en la entrada de alimentos alcanza una disminución cercana al 43% que significa una disminución importante si es que solo se analizara la capa de alimentos y no el total. Es importante rescatar que existen otros impactos relacionados a la alimentación que no se encuentra necesariamente en su consumo sino que en su producción o distribución y por lo mismo, una reducción del 43% en su demanda podría significar mucho más que lo recién presentado. Además de lo anterior, el reducir los consumos y residuos de alimentación tiene otro impacto que no fue evaluado en este trabajo y tiene relación con las emisiones de metano por descomposición.

Si bien, la mayoría de los residuos orgánicos en el Gran Santiago son gestionados en rellenos sanitarios, no todos ellos cuentan con tecnologías de captación de emisiones, generando emisiones fugitivas contaminantes a la atmósfera. A pesar de lo anterior, es posible concluir con estos resultados que la capa de alimentación no marca una diferencia importante en términos de carbono por la baja intensidad comparativa que estos tienen con respecto a los combustibles.

En esta propuesta tampoco fue evaluado el potencial energético que tienen los alimentos para su conversión en combustibles. De ser así, el transformar los residuos en combustibles podría tener un efecto directo en la demanda de combustibles, generando una disminución del consumo y una reducción de los flujos de carbono totales que ingresarían al sistema.

6.5 Comparación de escenarios

A continuación se presenta una comparación de los escenarios de mejora recién planteados con el fin de determinar la mejor alternativa para la mejora del metabolismo urbano en términos de disminución de flujos de carbono utilizados en la ciudad. Los resultados se presentan en la Figura 6-5.

Con los escenarios ya estudiados se concluye que la mejor opción para mejorar rendimiento de metabolismo urbano en términos de la intensidad de flujos de carbono es el Escenario 2, electrificación del transporte con factores de emisión al 2050. Al incorporar la electrificación del transporte con una matriz energética carbono neutro casi en su totalidad se genera una disminución de los flujos totales de carbono en un 49%, mientras que el Escenario 2 que considera electrificación del transporte con una matriz eléctrica proyectada al 2025 genera una disminución de los flujos de carbono en un 24%, quedando como tercera mejor opción. Estos resultados son completamente esperados ya que el transporte es el sector que mayor aporte genera a los flujos totales de carbono. La segunda mejor opción corresponde a la densificación de la ciudad en un 100% que considera pasar de una densidad poblacional de 9.930 [hab/km²] a 19860 [hab/km²], generando una disminución de los flujos de carbono totales en un 34%. Esta última alternativa a pesar de ser positiva en términos de flujos de carbono puede ser alta en otros costos, económicos o sociales. Es por esta razón que se debe estudiar esta propuesta pero desde otra perspectiva, rescatando que no necesariamente se debe densificar la ciudad completa para lograr mejoras en el uso de recursos, sino que se puede evaluar una densificación parcial de algún otro sector para lograr los mismos resultados. En último lugar se encuentran las alternativas de servitización o eficientización de alimentación y densificación de un 10%. A pesar de que la propuesta relacionada con la alimentación no tiene efectos totales importantes debido la alimentación de por sí aporta con bajos flujos de carbono, aplicar las medidas relacionadas con esta propuesta puede ser mucho más fácil y económico que otras alternativas. Además, como ya fue mencionado, esta propuesta puede tener un impacto positivo que no fue evaluado relacionado con la disminución en la intensidad de uso de fertilizantes y cambio en el uso de suelo.

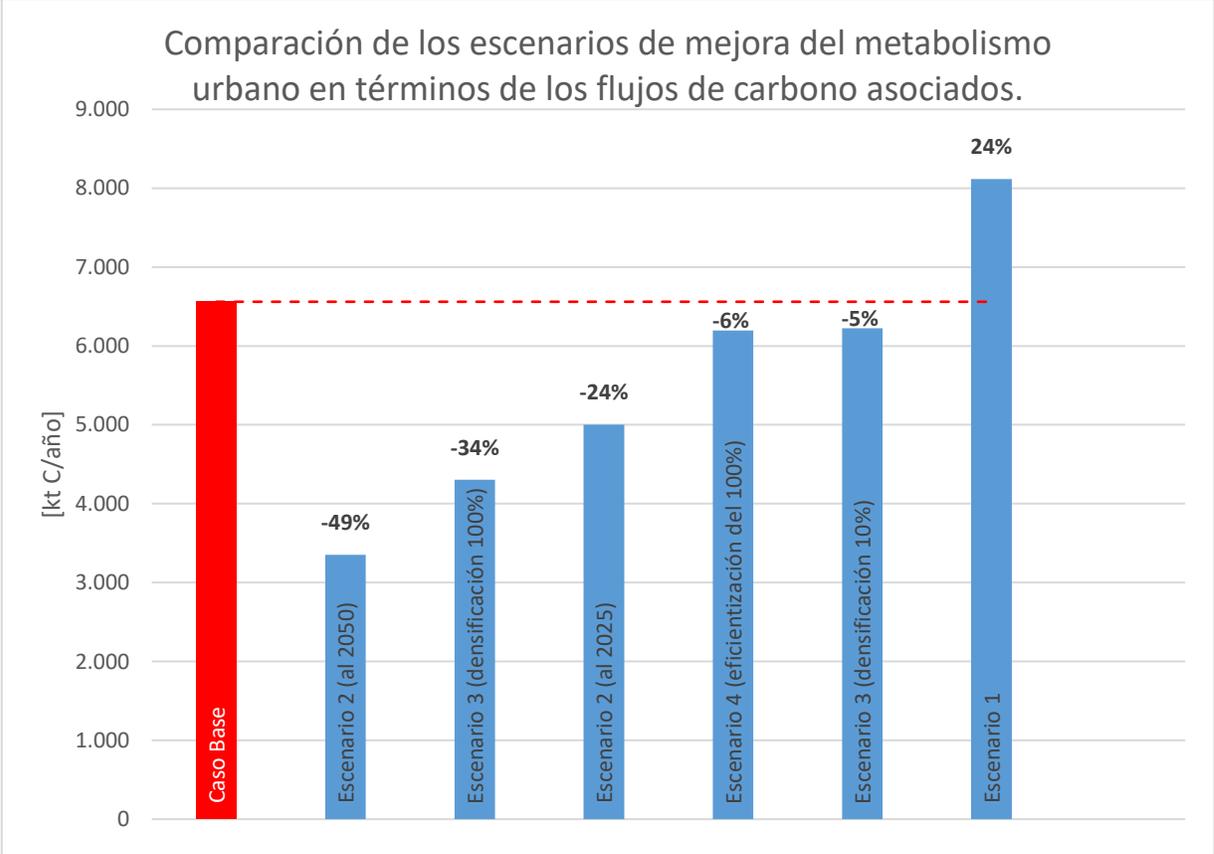


Figura 6-5: Comparación de escenarios de mejora de metabolismo urbano en términos de utilización de flujos de carbono. Porcentajes representan las disminuciones o aumento de los flujos en comparación con el caso base.

Otras alternativas que no fueron evaluadas en los escenarios de mejora podrían estar centradas en establecer cotas de consumo razonable en función de las conductas de consumo de los habitantes. Como se mostraba en la sección 4.1, existe un consumo energético desigual entre las comunas de Santiago. Al comparar el consumo per cápita de las comunas, se observa que Providencia, que tiene el mayor consumo de electricidad per cápita, tiene un consumo 6 veces mayor que Cerro Navia. Este tipo de comportamiento conlleva a cuestionar si es que existen cotas mínimas o máximas de consumo que permitan el funcionamiento fundamental de la ciudad. A pesar de que es discutible si las condiciones de desarrollo de vida urbano o estándares de vida en las comunas con un menor consumo son comparables con las comunas de mayor consumo, es claro que existe un punto medio que podría plantearse como cota de consumo saludable o razonable para la ciudad. Además de concientizar a los habitantes de la ciudad sobre sus conductas de consumo, los esfuerzos para mejorar podrían estar centrados en los fundamentos de la economía circular: evitar consumos innecesarios, reducir entradas materiales al sistema urbano, desmaterializar flujos o servitizar.

7 Discusiones generales

La principal dificultad que se presentó para desarrollar este trabajo estuvo relacionada a la metodología. Primeramente, durante la realización de este trabajo, existió una extensión en el análisis de los aspectos urbanos. Lo anterior buscaba incorporar nueva información del contexto a la modelación del sistema y a la elección de variables, sin embargo, se utilizaron las variables más comunes: población, densidad, área; explorando levemente el elemento de vegetación urbana. Lo anterior significó menos tiempo para explorar la cuantificación de otras capas.

Por otro lado, al no existir una forma estándar de modelar los sistemas urbanos, los flujos que se cuantificaron y los sectores a los que estos fueron asignados podrían ser menos relevantes o diferir de otros por estar elegidos a criterio del autor. Lo anterior no permite que la comparación con otros trabajos sea totalmente precisa pues se desconoce si el manejo de datos o la categorización de información son similares, generando posibles diferencias en los resultados.

La información también formó parte de las dificultades en el desarrollo. Debido a la múltiple existencia de un mismo dato para el consumo de recursos energéticos, pero con diferente información, no existía seguridad de cuál conjunto utilizar. Además, no existió el nivel de desagregación de información por comuna o provincia esperado, generando la aproximación de flujos con tendencias nacionales o regionales. Por ejemplo, los consumos de combustibles se encontraban a nivel regional y estos fueron ponderados por la población del sistema para obtener el valor a nivel de ciudad, suponiéndose que se presentaba el mismo comportamiento que la con región. Lo anterior corresponde a un supuesto fuerte, pues dentro de la zona urbana existe una presencia industrial mucho menor de la que existe en la totalidad de la región, por lo tanto, el consumo se aleja de ser proporcional solo a la población.

Además, la cuantificación de alimentos tuvo un tratamiento de información similar al anterior. Se utilizó información nacional para estimar el consumo local, asumiendo que el comportamiento del Gran Santiago es idéntico al nacional. Adicionalmente, los datos de consumo de alimentos fueron complementados con información del Ministerio de Salud particular de la Región Metropolitana que mostraba un consumo de alimentos mayor que el declarado por la ODEPA. Por último, se realizó una extrapolación lineal sobre el consumo de alimentos para estimar información de los años 2014 a 2019 de la cual no se tenía disponibilidad. A pesar de lo anterior, los niveles de consumo de energía y alimentación están dentro de rangos comparativos y fueron útiles para posicionar y comparar el metabolismo con otras ciudades.

Con respecto a los indicadores per cápita obtenidos, se observan comportamientos positivos al resultar que la mayoría de estos tienen tendencias a la disminución. A pesar de lo anterior, se cree que estos podrían estar sujetos a errores debido a que los valores de la población se encuentran elaborados con estimaciones que no necesariamente se ajustan a la realidad. Al momento de analizar los datos de población, se observó que las proyecciones elaboradas por el INE presentaban valores de población mayores a los reales reportados por el mismo organismo para los censos respectivos. Es por esta razón que se cree que los valores de población podrían estar sobre estimados y por lo tanto los indicadores de uso per cápita podrían verse alejados de la realidad ya que la población utilizada podría ser mayor a la de la realidad.

Entre las propuestas para mejorar el metabolismo de la ciudad se encuentra la densificación de la ciudad. Para evaluar los resultados de esta propuesta se utilizó la correlación que se estableció para el consumo per cápita de energía en función de la densidad población. Esta propuesta fue categorizada como la segunda mejor propuesta, sin embargo sus resultados están sujetos a supuestos que alejan la propuesta de la realidad. La correlación fue obtenida en función de muchas ciudades del mundo que no tienen por qué tener comportamientos similares. Existen otras variables urbanas que pueden estar

generado este comportamiento y extrapolar resultados con esta podría no ser del todo preciso. A pesar de lo anterior, también se obtuvo una correlación similar para el consumo de energía eléctrica en función de la densidad poblacional utilizando información propia de Santiago, demostrando que este comportamiento podría ser replicado en el contexto local. Sin embargo, como no se tiene certeza de lo anterior, la propuesta tiene un nivel de aceptación relativamente bajo al tener un alto error asociado.

Otra alternativa evaluada para mejorar el metabolismo fue la electrificación del transporte. Una primera opción de esta alternativa correspondía electrificar considerando la matriz eléctrica actual y los resultados obtenidos señalaban que esto era un peor escenario. Lo anterior se explica considerando que el factor de emisión actual sigue siendo relativamente elevado para electrificar completamente el transporte, sin embargo esta no es la única explicación. La información utilizada para la cuantificación de este escenario comprendía la energía total adquirida por la ciudad (principalmente por el sector transporte) para ser utilizada cuando en realidad, la energía que efectivamente fue utilizada es mucho menor debido a las pérdidas energéticas por las eficiencias de los equipos (motores principalmente). El comparar este valor con uno ficticio de energía eléctrica no es justo ya que ha sido reportado que la eficiencia de los equipos eléctricos tiene una mayor eficiencia, generando un cambio en las conclusiones.

Existieron aspectos socioeconómicos que no pudieron ser correlacionados con el comportamiento del metabolismo urbano de la ciudad por la poca desagregación de información utilizada. Se cree que la intensidad del metabolismo urbano y los flujos de carbono asociados estarían relacionados con aspectos socioeconómicos. Lo anterior fue posible observar al estudiar el consumo de energía por comuna, dilucidándose que comunas más acomodadas tienen un mayor consumo que otras. Esta misma lógica podría repetirse en los otros flujos de la ciudad como la alimentación, el consumo de combustible e incluso otras capas materiales no evaluadas como el consumo de bienes materiales generales y todos los residuos correspondientes. A pesar de no haber sido incorporadas al metabolismo variables socioeconómicas o incluso otras variables demográficas, fue posible reflexionar sobre cotas mínimas y escenarios ideales para el carbono y su metabolismo urbano, estableciendo a la alimentación como la única capa necesaria con contenido de carbono.

Por último, muchas capas materiales fueron removidas del estudio por cuestión de tiempo. En caso de que se tuviera más, se podrían haber incorporado las otras: agua, plásticos, madera, materiales de construcción, etc. El incorporar estos flujos al estudio de metabolismo urbano requiere un levantamiento de información con un alto nivel de detalle que no se sabe si está disponible. Se cree que el incorporar estas capas generaría un incremento en los flujos ya estimados y entregaría resultados que posicionarían al metabolismo en un estado más “acelerado”. Tampoco fueron evaluados en este trabajo aquellos sectores urbanos que aportan de forma positiva al metabolismo de la ciudad. El incorporarlos al estudio también permite ver qué elementos positivos entregan la ciudad y cómo podrían ayudar a mejorar su estado metabólico.

8 Conclusiones generales

Se cumple el objetivo general de evaluar el metabolismo urbano del carbono de Santiago a través de la estructuración de una metodología propia elaborada tras un análisis bibliográfico de la herramienta, evaluando dos capas urbanas: energía y alimentación. A pesar de las dificultades metodológicas, se obtienen como principales resultados la intensidad de uso de recursos energéticos y alimentos, el consumo per cápita de estos durante los años 2015 a 2019, la evolución en las tendencias de consumo y la elaboración de 4 escenarios que podrían mejorar el estado metabólico de la ciudad.

Considerando las dos capas estudiadas, la capa de energía aportó en promedio un 87% de los flujos de carbono demandados en el periodo 2015-2019 mientras que la capa alimentación tan solo el 13% restante. Lo anterior indica que el metabolismo asociado a los recursos energéticos se encuentra en un nivel mucho mayor y debe ser puesto como foco de atención. Los resultados muestran que el consumo de recursos energéticos presenta una tendencia al aumento, con un crecimiento del 1,6% anual, pero una disminución de la tendencia de consumo per cápita con una baja del 0,3% anual. De forma general, se concluye que los flujos de carbono asociados a la energía dependen fuertemente del combustible utilizado y de la tecnología utilizada para su transformación.

En particular, dentro de la capa energía, el uso de combustibles por el sector transporte se posiciona como la actividad urbana que mayores flujos de carbono demanda para su funcionamiento, en comparación con los usos del sector industrial, residencial, público, comercial y residencial. El consumo de combustibles líquidos asociado al transporte es uno de los dos únicos flujos que presentan un aumento en la tendencia de uso per cápita y por lo tanto es un elemento al que se debe poner atención. Considerando el promedio del periodo 2015-2019, los flujos de carbono requeridos por el sector transporte corresponden un 54% de los requeridos por la capa de energía y a un 46% del total evaluado. Luego, sigue el sector comercial, público y residencial con un 22% del total y por último el sector industrial con un 19%.

Debido a que el transporte es el sector o actividad con mayor intensidad metabólica, se elaboraron propuestas con el fin de reducir los flujos de carbono que este tiene asociado. La primera propuesta contempla la electrificación de la demanda energética del sector. Como resultado se obtuvo que esto no sería una mejor opción con la matriz eléctrica actual, resultando en un aumento del 24% los flujos de carbono. Por lo tanto, se evalúan dos escenarios más considerando la matriz eléctrica proyectada al 2025 y al 2050. Considerando lo anterior, se obtuvo que los flujos de carbono asociados disminuirían en un 24% y 49% respectivamente, obteniéndose la mejor medida para la mejora del metabolismo y concluyéndose la gran importancia del factor de emisión y la composición de las fuentes productoras de energía eléctrica.

Por otro lado, se lograron establecer correlaciones entre el consumo de energía per cápita y la densidad poblacional en las ciudades. Se obtienen resultados que sugieren fuertemente que la densidad poblacional podría ser un parámetro urbano que ayudaría a tener un mejor uso de recursos energéticos bajo la lógica de que una misma unidad de energía es aprovechada por más personas en lugares con mayor densidad poblacional. Considerando lo anterior, se evaluó como propuesta de mejora la densificación de la ciudad de Santiago entre 10 y un 100%, asimilando la ciudad en su totalidad a comunas como La Cisterna e Independencia respectivamente, obteniéndose disminuciones del 6% y 34% en los flujos de carbono totales. Si bien son resultados positivos, se concluye que los impactos económicos y sociales que esto tendría serían muy elevados y se propone extrapolar el concepto de densificación a sectores de consumo (como el transporte) en vez de una densificación generalizada.

La última capa metabólica evaluada fue la de alimentación. Estos flujos podrían entenderse como la cota mínima de carbono requerido para la ciudad pues representan un consumo fundamental para el

funcionamiento de los organismos humanos. En este mismo sentido, otros consumos de la ciudad podrían desacoplarse del carbono a través de avances tecnológicos, sin embargo, el Gran Santiago se encontraría lejano a una meta ideal de descarbonización pues la alimentación aporta con la menor cantidad de flujos de carbono con un promedio del 13% del total anual. Por otro lado, se cree que los flujos aportados por esta capa son mayores a los estimados ya que solo fue cuantificado el carbono contenido y no los flujos de carbono asociados a la producción de estos alimentos. Por último, se elaboraron propuestas de mejora asociadas a la capa de alimentación, pero solo se obtuvieron disminuciones del 6% en los flujos de carbono demandados, reflejando una menor incidencia de esta capa en el metabolismo.

Se logra comparar el estado metabólico del Gran Santiago con otras ciudades a través de los indicadores de intensidad per cápita. Se obtiene que, comparativamente, los consumos se encuentran en un nivel medio al tener demanda de recursos menores que ciudades como París y Toronto pero consumos mayores que ciudades como Hong Kong y Vancouver. A pesar de lo anterior, las ciudades mencionadas corresponden a ciudades ubicadas en países con altos niveles de desarrollo de vida y altos niveles de ingreso económico. Es esperable que Santiago no supere de gran manera a aquellas ciudades, pero la pregunta es ¿Cómo realmente se encuentra el metabolismo de Santiago en comparación con ciudades, por ejemplo, latinoamericanas?

Las principales limitaciones del estudio fueron metodológicas. El hecho de no tener una estructura definida y la baja resolución de información para el cálculo de flujos a nivel comunal generó una disminución en la exactitud de los resultados. Otra de las limitaciones del estudio fue el tiempo disponible que no permitió elaborar un trabajo acabado de metabolismo urbano.

Finalmente, se concluye que el metabolismo urbano es una herramienta que puede ser utilizada para mejorar el uso de recursos en las ciudades, identificar impactos del uso de recursos, y generación de residuos o emisiones y aislar elementos urbanos problemáticos para proponer mejoras sobre ellos. Dentro de las proyecciones del estudio está incorporar mayor detalle a la cuantificación de flujos, incorporando flujos secundarios o flujos asociados con el ciclo de vida de cada una de las capas materiales. También se tiene como proyección la incorporación de las otras capas materiales o energéticas que puedan existir en el metabolismo de la ciudad con el fin de elaborar un trabajo con un mayor nivel de detalle y completitud. Por último, se espera construir un multi indicador diferente al de flujos totales de carbono, que logre relatar qué tan acelerado o saludable está el metabolismo de una ciudad, que incluya qué tan acorde es una ciudad con los servicios ecosistémicos que sostienen sus actividades y que sirva como comparador de sostenibilidad en ciudades.

9 Bibliografía

- [1] SCHNEIDER, S., AZAR, C., BAETHGEN, W., HOPE, C., MOSS, R., LEARY, N., RICHEL, R., YPERSELE, J.-P., KUNTZ-DURISSETI, K., Y JONES, R. . 2011. Overview of Impacts, Adaptation and Vulnerability to Climate Change, TAR Clim. Chang. 2001 Impacts, Adapt. Vulnerability., pp. 75–103 [en línea] <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf>.
- [2] NASA. 2021. Los efectos del cambio climático, Glob. Clim. Chang. vital signs plante. [en línea] <<https://climate.nasa.gov/efectos/>>.
- [3] FACCHINI, A., KENNEDY, C., STEWART, I., Y MELE, R. 2017. The energy metabolism of megacities, Appl. Energy., 186(2017), pp. 86–95 [en línea] <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916313277>>.
- [4] DEPARTAMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFARIS, U. N. 2018. Population, dynamics, world urbanization prospects. [en línea] <<https://population.un.org/wup/>>.
- [5] HATFIELD, J. L., Y WALTHALL, C. L. 2014. Climate Change: Cropping System Changes and Adaptations, Encycl. Agric. Food Syst., 2, pp. 256–265.
- [6] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE. 2021. ¿Qué es el Cambio Climático? [en línea] <<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/que-es-el-cambio-climatico/>> [consulta: 12 de agosto de 2021].
- [7] LUTHI, D., ET AL. ETHERIDGE, D.M., ET AL. N. W. Explore: The relentless rise of carbon dioxide [en línea] <https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/>.
- [8] SHINE, K. P. 2000. Radiative forcing of climate change, Space Sci. Rev., 94(1–2), pp. 363–373.
- [9] IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Informe de Síntesis, 157 pp.
- [10] CIAIS, P., SABINE, C., BALA, G., BOPP, L., BROVKIN, V., CANADELL, J., CHHABRA, A., DEFRIES, R., GALLOWAY, J., HEIMANN, M., JONES, C., QUÉRÉ, C. LE, MYNENI, R. B., PIAO, S., Y THORNTON, P. 2013. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Chang. IPCC Clim., pp. 465–570.
- [11] COP26: cities create over 70% of energy-related emissions. Here’s what must change [en línea] <<https://theconversation.com/cop26-cities-create-over-70-of-energy-related-emissions-heres-what-must-change-171307>> [consulta: 15 de diciembre de 2021].
- [12] BAIER, K., MATARÉ, V., LIEBENBERG, M., Y LAKEMEYER, G. 2015. Towards integrated intentional agent simulation and semantic geodata management in complex urban systems modeling, Comput. Environ. Urban Syst., 51, pp. 47–58.
- [13] NEWMAN, P. 2006. The environmental impact of cities, Environ. Urban., 18(2), pp. 275–295.
- [14] BALLESTER, F., MEDINA, S., BOLDO, E., GOODMAN, P., NEUBERGER, M., IÑIGUEZ, C., Y KÜNZLI, N. 2008. Reducing ambient levels of fine particulates could substantially improve health: A mortality impact assessment for 26 European cities, J. Epidemiol. Community Health., 62(2), pp. 98–105.
- [15] Global Greenhouse Gas Emissions Data | US EPA [en línea] <<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>> [consulta: 4 de julio de 2022].
- [16] DIARIO DW, E. M. 2021. Greta Thunberg asegura que la COP26 es “un fracaso” [en línea]

<<https://www.dw.com/es/greta-thunberg-asegura-que-la-cop26-es-un-fracaso/a-59737938>>
[consulta: 23 de noviembre de 2021].

- [17] BRUNDTLAND, G. H. 1987. Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común, Doc. las Nac. Recolección un ..., p. 416.
- [18] UNIDAS, O. M. DE LAS N. Objetivos de desarrollo sostenible.
- [19] ROY, M. 2021. Introduction to sustainable development, *Sustain. Dev. Strateg.*, pp. 1–25.
- [20] CUI, X. 2018. How can cities support sustainability: A bibliometric analysis of urban metabolism, *Ecol. Indic.*, 93(May), pp. 704–717.
- [21] DIJST, M., WORRELL, E., BÖCKER, L., BRUNNER, P., DAVOUDI, S., GEERTMAN, S., HARMSSEN, R., HELBICH, M., HOLTSLAG, A. A. M., KWAN, M. P., LENZ, B., LYONS, G., MOKHTARIAN, P. L., NEWMAN, P., PERRELS, A., RIBEIRO, A. P., ROSALES CARREÓN, J., THOMSON, G., URGE-VORSATZ, D., Y ZEYRINGER, M. 2018. Exploring urban metabolism—Towards an interdisciplinary perspective, *Resour. Conserv. Recycl.*, 132(September 2017), pp. 190–203.
- [22] AHUJA, A. 2016. Integration of nature and technology for smart cities, 1–404 pp.
- [23] HERMANOWICZ, S. W., Y ASANO, T. 1999. Abel Wolman’s “The metabolism of cities” revisited: A case for water recycling and reuse, *Water Sci. Technol.*, 40(4–5), pp. 29–36.
- [24] DIJST, M. 2013. Space – Time Integration in a Dynamic Urbanizing World : Current Status and Future Prospects in Geography and GIScience, (August), pp. 37–41.
- [25] GRDISA, M. El metabolismo de Sidney [en línea] <<https://www.madisongrdisa.com/sydneys-urban-metabolism>>.
- [26] MORENO, C. Entendiendo el metabolismo urbano, La pasión la innovación.
- [27] ZHANG, Y. 2013. Urban metabolism: a review of research methodologies., *Environ. Pollut.*, 178, pp. 463–473.
- [28] SONG, T., CAI, J. M., CHAHINE, T., XU, H., Y NIU, F. Q. 2014. Modeling urban metabolism of Beijing city, China: With a coupled system dynamics: Emergy model, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 28(6), pp. 1511–1524.
- [29] GORMAZ-CUEVAS, D., RIFFO-RIVAS, J., MONTASTRUC, L., BRÜNING-GONZÁLEZ, M., Y DÍAZ-ALVARADO, F. A. 2021. A multi-objective optimization model to plan city-scale water systems with economic and environmental objectives: A case study in santiago, Chile, *J. Clean. Prod.*, 279.
- [30] XU, L., DU, H., Y ZHANG, X. 2021. A classification approach for urban metabolism using the CART model and its application in China, *Ecol. Indic.*, 123.
- [31] PETHIG, R. 2003. The “Materials Balance Approach” to Pollution: Its Origin, Implications and Acceptance, (February 2003), p. 31.
- [32] KENNEDY, C., STEWART, I. D., IBRAHIM, N., FACCHINI, A., Y MELE, R. 2014. Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities, *Ecol. Indic.*, 47, pp. 7–15.
- [33] INE. Balance y cuentas de flujos de materiales.
- [34] CARDENAS, U. 2016. El metabolismo urbano como disciplina para determinar la sostenibilidad de las ciudades, p. 84.
- [35] BRUNNER, P. H., Y RECHBERGER, H. 2016. Practical handbook of material flow analysis, 1–318 pp.

- [36] OECD. The input output tables [en línea] <<https://www.oecd.org/sti/ind/input-outputtables.htm>>.
- [37] SHAFIE, F. A., OMAR, D., KARUPANNAN, S., Y GABARRELL, X. 2013. Urban metabolism using economic input-output analysis for the city of Barcelona, *WIT Trans. Ecol. Environ.*, 179 VOLUME, pp. 27–37.
- [38] HOSSAIN, F., DEGU, A. M., WOLDEMICHAEL, A. T., YIGZAW, W., MITRA, C., SHEPHERD, J. M., Y SIDDIQUE-E-AKBOR, A. H. M. 2013. Water Resources Vulnerability in the Context of Rapid Urbanization of Dhaka City (a South Asian Megacity), Elsevier, 393–404 pp.
- [39] KENNEDY, C., PINCETL, S., Y BUNJE, P. 2011. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design, *Environ. Pollut.*, 159(8–9), pp. 1965–1973.
- [40] WARF, B. *Encyclopedia of Geography*.
- [41] MOORE, J., KISSINGER, M., Y REES, W. E. 2013. An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver, *J. Environ. Manage.*, 124, pp. 51–61.
- [42] GILJUM, S. 2004. Trade, materials flows, and economic development in the south: The example of Chile, *J. Ind. Ecol.*, 8(1–2), pp. 241–261.
- [43] SAHELY, H. R., DUDDING, S., Y KENNEDY, C. A. 2003. Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study, *Can. J. Civ. Eng.*, 30(2), pp. 468–483.
- [44] CODOBAN, N., Y KENNEDY, C. A. 2008. Metabolism of Neighborhoods, *J. Urban Plan. Dev.*, 134(1), pp. 21–31.
- [45] TSENG, W. L., Y CHIUUEH, P. TE. 2015. Urban Metabolism of Recycling and Reusing Food Waste: A Case Study in Taipei City, *Procedia Eng.*, 118, pp. 992–999.
- [46] MORAN, D., KANEMOTO, K., JIBORN, M., WOOD, R., TÖBBEN, J., Y SETO, K. C. 2018. Carbon footprints of 13 000 cities, *Environ. Res. Lett.*, 13(6).
- [47] INSTITUTO DE ESTUDIOS URBANOS Y TERRITORIALES, FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS. 2020. Areas urbanas funcionales en Chile.
- [48] CONCILIACIÓN CENSAL 2017. 2018. Resultados del censo 2017 Chile, p. 41.
- [49] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 2005. Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos., Censo 2002., p. 300.
- [50] INE. 2019. POBLACIÓN DE CHILE 2002-2035 TOTALES REGIONALES , POBLACIÓN URBANA Y RURAL Síntesis de resultados, p. 13.
- [51] Región Metropolitana de Santiago — [en línea] <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region13/>> [consulta: 22 de febrero de 2022].
- [52] METODOLOGÍA PARA MEDIR EL CRECIMIENTO FÍSICO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN CHILE [en línea] <<https://ine-chile.maps.arcgis.com/home/index.html>> [consulta: 30 de marzo de 2022].
- [53] PALMA, J. H. 2008. La situación del arbolado urbano en Santiago [en línea] <https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_completa/0,1313,ISID%253D734%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D21177,00.html> [consulta: 13 de octubre de 2021].
- [54] PLATAFORMA URBANA. 2010. Nueve comunas concentran el 50% de las áreas verdes que existen en el Gran Santiago: Municipios con mejores índices de vegetación representan sólo el 20% de la

- población capitalina [en línea] <<https://www.plataformaurbana.cl/archive/2010/05/04/nueve-comunas-concentran-el-50-de-las-areas-verdes-que-existen-en-el-gran-santiago-municipios-con-mejores-indices-de-vegetacion-representan-solo-el-20-de-la-poblacion-capitalina/>> [consulta: 13 de octubre de 2021].
- [55] MAGALI BODART, A. E. 2011. Architecture & Sustainable Development (vol.1), 27th Int. Conf. Passiv. Low Energy Archit.
- [56] TVN. Intensas lluvias provocan inundación en importantes arterias de Santiago, 2017.
- [57] EL MOSTRADOR. 2020. Fuertes precipitaciones provocan inundaciones en Santiago y varias ciudades de la zona centro sur del país.
- [58] AGENDA PAÍS. Mapa identifica las comunas que sufren más daños por precipitaciones en Santiago, 2021.
- [59] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago [en línea] <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>> [consulta: 6 de octubre de 2021].
- [60] CLIMATE DATA. 2021. Tabla Climática, Datos históricos del clima de Santiago. [en línea] <<https://es.climate-data.org/america-del-sur/chile/region-metropolitana-de-santiago/santiago-938/>> [consulta: 14 de octubre de 2021].
- [61] CHILE, D. M. DE. 2021. Precipitación Histórica de la Estación 330020, Quinta Normal. [en línea] <<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/aguaCaidaHistoricaMensual/330020>> [consulta: 14 de octubre de 2021].
- [62] CHILE, B. CENTRAL DE. Producto Interno Bruto Regional [en línea] <<https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Excel/CCNN/regional/excel.html>>.
- [63] MUNDIAL, B. Indicadores de desarrollo mundial para Chile [en línea] <<https://datos.bancomundial.org/pais/chile>> [consulta: 30 de agosto de 2021].
- [64] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. 2019. Informe de Gestión Transporte Año 2019.
- [65] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DE CHILE (INE). Permisos de circulación, 2020. [en línea] <<https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion>> [consulta: 20 de octubre de 2021].
- [66] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA DE CHILE. MINISTERIO DE ENERGÍA. 2020. Energía abierta [en línea] <<http://energiaabierta.cl/>> [consulta: 26 de octubre de 2021].
- [67] OCDE. 2020. Primary energy supply [en línea] <<https://data.oecd.org/energy/primary-energy-supply.htm>> [consulta: 26 de octubre de 2021].
- [68] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. 2021. Matriz energética y eléctrica en Chile [en línea] <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf> [consulta: 26 de octubre de 2021].
- [69] RECABARREN, P. E., Y REYES, D. A. Pérdida y Desperdicio de Alimentos (PDA) en Chile: Avances y Desafíos.
- [70] InvestChile - Industria Alimentaria | InvestChile [en línea] <<https://investchile.gob.cl/es/industrias-clave/industria-alimentaria/>> [consulta: 19 de febrero de 2022].

- [71] Ficha Regional, Región Metropolitana.
- [72] Día Mundial de la Salud: ¿Cuán sano comemos, cuanto gastamos en Salud y de qué morimos los chilenos? [en línea] <<https://www.ine.cl/prensa/2020/04/07/día-mundial-de-la-salud-cuán-sano-comemos-cuanto-gastamos-en-salud-y-de-qué-morimos-los-chilenos>> [consulta: 13 de febrero de 2022].
- [73] Desperdicio de alimentos: cuánto ha avanzado Chile para evitar que millones de toneladas de comida terminen en la basura - País Circular [en línea] <<https://www.paiscircular.cl/industria/desperdicio-de-alimentos-cuanto-ha-avanzado-chile-para-evitar-que-millones-de-toneladas-de-comida-terminen-en-la-basura/>> [consulta: 19 de febrero de 2022].
- [74] CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Disposición de alimentos en Chile [en línea] <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32197/1/Minuta_32_21_De_sperdicio_Alimentos_Chile.pdf> [consulta: 19 de febrero de 2022].
- [75] KDM EMPRESAS. 2021. Preguntas frecuentes KDM. ¿Cuál es la composición media de los residuos de Santiago? [en línea] <<https://kdm.cl/preguntas-frecuentes.html#02>> [consulta: 25 de octubre de 2021].
- [76] CONAMA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO. 2006. ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN LA REGION METROPOLITANA.
- [77] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DE CHILE. 2004. Diagnóstico y clasificación de los Cursos y cuerpos de agua Según objetivos de calidad. Cuenca del Rio Maipo, Dir. Gen. Aguas Chile., pp. 1–105.
- [78] SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. 2019. Plantas de tratamiento de aguas servidas - Región Metropolitana [en línea] <<https://www.siss.gob.cl/586/w3-printer-5059.html>>.
- [79] El panorama de los países latinoamericanos con sus residuos - VOLTA [en línea] <<https://www.voltachile.cl/panorama-paises-latinoamericanos-con-sus-residuos/>> [consulta: 22 de febrero de 2022].
- [80] Electromovilidad: sector de transporte alcanzará 61% electrificación a 2050 [en línea] <<https://www.revistaei.cl/2020/06/08/electromovilidad-sector-de-transporte-alcanzara-61-electrificacion-a-2050/#>> [consulta: 12 de enero de 2022].
- [81] PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [en línea] <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>> [consulta: 24 de abril de 2022].
- [82] Medio millón de autos más en dos años: ¿La Región Metropolitana está al borde del colapso vial? - CPI [en línea] <<https://www.infraestructurapublica.cl/medio-millon-autos-mas-dos-anos-la-region-metropolitana-esta-al-borde-del-colapso-vial/>> [consulta: 15 de mayo de 2022].
- [83] Parque de autos se acelera y rozará los 5,5 millones de unidades este año — ISCI : ISCI [en línea] <<https://isci.cl/parque-de-autos-se-acelera-y-rozara-los-55-millones-de-unidades-este-ano/>> [consulta: 15 de mayo de 2022].
- [84] BENAVIDES, D. MERCEDES BUITRAGO, MAURICIO CABRERA LEAL, MARÍA CECILIA CARDONA R., SHIRLEY CASTILLO DÍAZ, MARTHA DUARTE O., ARIAS, MARÍA MARGARITA GUTIÉRREZ, QUIROGA, PEDRO SIMÓN LAMPREA, RICARDO JOSÉ LOZANO P., HELMUTH E. N. O., CLAUDIA PATRICIA OLARTE V., LUIS GABRIEL PADILLA, TENJO, ADRIANA PEDRAZA GALEANO, ANA DERLY PULIDO GUÍO, JULIANA EDITH RODRÍGUEZ, OROZCO, GABRIEL DE JESÚS SALDARRIAGA, Y MAGDA MALLEN SIERRA URREGO, LUZ DARY YEPES. 2007. Inventario Nacional de Emisiones

de Gases de Efecto Invernadero, 34 pp.

- [85] DEPARTAMENTO DE POLÍTICA AGRARIA. Evolución de consumo aparente de los principales alimentos 2003-2013 [en línea] <<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2014/09/evolucionConsumoAlimentos.pdf>> [consulta: 8 de marzo de 2022].
- [86] MINISTERIO DE SALUD, G. DE C. Encuesta Nacional de Consumo Alimentario, base de Datos [en línea] <<https://www.minsal.cl/encabasededatos/>> [consulta: 5 de mayo de 2022].
- [87] DOROTHY NEUFELD. Chart: The Carbon Footprint of the Food Supply Chain [en línea] <<https://www.visualcapitalist.com/visualising-the-greenhouse-gas-impact-of-each-food/>> [consulta: 10 de marzo de 2022].
- [88] SMETANA, S., MATHYS, A., KNOCH, A., Y HEINZ, V. 2015. Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes, *Int. J. Life Cycle Assess.*, 20(9), pp. 1254–1267.
- [89] UNVIERSITY OF MICHIGAN. Carbon Footprint Factsheet | Center for Sustainable Systems [en línea] <<https://css.umich.edu/factsheets/carbon-footprint-factsheet>> [consulta: 10 de marzo de 2022].
- [90] REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES (RECT). Generación municipal de residuos no peligrosos. Conjuntos de datos. [en línea] <<http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/generacion-municipal-de-residuos-no-peligrosos>> [consulta: 14 de marzo de 2022].
- [91] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL SOBRE GENERACIÓN Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y ASIMILABLES CONTENIDO.
- [92] AGUAS ANDINAS. Indicadores y reportes - Sustentabilidad [en línea] <<https://sustentabilidad.aguasandinas.cl/indicadores-y-reportes>> [consulta: 14 de marzo de 2022].
- [93] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. Informe Consolidado N° 1 de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones a la Declaración de Impacto Ambiental. [en línea] <<https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=b6/4e/9c07601d43e907d544e58ded4db695849959>> [consulta: 16 de marzo de 2022].
- [94] Alimentos y Marcas en México [en línea] <<https://www.fatsecret.com.mx/calorías-nutrición/>> [consulta: 27 de mayo de 2022].
- [95] THE GREAT SOVIET ENCYCLOPEDIA, 3RD EDITION. Physicochemical properties of proteins [en línea] <<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Proteins>> [consulta: 27 de mayo de 2022].
- [96] BRITANNICA. carbohydrate | Definition, Classification, & Examples. [en línea] <<https://www.britannica.com/science/carbohydrate>> [consulta: 17 de marzo de 2022].
- [97] OREGON STATE UNIVERSITY. Carbohydrates, Structures and Types – A Guide to the Principles of Animal Nutrition [en línea] <<https://open.oregonstate.education/animalnutrition/chapter/chapter-3/>> [consulta: 27 de mayo de 2022].
- [98] OSHAKBAYEV, K. P., ALIBEK, K., PONOMAREV, I. O., UDERBAYEV, N. N., ABAYEVNA DUKENBAYEVA, B., GAZALIYEVA, M., OSHAKBAYEV, P., Y KALIYEVA, S. 2014. Body Fats Accumulate Metabolic Products: Physical and Chemical Analysis in Vitro, *Am. J. Med. Biol. Res.*, 2(1), pp. 5–11.
- [99] Building sustainability in an urbanizing World : a partnership report (Vol. 2) : A data compendium for the World's 100 largest urban areas | Policy Commons [en línea]

<<https://policycommons.net/artifacts/1502868/building-sustainability-in-an-urbanizing-world/2162861/>> [consulta: 30 de mayo de 2022].

- [100] GARFIAS, R., CASTILLO, M., VITA, S. ; A., BOWN, A. ; H., ZÚÑIGA, I. ; P., RUIZ, F., CALDENTEY, G. ;, Y SANTIAGO, L. P. Funciones de biomasa y estimación de carbono fijado por las principales especies del bosque esclerófilo de las Regiones de O`Higgins y del Maule.
- [101] Descarbonización de la Matriz Energética, un gran paso hacia un país carbono neutral – MMA [en línea] <<https://mma.gob.cl/descarbonizacion-de-la-matriz-energetica-un-gran-paso-hacia-un-pais-carbono-neutral/>> [consulta: 1 de junio de 2022].
- [102] MINISTERIO DE ENERGÍA. Carbono neutralidad en el sector energía. Proyección de consumo energético nacional 2020 [en línea] <https://energia.gob.cl/sites/default/files/pagina-basica/informe_resumen_cn_2019_v07.pdf> [consulta: 24 de abril de 2022].
- [103] SUBSECRETARIA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO. 2019. Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables”, pp. 1–326.
- [104] SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE RM. 2018. Informe Rellenos Sanitarios - Residuos Sólidos Urbanos en la Región Metropolitana 2017, pp. 11–12.
- [105] MUNICIPALIDAD DE MELIPILLA. 2021. SEREMI Región Metropolitana, aprueba la continuación del funcionamiento del vertedero de Popeta, 02 agosto.

ANEXOS

Anexo A) Concentración atmosférica del CO₂ global en el tiempo:

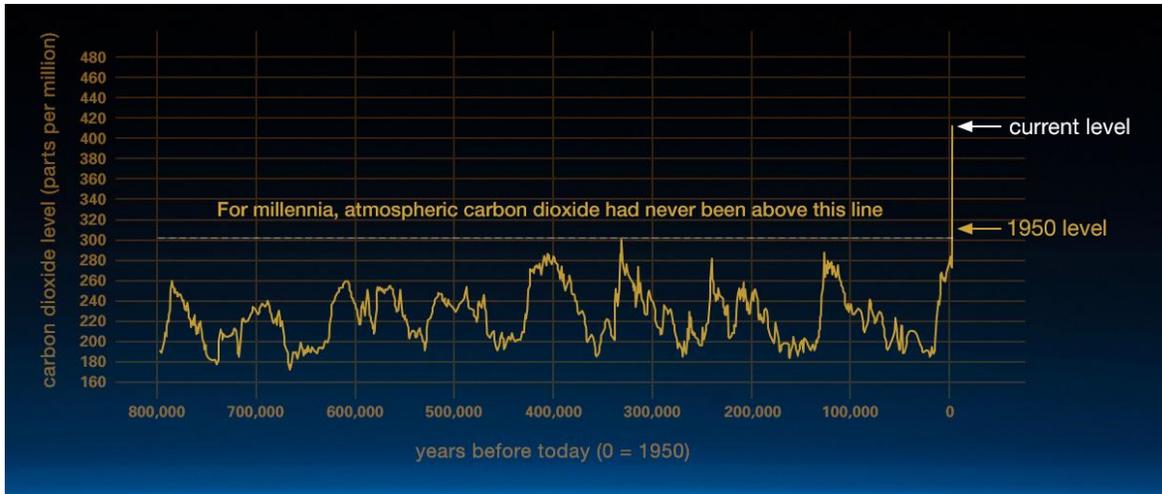


Figura 0-1: Concentración del CO₂ atmosférico en el tiempo [7]

En la imagen se observa la variación de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera. Esta se ha mantenido por debajo de los 300 [ppm] hasta cerca del año 1950 cuando superó este límite. Es importante notar que estos niveles sin precedentes se pueden comenzar a notar post industrialización y por lo tanto son un claro reflejo de la combustión de materiales fósiles.

Anexo B) Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono puede entenderse como la interacción e intercambio de flujos másicos de carbono entre distintos reservorios existentes en el planeta. Estos reservorios se pueden categorizar en 2 dominios, el rápido y el lento. El primero es aquel en el que los flujos de intercambio de carbono entre sus componentes tienen variaciones de stock relativamente rápidas (rangos desde los años hasta los miles de años). En esta categoría está compuesta por la atmósfera, cuerpos de agua dulce, el océano, el sedimento oceánico, la vegetación y el suelo. Por otro lado, los reservorios de dominio "lento" son aquellos con grandes cantidades de stock de carbono en rocas y sedimentos, pero con intercambios internos relativamente lentos, con periodos que van desde los 10.000 años y más. Además, las tasas de intercambio por fenómenos naturales entre ambos dominios, el "dominio lento" y el "dominio rápido", son lentas, alcanzando valores menores a los 0,3 [PgC /año] y ocurre principalmente por fenómenos de emisiones volcánicas y lixiviación de sedimentos en el suelo oceánico [10].

Debido a esto, previo a la revolución industrial, era posible considerar que el dominio "rápido" se encontraba en un estado estacionario entre sus reservorios al tener bajas tasas de intercambio, stocks constantes y por lo tanto un pseudo equilibrio. Sin embargo, la extracción y combustión de combustibles fósiles resultó en un intercambio de stock de carbono rápido y significativo desde las reservas fósiles hacia la atmósfera, provocando una de las mayores perturbaciones al ciclo del carbono. Algunos de los reservorios y sus flujos de intercambio pueden observarse en la Figura 0-2, mostrándose cómo el uso de combustibles fósiles es uno de los principales desequilibrantes del sistema. [10]

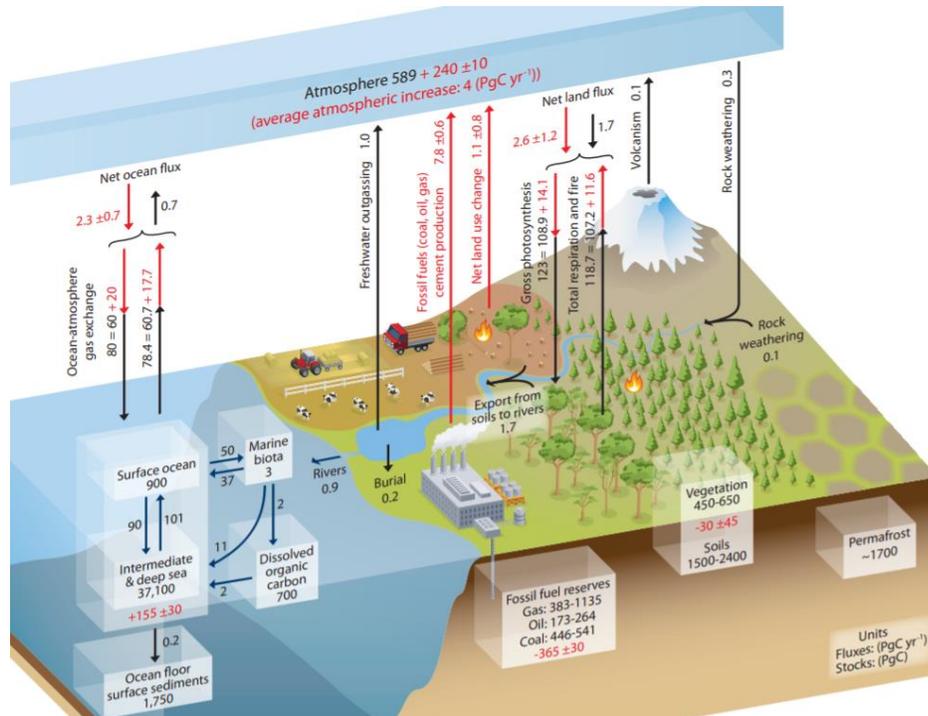


Figura 0-2: Esquema simplificado del ciclo del carbono global. Números y flechas negras indican stocks y flujos previos a la época industrial. Números y flechas rojas representan stocks y flujos antropogénicos promedio para el período 2000-2009 [10].

Analizando la figura se nota que existen flujos que aportan carbono a la atmósfera pero que al mismo tiempo se complementan con flujos que remueven carbono de esta, generando un pequeño ciclo con flujos netos relativamente regulados. Lo anterior es observable para los intercambios netos del reservorio océano-atmósfera o los intercambios netos del reservorio suelo-atmósfera. A pesar de lo anterior, existen flujos que no tienen una contra parte reguladora directa y por lo tanto comienzan a desestabilizar otros sistemas. Aquellos flujos son de origen antropogénico, particularmente el uso de combustibles fósiles, fabricación de cemento y el cambio en el uso del suelo.

Anexo C) Detalle del análisis de flujos materiales, modelo simple propuesto Kennedy [32].

A continuación, se presenta el detalle de la metodología planteada por Kennedy y su propuesta para la elaboración base de un trabajo de metabolismo urbano.

Tabla 33 : Capa 1 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.

Nombre de la megaciudad:	
Población año 2001*:	

Población año 2006*:	
Población año 2011*:	
PIB 2001:	
PIB 2006:	
PIB 2011:	
¿Existen niveles formales de gobierno en la región? (SI/NO)	
¿Existe uno o más cuerpos coordinadores entre las comunas de la megaciudad? (SI/NO)	
Nombre de las municipalidades locales:	
(*) Los años son para la población y los valores del PIB son de referencia, pero deben corresponder.	

Tabla 34: Capa 2 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.

Área terrestre (km ²)	
Área urbanizada (km ²)	
“Heating degree days” (Base de 18 °C).	
“Cooling degree days” (Base de 25 °C)	
Precipitación anual (mm).	
Radiación solar anual (kWh/m ²).	
Área residencial construida (todos los pisos).	
Área comercial, institucional e industrial construida (todos los pisos).	
“Heating degree days” y los “Cooling degree days” son indicadores de demanda energética utilizados para determinar el calentamiento o enfriamiento de edificios.	

Tabla 35 : Capa 3 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.

Flujo	Años	Unidad	Flujo	Años	Unidad
<i>Energía estacionaria</i>			Fuentes de generación de electricidad		
Consum eléctrico.		GWh	Carbón.		%
Pérdidas eléctricas de línea.		GWh	Petróleo.		%
Gas natural (uso no para generación eléctrica).		TJ	Gas Natural		%
Carbón.		TJ	Nuclear.		%
Petróleo.		TJ	Viento.		%
Biomásas y biocombustibles.		TJ	Solar.		%
<i>Energía móvil</i>			Otras.		%
Gasolinas.		TJ	Factor de emisión red eléctrica.		t CO ₂ eq
Diesel.		TJ	<i>Tipo de consumo eléctrico</i>		
Combustible de avión.		TJ	Residencial.		%
Combustible de barco.		TJ	Comercial.		%
Otros.		TJ	Industrial.		%
Agua y residuos			Transporte.		%
Producción agua potable total.		ML	Tipo de uso de energía estacionaria		
Generación de aguas residuales domiciliarias.		ML	Residencial.		%
Carga orgánica de las aguas residuales.		Kt DBO	Comercial/Institucional		%
Residuos sólidos dispuestos en suelo.		Kt	Industrial.		%

Residuos incinerados.		Kt		
Materiales				
	Importaciones	Producción	Consumo	Unidad
Cemento (construcción).				Kt
Acero (construcción).				Kt
Alimentos.				Kt
Otros.				Kt

Tabla 36 : Capa 3 del indicador de metabolismo urbano de Kennedy, extracto de Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities.

<i>Rol de los servicios</i>			
<i>Electricidad</i>			
Número de distribuidores locales	1a2	3a4	>5
Manejo	Todo publico	Todo privado	Mixto
¿Distribuidor dominante?	Si	No	-
Suministradores	1a2	3a4	>5
¿Suministrador dominante?	Todo publico	Todo privado	Mixto
¿Regulador independiente?	Si	No	-
¿Iniciativas para energías renovables?	Si	No	-
Número de vehículos eléctricos			
Número de cargadores para vehículos eléctricos			
Numero de edificios con paneles solares			
Porcentaje de consumo por generadores independientes			
Gas Natural			
Número de distribuidores locales	1a2	3a4	>5
Manejo	Todo publico	Todo privado	Mixto

¿Distribuidor dominante?	Si	No	-
vehículos a gas natural			
Agua			
Número de distribuidores locales	1a2	3a4	>5
Dueños	Todo publico	Todo privado	Mixto
¿Regulador independiente?	Si	No	-
Calidad del servicio			
% de domicilios con acceso a agua:			
% de domicilios con acceso a agua potable:			
% de domicilios sin alcantarillado:			
% de saneamiento de agua residual:			
% de domicilios en áreas sin recolección de residuos:			
% de domicilios sin acceso a la red eléctrica:			
Promedio de horas al año sin acceso a la electricidad:			
Aguas residuales			
Número de receptores locales	1a2	3a4	>5
Manejo	Todo publico	Todo privado	Mixto
Informaciones y tecnología de comunicaciones			
% de la población con acceso a internet			
% de la población con teléfonos móvil			

Anexo D) Objetivos de Desarrollo sostenible planteados por la ONU:

A continuación se presentan los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la Organización Mundial de las Naciones Unidas y una breve descripción:

1. **Pobreza cero:** Terminar con todas las formas de pobreza en todas las formas.
2. **Hambre cero:** Terminar con el hambre, alcanzar seguridad alimentaria, mejorar la nutrición de las personas y promover agricultura sustentable.
3. **Salud y bienestar:** Asegurar una vida sana y promover el bienestar en todas las etapas de vida.
4. **Educación de calidad:** Asegurar educación equitativa de calidad y promover oportunidades de vida para todos.
5. **Igualdad de género:** Asegurar la igualdad de género y promover el empoderamiento de las mujeres.
6. **Agua limpia y saneamiento:** Asegurar el acceso al agua, saneamiento seguro y limpio.
7. **Energía asequible y no contaminante:** Asegurar el acceso asequible a la energía limpia y a bajos costos.
8. **Trabajo decente y crecimiento económico:** Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible y el empleo decente para todos.
9. **Industria, innovación e infraestructura:** Construir infraestructura resiliente, promover industrialización sustentable e innovación forestal.
10. **Reducir desigualdades:** Reducir la desigualdad existente en los países y entre ellos.
11. **Ciudades sostenibles:** Construir ciudades que sean seguras, resilientes y sostenibles.
12. **Consumo y producción sustentable:** Promover el consumo y la producción sustentable.
13. **Combatir el cambio climático:** Tomar acciones para combatir el cambio climático y sus acciones.
14. **Vida bajo el agua:** Conservar las aguas utilizando los océanos y los recursos marinos de forma sostenible.
15. **Vida en la tierra:** Proteger y promover uso sustentable de los ecosistemas terrestres, recursos forestales, combatir desertificación, detener la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.
16. **Paz, justicia e instituciones fuertes:** Promover la paz, proveer justicia para todos y construir instituciones pacíficas, responsables e inclusivas.
17. **Alianzas internacionales para alcanzar los objetivos:** Fortalecer los medios de implementación para revitalizar alianzas mundiales para lograr un desarrollo económico sostenible e inclusivo.

Anexo E) Comunas y provincias de la Región Metropolitana

Tabla 37: Comunas y provincias de la región metropolitana

Comuna	Provincia	Comuna	Provincia	Comuna	Provincia
Santiago	Santiago	Macul	Santiago	Pirque	Cordillera
Cerrillos	Santiago	Maipú	Santiago	San José de Maipo	Cordillera
Cerro Navia	Santiago	Ñuñoa	Santiago	Colina	Chacabuco
Conchalí	Santiago	Pedro Aguirre Cerda	Santiago	Lampa	Chacabuco
El Bosque	Santiago	Peñalolén	Santiago	Tiltil	Chacabuco
Estación Central	Santiago	Providencia	Santiago	San Bernardo	Maipo
Huechuraba	Santiago	Pudahuel	Santiago	Buin	Maipo
Independencia	Santiago	Quilicura	Santiago	Calera de Tango	Maipo
La Cisterna	Santiago	Quinta Normal	Santiago	Paine	Maipo
La Florida	Santiago	Recoleta	Santiago	Melipilla	Melipilla
La Pintana	Santiago	Renca	Santiago	Alhué	Melipilla
La Reina	Santiago	San Joaquín	Santiago	Curacaví	Melipilla
Las Condes	Santiago	San Miguel	Santiago	María Pinto	Melipilla
Lo Barnechea	Santiago	San Ramón	Santiago	San Pedro	Melipilla
Lo Espejo	Santiago	Vitacura	Santiago	Talagante	Talagante
Lo Prado	Santiago	Puente Alto	Cordillera	Isla de Maipo	Talagante
				Padre Hurtado	Talagante
				Peñaflor	Talagante

Anexo F) Población total de Chile por región censo 2017 y su porcentaje urbano-rural

Tabla 38: Población total regional y su porcentaje urbano-rural.

NOMBRE REGIÓN	TOTAL POBLACIÓN EFECTIVAMENTE CENSADA	% DEL TOTAL PAÍS	TOTAL HAB EN ÁREA URBANA	TOTAL ÁREA RURAL	% URBANO	% RURAL
ARICA Y PARINACOTA	226.068	1%	207.231	18.837	92%	8%
TARAPACÁ	330.558	2%	310.065	20.493	94%	6%
ANTOFAGASTA	607.534	3%	571.748	35.786	94%	6%
ATACAMA	286.168	2%	260.520	25.648	91%	9%
COQUIMBO	757.586	4%	615.116	142.470	81%	19%
VALPARAÍSO	1.815.902	10%	1.652.575	163.327	91%	9%
METROPOLITANA DE SANTIAGO	7.112.808	40%	6.849.310	263.498	96%	4%
LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	914.555	5%	680.363	234.192	74%	26%
MAULE	1.044.950	6%	765.131	279.819	73%	27%
ÑUBLE	480.609	3%	333.680	146.929	69%	31%
BIOBÍO	1.556.805	9%	1.379.015	177.790	89%	11%
LA ARAUCANÍA	957.224	5%	678.544	278.680	71%	29%
LOS RÍOS	384.837	2%	275.786	109.051	72%	28%
LOS LAGOS	828.708	5%	610.033	218.675	74%	26%
AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO	103.158	1%	82.098	21.060	80%	20%
MAGALLANES Y DE LA ANTÁRTICA CHILENA	166.533	1%	153.048	13.485	92%	8%
Total país	17.574.003					

Anexo G) Población de la Región Metropolitana resumida, periodo 1970-2017 [48].

Tabla 39: Población de la región metropolitana durante periodo 1970-2017

Año	Población total
1970	3.208.553
1982	4.318.097
1992	5.257.937
2002	5.875.013
2017	7.112.808

Anexo H) Población total por comuna según censo 2002, censo 2017, proyecciones y los respectivos valores ajustados.

Tabla 40: Población del Gran Santiago para los años 2002 y 2017 según los censos respectivos.

COMUNA	Población censada al 2002	Población censada al 2017
SANTIAGO	200792	404495
CERRILLOS	71906	80832
CERRO NAVIA	148312	132622
CONCHALÍ	133256	126955
EL BOSQUE	175594	162505
ESTACIÓN CENTRAL	130394	147041
HUECHURABA	74070	98671
INDEPENDENCIA	65749	100281
LA CISTERNA	85118	90119
LA FLORIDA	365563	366916
LA GRANJA	132520	116312
LA PINTANA	190085	177335
LA REINA	96762	92787
LAS CONDES	249893	294838
LO BARNECHEA	72496	105833
LO ESPEJO	112800	98804
LO PRADO	104316	96249
MACUL	112535	116534
MAIPÚ	464882	521627
ÑUÑO A	163511	208237
PEDRO AGUIRRE CERDA	114560	101174
PEÑALOLÉN	216060	241599
PROVIDENCIA	120874	142079
PUDAHUEL	192258	230293
QUILICURA	125999	210410
QUINTA NORMAL	104012	110026
RECOLETA	148220	157851
RENCA	133518	147151
SAN JOAQUÍN	97625	94492
SAN MIGUEL	78872	107954
SAN RAMÓN	94906	82900
VITACURA	81499	85384
PUENTE ALTO	492603	568106
SAN BERNARDO	237708	301313

Tabla 41: Población proyectada por INE para periodo 2002-2035 con base año 2017. Mostrando solo valores para periodo 2002-2020.

COMUNA	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SANTIAGO	224989	237129	250125	263090	276552	290228	304340	318048	331459	346099	361135	373109	385980	399928	417125	446490	467865	486838	503147
CERRILLOS	74062	75151	76079	76893	77658	78400	79142	79850	80518	81184	81826	82325	82841	83394	84024	85026	86451	88016	88956
CERRO NAVIA	152819	152264	151422	150406	149347	148305	147316	146323	145320	144364	143425	142302	141268	140355	139635	139604	140355	141402	142465
CONCHALÍ	143537	143198	142585	141784	140942	140102	139309	138486	137632	136856	136102	135077	134157	133379	132883	133420	135099	137162	139195
EL BOSQUE	180585	180456	179966	179264	178492	177725	177002	176282	175546	174811	174065	173188	172371	171654	171035	170801	171032	171487	172000
ESTACIÓN CENTRAL	131745	125248	122904	122312	122752	123797	125302	126979	128782	130966	133345	135199	137338	139800	142994	148730	166174	186426	206792
HUECHURABA	76619	78781	80794	82692	84547	86382	88222	90023	91781	93543	95279	96837	98415	100039	101764	103962	106706	109630	112528
INDEPENDENCIA	71823	73266	74769	76222	77817	79501	81348	83141	84919	87102	89473	91103	93064	95406	98724	105437	117277	129691	142065
LA CISTERNA	88612	89462	90121	90646	91117	91566	92021	92439	92817	93207	93580	93785	94025	94323	94738	95652	97125	98790	100434
LA FLORIDA	376943	378224	378858	379112	379297	379550	379961	380397	380826	381345	381887	382040	382379	382995	383976	386307	390218	396781	402433
LA GRANJA	137061	136444	135558	134513	133422	132339	131298	130260	129216	128185	127156	126023	124946	123955	123061	122518	122392	122454	122557
LA PINTANA	195306	195075	194521	193808	193070	192390	191802	191264	190750	190249	189761	189194	188703	188324	188020	187970	188255	188748	189335
LA REINA	99701	99840	99773	99567	99317	99055	98815	98549	98255	97986	97718	97286	96904	96600	96435	96811	97810	99033	100252
LAS CONDES	255694	257683	260159	262683	265432	268374	271586	274803	278025	281616	285361	288301	291572	295261	299849	307708	315183	323309	330759
LO BARNECHEA	76731	79167	81482	83678	85855	88013	90192	92308	94364	96492	98620	100413	102273	104233	106460	109778	114322	119240	124076
LO ESPEJO	118886	118055	117010	115842	114652	113484	112366	111260	110159	109090	108037	106884	105795	104797	103919	103454	103454	103643	103865
LO PRADO	109728	109420	108897	108228	107523	106808	106132	105431	104703	104026	103361	102502	101716	101031	100539	100771	101803	103111	104403
MACUL	115616	115627	115642	115694	115857	116146	116571	117063	117600	118236	118923	119458	120089	120843	121787	123420	126804	130467	134635
MAIPÚ	483980	491102	497093	502319	507149	511794	516374	520755	524888	528829	532529	535609	538660	541811	545053	549261	556715	566664	578605
ÑUÑO A	168511	172118	175488	178672	181850	185075	188411	191729	195036	198518	202073	205208	208542	212137	216230	222055	230808	240753	250192
PEDRO AGUIRRE CERDA	122133	121280	120204	118995	117764	116547	115384	114224	113065	111954	110864	109634	108481	107435	106560	106257	106605	107205	107803
PEÑALOLÉN	223363	226304	228774	230918	232935	234907	236896	238809	240638	242476	244273	245694	247192	248824	250696	253606	257714	262268	266798
PROVIDENCIA	121873	122849	124069	125317	126680	128141	129736	131330	132932	134719	136592	138059	139693	141537	143849	147826	151042	154446	157749
PUDAHUEL	201805	204526	207378	210142	212866	215607	218380	221107	223757	226371	228894	231137	233382	235673	238048	240958	244526	248347	253139
QUILICURA	131411	137208	143200	149162	155179	161246	167378	173447	179438	185515	191560	197087	202688	208394	214449	222048	232342	243112	254694
QUINTA NORMAL	114714	113077	111963	111144	110638	110412	110458	110651	110978	111556	112288	112794	113505	114445	115802	118503	123648	130284	136368

RECOLETA	161310	158740	156936	155536	154615	154098	154002	154093	154362	155082	156081	156593	157472	158752	160861	165663	173464	182088	190075
RENCA	137983	139820	141342	142647	143844	144999	146143	147219	148235	149217	150151	150871	151607	152393	153273	154637	156567	158717	160847
SAN JOAQUÍN	104648	104311	103825	103251	102684	102158	101698	101252	100815	100449	100114	99635	99249	98957	98856	99371	100566	102027	103485
SAN MIGUEL	80657	82761	84767	86709	88678	90684	92781	94885	97013	99253	101555	103688	105947	108370	111068	114641	120174	126088	133059
SAN RAMÓN	100574	99820	98883	97847	96791	95761	94769	93793	92817	91861	90929	89927	88966	88091	87285	86770	86575	86521	86510
VITACURA	83386	84011	84479	84809	85114	85406	85700	85952	86148	86423	86689	86687	86746	86910	87321	88716	91198	94020	96774
PUENTE ALTO	509453	516414	523641	530614	537475	544315	551202	557972	564547	570891	576972	582478	587905	593362	598765	604744	615557	629743	645909
SAN BERNARDO	255558	260942	265772	270230	274511	278724	282941	287080	291111	295082	298973	302510	306087	309765	313573	318078	323415	329121	334836

Tabla 42: Factores de ajuste de población por comuna y por año para el periodo 2002-2017.

COMUNA	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	DELTA
SANTIAGO	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,001
CERRILLOS	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
CERRO NAVIA	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
CONCHALÍ	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,002
EL BOSQUE	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
ESTACIÓN CENTRAL	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,000
HUECHURABA	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
INDEPENDENCIA	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,002
LA CISTERNA	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	-0,001
LA FLORIDA	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
LA GRANJA	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
LA PINTANA	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	-0,002
LA REINA	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	-0,001
LAS CONDES	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	-0,001

LO BARNECHEA	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,001
LO ESPEJO	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,000
LO PRADO	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,000
MACUL	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	-0,002
MAIPÚ	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
ÑUÑO A	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	-0,002
PEDRO AGUIRRE CERDA	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,001
PEÑALOLÉN	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
PROVIDENCIA	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	-0,002
PUDAHUEL	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,000
QUILICURA	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
QUINTA NORMAL	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,001
RECOLETA	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,002
RENCA	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	-0,001
SAN JOAQUÍN	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,001
SAN MIGUEL	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	-0,002
SAN RAMÓN	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,001
VITACURA	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	-0,001
PUENTE ALTO	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	-0,002
SAN BERNARDO	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,001

Tabla 43: Población ajustada para periodo 2002-2017.

COMUNA	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SANTIAGO	215408	226870	239133	251348	264021	276879	290134	302985	315535	329235	343292	354420	366383	379350	395377	422907	443068	460549	475474
CERRILLOS	70908	71900	72736	73461	74139	74794	75448	76068	76650	77228	77783	78201	78635	79103	79643	80535	81869	83263	84063
CERRO NAVIA	146312	145676	144767	143693	142580	141484	140440	139393	138338	137330	136339	135174	134095	133133	132355	132230	132916	133766	134629
CONCHALÍ	137425	137003	136319	135456	134556	133658	132806	131927	131020	130188	129378	128311	127346	126516	125955	126373	127939	129755	131539
EL BOSQUE	172895	172649	172057	171263	170404	169551	168740	167933	167112	166293	165465	164513	163619	162822	162118	161779	161967	162227	162540
ESTACIÓN CENTRAL	126135	119829	117503	116853	117190	118103	119453	120965	122595	124585	126757	128427	130365	132607	135539	140874	157367	176359	195418
HUECHURABA	73356	75373	77243	79001	80716	82409	84104	85760	87372	88985	90572	91986	93418	94892	96458	98471	101051	103710	106339
INDEPENDENCIA	68765	70096	71483	72820	74291	75844	77551	79203	80839	82858	85052	86540	88339	90497	93577	99868	111061	122688	134251
LA CISTERNA	84839	85591	86160	86600	86988	87354	87726	88061	88358	88665	88956	89087	89251	89470	89799	90600	91977	93455	94910
LA FLORIDA	360892	361860	362208	362192	362110	362093	362225	362381	362530	362764	363019	362904	362965	363288	363957	365902	369536	375355	380299
LA GRANJA	131225	130541	129601	128510	127376	126252	125169	124091	123008	121939	120874	119711	118602	117577	116645	116047	115905	115841	115816
LA PINTANA	186989	186635	185972	185158	184321	183541	182849	182206	181586	180979	180385	179717	179122	178634	178217	178041	178277	178556	178922
LA REINA	95455	95520	95388	95123	94817	94499	94203	93882	93535	93212	92890	92413	91984	91629	91407	91697	92626	93685	94738
LAS CONDES	244806	246534	248726	250959	253405	256030	258909	261788	264668	267894	271262	273860	276768	280068	284216	291455	298478	305850	312567
LO BARNECHEA	73464	75742	77901	79943	81965	83965	85982	87936	89831	91790	93747	95383	97080	98870	100909	103980	108263	112801	117252
LO ESPEJO	113824	112947	111868	110672	109457	108264	107121	105991	104867	103775	102699	101530	100424	99405	98501	97990	97971	98046	98152
LO PRADO	105055	104686	104111	103398	102651	101895	101178	100438	99673	98957	98254	97368	96552	95832	95297	95448	96407	97543	98661
MACUL	110693	110624	110560	110531	110607	110804	111130	111519	111950	112475	113047	113474	113992	114625	115437	116901	120083	123422	127230
MAIPÚ	463371	469854	475247	479900	484169	488254	492271	496092	499671	503062	506218	508780	511311	513932	516635	520249	527209	536064	546782
ÑUÑO A	161335	164671	167776	170698	173610	176562	179616	182649	185666	188845	192089	194929	197954	201222	204956	210326	218575	227752	236431
PEDRO AGUIRRE CERDA	116932	116033	114921	113684	112428	111186	109998	108814	107633	106499	105386	104142	102973	101907	101004	100645	100955	101416	101874
PEÑALOLÉN	213852	216513	218720	220612	222380	224102	225838	227499	229077	230661	232204	233387	234641	236021	237625	240211	244055	248106	252124
PROVIDENCIA	116683	117534	118616	119724	120940	122247	123680	125110	126546	128155	129843	131144	132600	134254	136349	140018	143037	146106	149073
PUDAHUEL	193212	195677	198264	200763	203220	205690	208187	210635	213007	215341	217585	219559	221533	223546	225637	228231	231566	234936	239216
QUILICURA	125815	131272	136907	142505	148147	153829	159565	165233	170817	176476	182096	187215	192397	197671	203268	210319	220028	229984	240686
QUINTA NORMAL	109829	108185	107042	106184	105625	105334	105302	105411	105646	106120	106740	107144	107742	108556	109764	112244	117095	123249	128868

RECOLETA	154441	151872	150039	148594	147609	147010	146814	146795	146946	147526	148369	148749	149477	150583	152474	156913	164270	172255	179621
RENCA	132107	133771	135130	136281	137326	138330	139321	140247	141113	141946	142732	143314	143910	144552	145282	146469	148269	150146	152000
SAN JOAQUÍN	100192	99798	99262	98643	98031	97459	96951	96457	95972	95555	95168	94644	94210	93865	93702	94122	95236	96518	97793
SAN MIGUEL	77222	79180	81042	82839	84660	86513	88450	90391	92352	94417	96537	98494	100568	102794	105277	108586	113805	119279	125741
SAN RAMÓN	96291	95501	94537	93480	92405	91356	90345	89351	88358	87385	86436	85423	84449	83558	82734	82187	81987	81849	81752
VITACURA	79835	80376	80766	81024	81257	81478	81700	81881	82009	82212	82406	82345	82342	82438	82768	84030	86365	88943	91451
PUENTE ALTO	487759	494071	500628	506933	513121	519279	525473	531546	537425	543074	548465	553302	558056	562831	567547	572802	582932	595737	610384
SAN BERNARDO	244676	249652	254092	258170	262072	265904	269734	273484	277125	280704	284202	287357	290546	293826	297224	301277	306274	311348	316420
Población ajustada (GS)	5391998	5434037	5476726	5517018	5558593	5601954	5648415	5694124	5738830	5787132	5836250	5872950	5913648	5959874	6017655	6119725	6268421	6430560	6593019

Tabla 44: Ejemplo de cálculo para el factor de ajuste. Población censada 2002 y 2017 versus población proyectada 2002 y 2017.

Población 2017 Comuna Santiago CENSO 2017	404.495	Población 2002 Comuna Santiago CENSO 2002	200.792	↓
Población 2017 Comuna Santiago Proyección 2002- 2035	446.490	Población 2002 Comuna Santiago Proyección 2002-2035	224.989	
Factor de ajuste	$\frac{404.495}{446.490} = 0,91$	Factor de ajuste	$\frac{200.792}{224.989} = 0,89$	

Anexo I) Evolución de la densidad poblacional para el periodo 2002-2020 según proyección INE.

Tabla 45: Densidad poblacional de las comunas del gran Santiago para el periodo 2002-2010.

COMUNA / Densidad [hab/km ²]	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SANTIAGO	4.287	4.344	4.391	4.432	4.470	4.506	4.543	4.577	4.609
CERRILLOS	13.363	13.296	13.204	13.097	12.986	12.877	12.773	12.669	12.564
CERRO NAVIA	11.995	11.987	11.955	11.908	11.857	11.805	11.758	11.708	11.655
CONCHALÍ	12.258	12.232	12.181	12.116	12.047	11.978	11.912	11.846	11.779
EL BOSQUE	9.085	8.636	8.474	8.432	8.462	8.533	8.636	8.751	8.875
ESTACIÓN CENTRAL	1.650	1.694	1.735	1.774	1.811	1.849	1.886	1.922	1.957
HUECHURABA	8.935	9.138	9.349	9.556	9.781	10.018	10.277	10.531	10.783
INDEPENDENCIA	8.530	8.600	8.653	8.692	8.726	8.758	8.790	8.818	8.843
LA CISTERNA	5.162	5.172	5.174	5.170	5.165	5.162	5.160	5.159	5.157
LA FLORIDA	13.164	13.088	12.988	12.872	12.752	12.633	12.519	12.405	12.290
LA GRANJA	6.242	6.222	6.192	6.156	6.120	6.086	6.055	6.026	5.997
LA PINTANA	4.128	4.131	4.125	4.113	4.099	4.085	4.071	4.057	4.041
LA REINA	2.523	2.539	2.561	2.582	2.606	2.631	2.659	2.687	2.715
LAS CONDES	1.715	1.772	1.827	1.878	1.930	1.981	2.033	2.083	2.133
LO BARNECHEA	13.685	13.595	13.480	13.352	13.220	13.091	12.968	12.846	12.725
LO ESPEJO	15.903	15.863	15.792	15.700	15.603	15.504	15.410	15.313	15.212
LO PRADO	8.763	8.746	8.730	8.716	8.711	8.715	8.729	8.749	8.771
MACUL	3.377	3.424	3.463	3.497	3.528	3.557	3.586	3.614	3.640
MAIPÚ	9.700	9.885	10.056	10.216	10.374	10.534	10.700	10.863	11.026
ÑUÑO A	13.082	13.004	12.902	12.785	12.665	12.547	12.434	12.322	12.209
PEDRO AGUIRRE CERDA	4.030	4.079	4.120	4.154	4.186	4.217	4.249	4.279	4.307
PEÑALOLÉN	8.400	8.449	8.516	8.583	8.659	8.740	8.831	8.921	9.011
PROVIDENCIA	975	988	1.002	1.016	1.029	1.042	1.056	1.069	1.083
PUDAHUEL	5.584	5.649	5.717	5.783	5.846	5.909	5.972	6.034	6.094
QUILICURA	2.198	2.293	2.392	2.489	2.588	2.687	2.787	2.885	2.983
QUINTA NORMAL	8.803	8.691	8.619	8.570	8.544	8.541	8.558	8.586	8.625
RECOLETA	9.390	9.263	9.181	9.121	9.089	9.081	9.097	9.125	9.163
RENCA	5.621	5.689	5.745	5.791	5.833	5.874	5.913	5.950	5.985
SAN JOAQUÍN	1.555	1.590	1.621	1.650	1.678	1.706	1.734	1.762	1.789
SAN MIGUEL	9.819	9.800	9.767	9.726	9.685	9.647	9.616	9.586	9.557
SAN RAMÓN	8.205	8.398	8.580	8.755	8.931	9.111	9.298	9.485	9.674
VITACURA	15.120	15.019	14.891	14.747	14.600	14.457	14.319	14.183	14.047
PUENTE ALTO	8.680	9.157	9.669	10.180	10.712	11.253	11.812	12.356	12.890
SAN BERNARDO	2.867	2.886	2.899	2.907	2.915	2.922	2.929	2.934	2.938
Densidad total del Gran Santiago con área total variable AJUSTAD A AL VALOR DE INE MAPS [hab/km²]	8.321	8.343	8.292	8.238	8.275	8.142	8.101	8.061	8.020

Tabla 46: Densidad poblacional de las comunas del gran Santiago para el periodo 2011-2020

COMUNA / Densidad [hab/km ²]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SANTIAGO	13473	14072	14553	15071	15631	16319	17485	18340	19103	19763
CERRILLOS	4640	4670	4692	4715	4740	4769	4819	4893	4974	5020
CERRO NAVIA	12464	12365	12251	12144	12048	11969	11950	11997	12069	12142
CONCHALÍ	11608	11563	11495	11435	11387	11363	11428	11590	11787	11981
EL BOSQUE	11713	11646	11571	11499	11435	11377	11345	11343	11357	11374
ESTACIÓN CENTRAL	9025	9188	9315	9462	9631	9850	10244	11445	12839	14240
HUECHURABA	1992	2026	2057	2088	2120	2154	2198	2253	2312	2370
INDEPENDENCIA	11089	11419	11657	11938	12269	12728	13627	15195	16846	18499
LA CISTERNA	8869	8893	8901	8912	8928	8956	9031	9158	9303	9445
LA FLORIDA	5157	5157	5152	5150	5151	5157	5181	5226	5306	5374
LA GRANJA	12177	12065	11943	11826	11718	11619	11554	11528	11519	11515
LA PINTANA	5969	5941	5911	5883	5859	5837	5824	5820	5823	5829
LA REINA	4027	4013	3992	3973	3957	3947	3959	3996	4043	4089
LAS CONDES	2746	2779	2804	2832	2864	2905	2977	3045	3120	3187
LO BARNECHEA	90	92	94	96	98	100	103	108	113	117
LO ESPEJO	12607	12490	12362	12242	12132	12035	11987	11992	12019	12050
LO PRADO	15119	15027	14906	14797	14702	14635	14673	14828	15023	15216
MACUL	8800	8834	8855	8884	8921	8973	9074	9304	9553	9838
MAIPÚ	3664	3687	3706	3724	3743	3763	3789	3837	3903	3982
ÑUÑO A	11197	11371	11521	11682	11856	12057	12353	12810	13331	13822
PEDRO AGUIRRE CERDA	12101	11995	11874	11761	11659	11575	11554	11603	11680	11757
PEÑALOLÉN	4336	4363	4384	4406	4431	4460	4507	4575	4651	4727
PROVIDENCIA	9113	9220	9299	9389	9493	9628	9873	10066	10271	10469
PUDAHUEL	1095	1108	1119	1130	1141	1153	1168	1185	1204	1227
QUILICURA	3081	3179	3268	3359	3450	3548	3671	3838	4013	4200
QUINTA NORMAL	8684	8755	8808	8877	8965	9085	9312	9731	10270	10766
RECOLETA	9228	9310	9363	9438	9537	9687	10000	10496	11044	11556
RENCA	6018	6049	6071	6094	6118	6147	6194	6265	6344	6421
SAN JOAQUÍN	9535	9515	9481	9457	9441	9443	9504	9631	9783	9935
SAN MIGUEL	9872	10075	10261	10458	10670	10908	11230	11742	12288	12934
SAN RAMÓN	13914	13784	13643	13509	13387	13275	13208	13189	13191	13200
VITACURA	2944	2950	2947	2946	2949	2960	3004	3085	3177	3266
PUENTE ALTO	6150	6204	6251	6297	6343	6388	6440	6542	6680	6838
SAN BERNARDO	624	633	641	649	658	667	677	689	702	715
Densidad total del Gran Santiago con área total variable AJUSTAD A AL VALOR DE INE MAPS [hab/km²]	7.998,1	7.952,1	7.903,5	7.861,4	7.827,6	7.809,6	7.820,5	7.942,6	8.058,6	8.172,8

Anexo J) Áreas totales, Áreas verdes y coberturas arbóreas en el Gran Santiago.

Tabla 47: Área total, áreas verdes, áreas vegetacionales y cobertura arbórea para las comunas del Gran Santiago.

Comuna	Área total [km²] Censo 2017	Áreas verdes totales [km²] INE 2019	Cobertura arbórea
Santiago	23,13	1,87	11,4%
Cerrillos	16,77	1,18	11,5%
Cerro Navia	11,10	0,79	8,2%
Conchalí	11,11	0,42	19,5%
El Bosque	14,32	0,33	8,6%
Estación Central	14,35	0,53	9,4%
Huechuraba	44,90	1,06	15,3%
Independencia	7,36	0,16	19,2%
La Cisterna	9,98	0,16	25,7%
La Florida	70,82	1,38	17,6%
La Granja	10,07	0,85	10%
La Pintana	30,45	0,61	10,2%
La Reina	23,44	1,30	38,3%
Las Condes	99,04	1,43	37,3%
Lo Barnechea	1023,53	1,57	34%
Lo Espejo	8,24	0,43	6,5%
Lo Prado	6,56	0,31	11,5%
Macul	12,84	0,48	12,5%
Maipú	137,68	2,85	9,5%
Ñuñoa	16,86	0,51	24,2%
Pedro Aguirre Cerda	8,76	0,53	24,2%
Peñalolén	53,61	1,37	22,3%
Providencia	14,39	2,12	30,2%
Pudahuel	197,25	1,05	4,3%

Quilicura	57,32	0,84	7,7%
Quinta Normal	11,82	0,40	5,3%
Recoleta	15,78	2,93	14,1%
Renca	23,76	0,67	10,5%
San Joaquín	9,94	0,46	6%
San Miguel	9,61	0,21	10,9%
San Ramón	6,28	0,38	3,8%
Vitacura	28,43	1,59	44%
Puente Alto	88,22	2,49	20,3%
San Bernardo	152,8	1,20	11,1%
Total	2.271	34,45	-

Anexo K) Variaciones de temperatura anuales en la Región Metropolitana para el periodo 2010-2019.

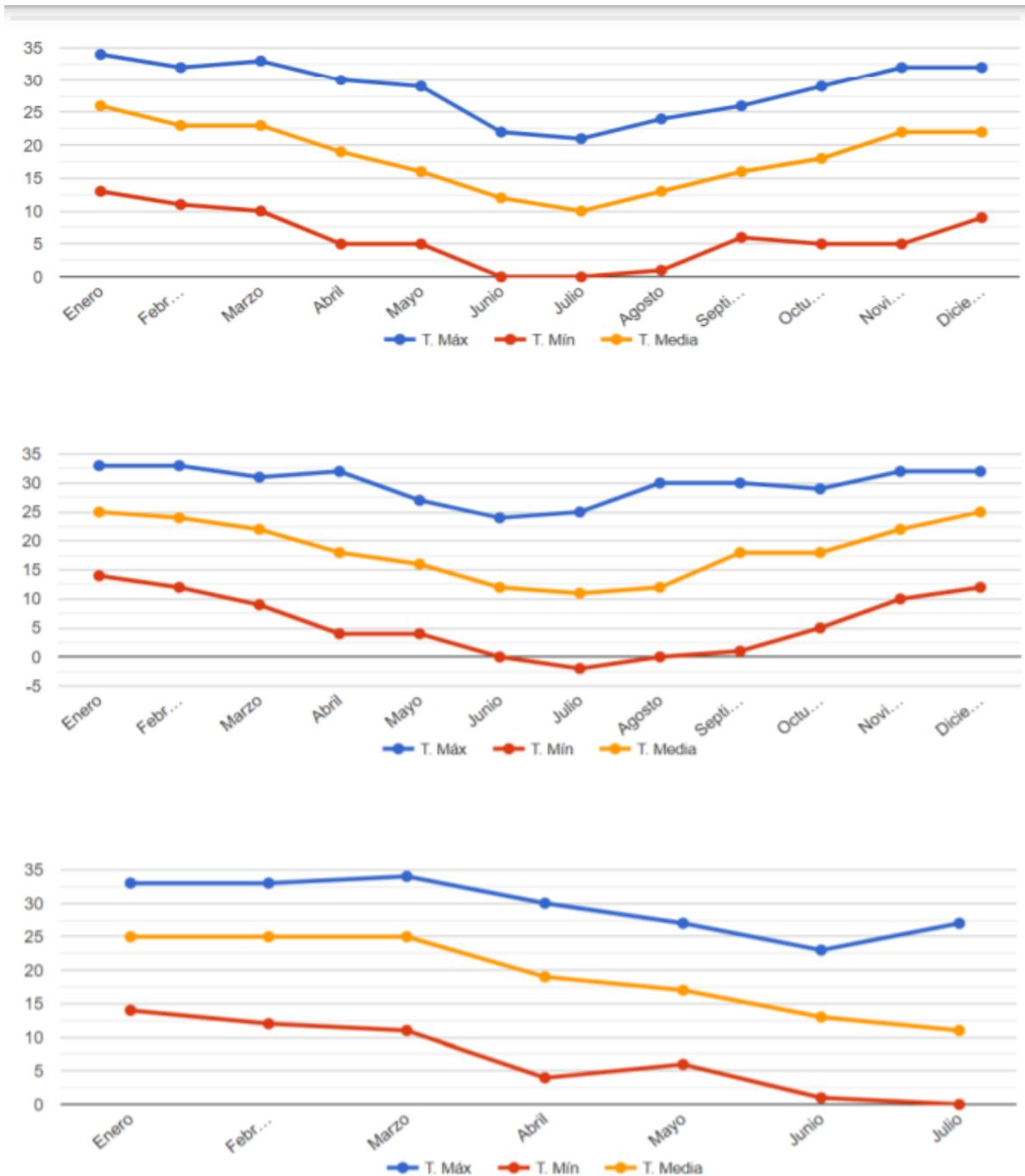


Figura 0-3: Temperaturas máximas, promedio y mínimas mensuales en la región metropolitana para los años 2010,2011 y 2012.

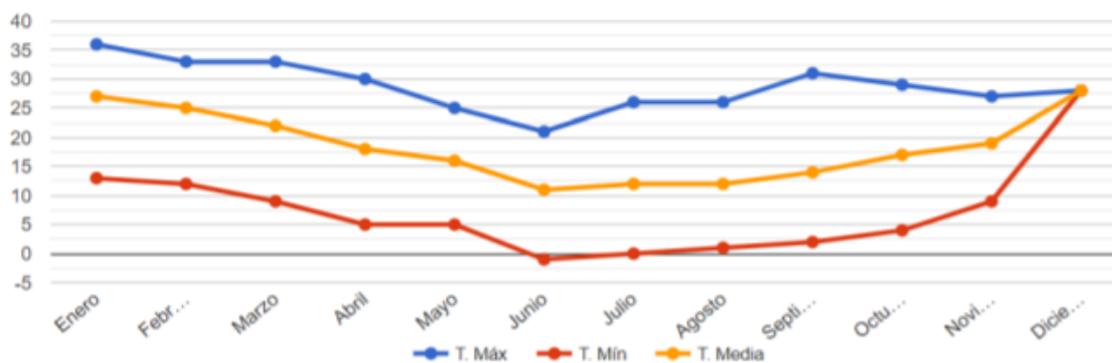
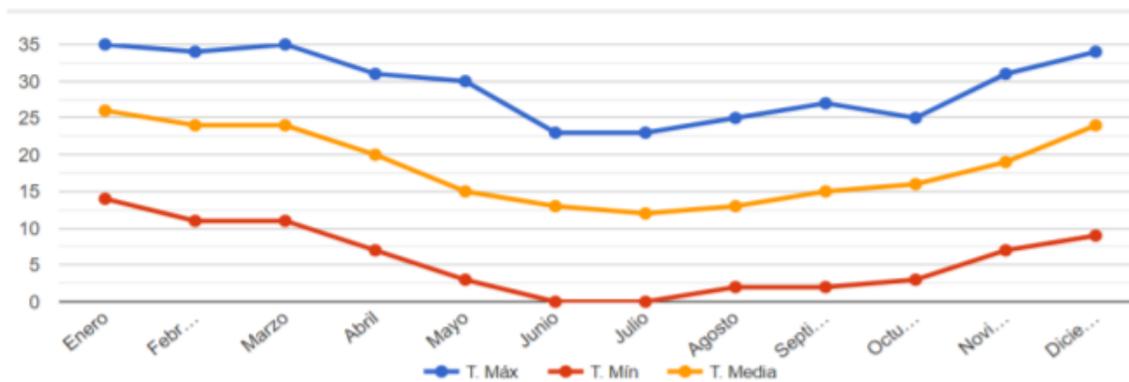
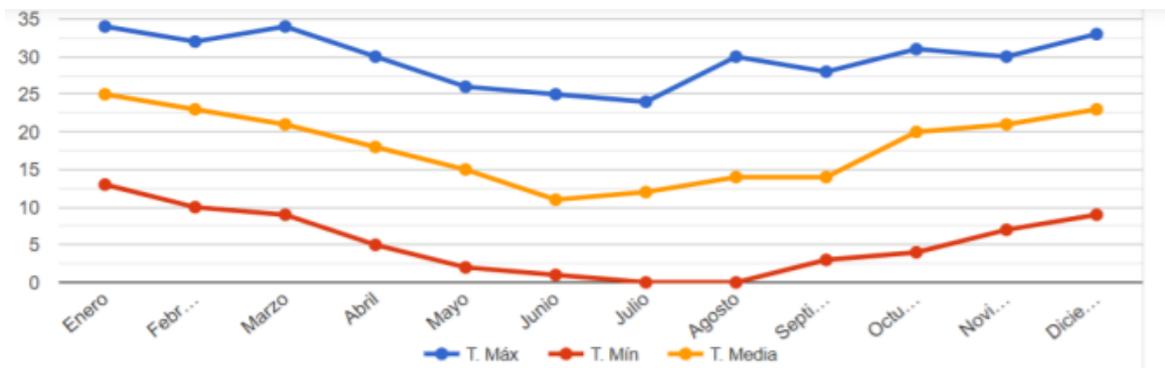


Figura 0-4: Temperaturas máximas, promedio y mínimas mensuales en la región metropolitana para los años 2014,2015 y 2017.

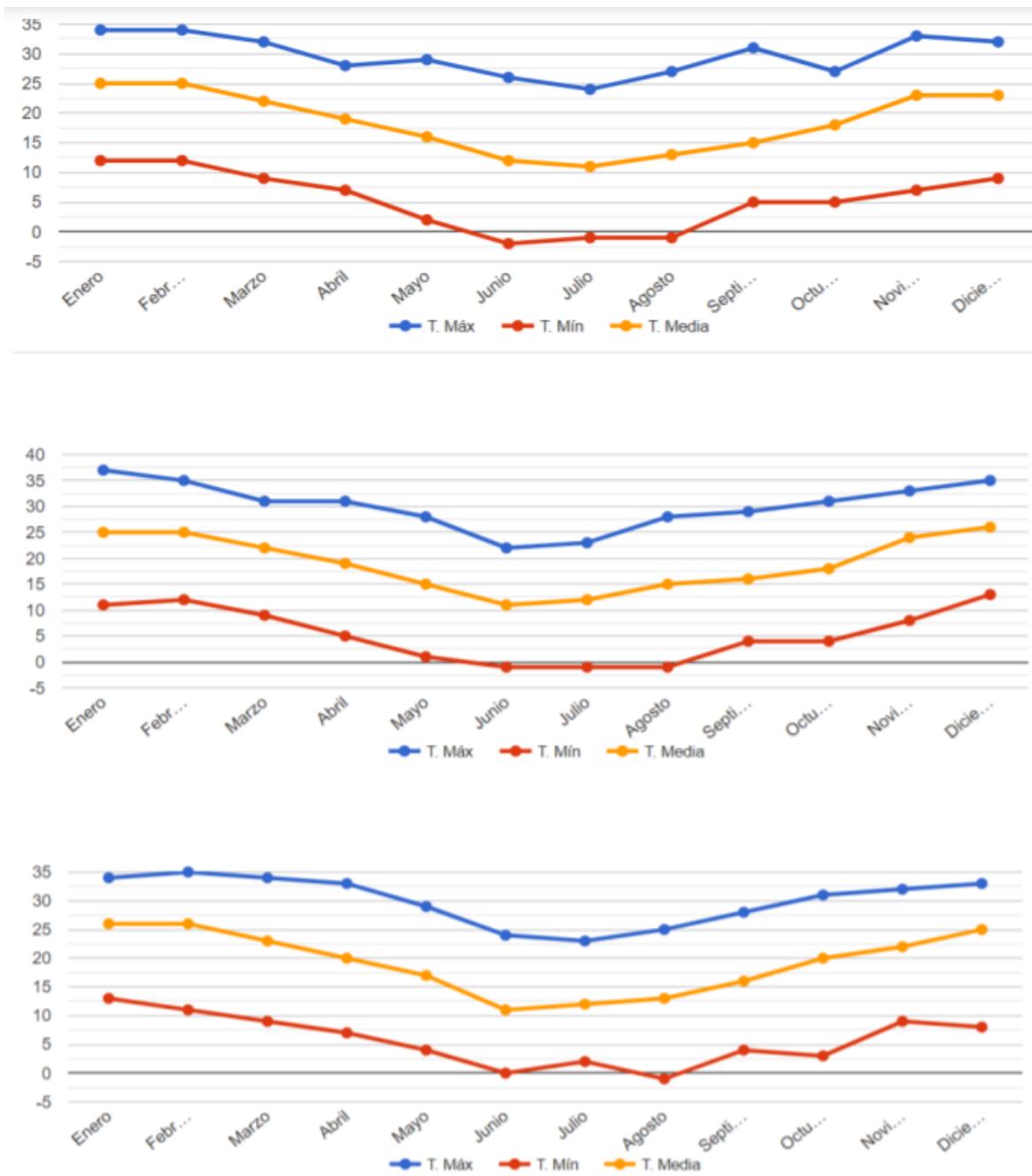


Figura 0-5: Temperaturas máximas, promedio y mínimas mensuales en la región metropolitana para los años 2018,2019 y 2020.

Anexo L): Precipitaciones totales anuales históricas en Santiago

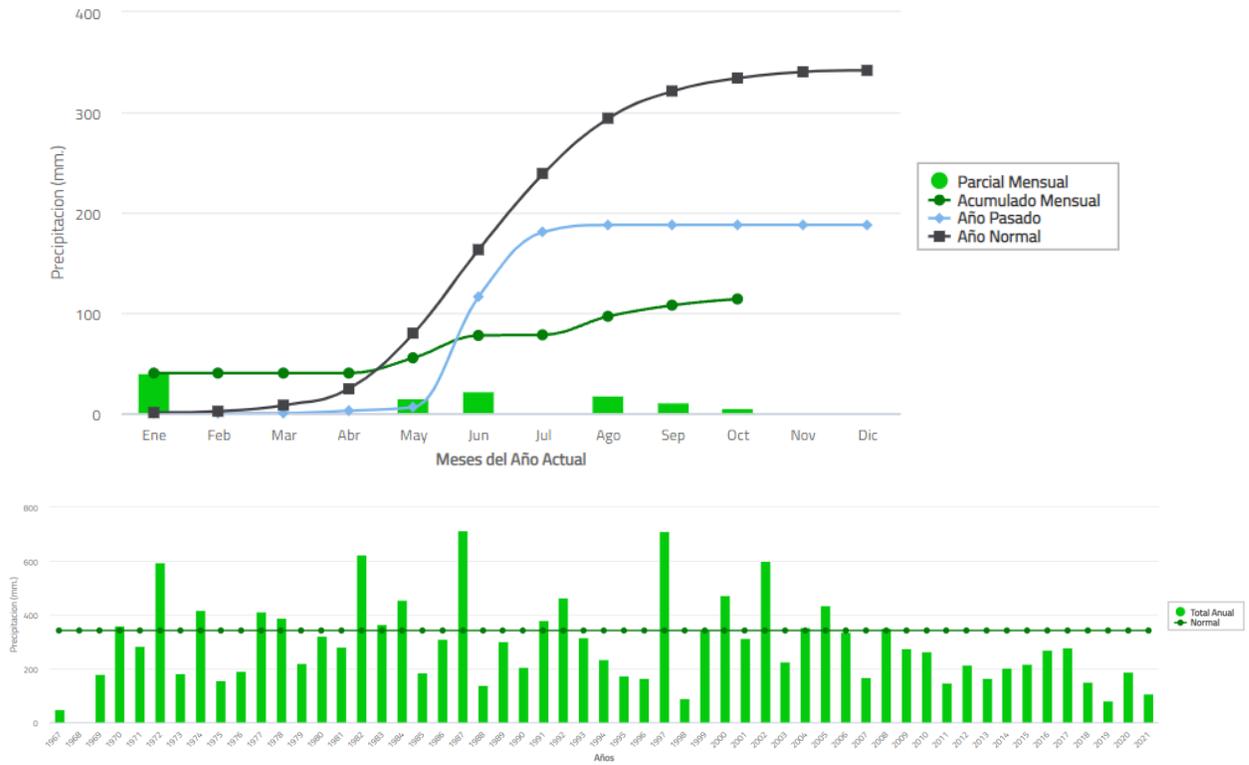


Figura 0-6: Precipitaciones anuales promedio en el Gran Santiago [61].

Anexo M) Lista de valores del PIB, emisiones totales de CO₂ y emisiones per cápita chilenas para el periodo 1960-2018 [63][62].

Tabla 48: Valores del PIB, emisiones totales y emisiones per cápita de Chile en el periodo 1960-2018 y su cambio porcentual

Año	PIB (US\$ a precios actuales)	Emisiones de CO ₂ (kt)	Emisiones de CO ₂ (toneladas métricas per cápita)	Cambio porcentual (PIB)	Cambio porcentual (emisión total)	Cambio porcentual (emisión per cápita)
1960	4110000000	13490,893	1,658786783	-	-	-
1961	4609727273	14473,649	1,743014286	12%	7%	5%
1962	5416272727	16725,187	1,973032225	17%	16%	13%
1963	5668187500	17355,911	2,006373239	5%	4%	2%
1964	5982347826	17524,593	1,986497511	6%	1%	-1%
1965	6026593750	17766,615	1,976350579	1%	1%	-1%
1966	7072641026	18793,375	2,053281667	17%	6%	4%
1967	7013196078	19259,084	2,06818039	-1%	2%	1%
1968	7167086957	21224,596	2,241517582	2%	10%	8%
1969	8377093023	22555,717	2,343377103	17%	6%	5%
1970	9126309735	24664,242	2,521098249	9%	9%	8%
1971	10884114754	27095,463	2,72515709	19%	10%	8%
1972	11853817308	28191,896	2,790261563	9%	4%	2%
1973	16836261173	27652,847	2,693679428	42%	-2%	-3%
1974	16210404184	25955,026	2,488782845	-4%	-6%	-8%
1975	7622217352	23014,092	2,172716999	-53%	-11%	-13%
1976	10341925249	24103,191	2,240724073	36%	5%	3%
1977	13962893422	23109,434	2,115710501	35%	-4%	-6%
1978	15989933708	22948,086	2,069415145	15%	-1%	-2%

1979	21803696985	24862,26	2,209021032	36%	8%	7%
1980	29036709872	25265,63	2,212527858	33%	2%	0%
1981	34509878044	24554,232	2,120030185	19%	-3%	-4%
1982	25325893206	20615,874	1,755452465	-27%	-16%	-17%
1983	20355959237	20839,561	1,750053725	-20%	1%	0%
1984	19622527480	22200,018	1,838033299	-4%	7%	5%
1985	17702885394	21503,288	1,754333888	-10%	-3%	-5%
1986	18891048819	22247,689	1,787561266	7%	3%	2%
1987	22255407685	22673,061	1,793340967	18%	2%	0%
1988	26040229793	26926,781	2,095842513	17%	19%	17%
1989	29885685143	32386,944	2,480093742	15%	20%	18%
1990	33113887818	30410	2,290838222	11%	-6%	-8%
1991	37834793730	29560	2,190399514	14%	-3%	-4%
1992	45964327559	31490	2,295219951	21%	7%	5%
1993	49297773130	32300	2,316253343	7%	3%	1%
1994	57008425296	35380	2,497468296	16%	10%	8%
1995	73447063319	38250	2,659784558	29%	8%	6%
1996	78039572222	44060	3,020421711	6%	15%	14%
1997	84952360922	50560	3,419398336	9%	15%	13%
1998	81577430181	51410	3,432427972	-4%	2%	0%
1999	75173794497	53770	3,546178572	-8%	5%	3%
2000	77860932152	49820	3,247220928	4%	-7%	-8%
2001	70979923960	47870	3,085180102	-9%	-4%	-5%
2002	69736811435	48690	3,104355898	-2%	2%	1%
2003	75643459840	49910	3,148965633	8%	3%	1%
2004	99210392858	54730	3,417427143	31%	10%	9%

2005	1,22965E+11	55720	3,443180386	24%	2%	1%
2006	1,54788E+11	57050	3,48833505	26%	2%	1%
2007	1,73606E+11	64740	3,916467803	12%	13%	12%
2008	1,79638E+11	68250	4,084807181	3%	5%	4%
2009	1,72389E+11	65370	3,87121211	-4%	-4%	-5%
2010	2,18538E+11	69720	4,086146422	27%	7%	6%
2011	2,52252E+11	76470	4,437266212	15%	10%	9%
2012	2,67122E+11	78490	4,510826472	6%	3%	2%
2013	2,78384E+11	82940	4,720140459	4%	6%	5%
2014	2,60542E+11	76390	4,301488448	-6%	-8%	-9%
2015	2,43919E+11	81970	4,561654853	-6%	7%	6%
2016	2,5044E+11	86160	4,73170736	3%	5%	4%
2017	2,77035E+11	87040	4,712395783	11%	1%	0%
2018	2,97572E+11	86620	4,624872245	7%	0%	-2%

Anexo N) Lista de valores del PIB por región en el periodo 2013-2019 y su respectivo aporte porcentual al total nacional.

Tabla 49: Valores del PIB regional para todas las regiones del país en miles de millones CLP y su respectivo aporte porcentual al total anual respectivo. Periodo 2013-2019.

Región	2013	% del total	2014	% de l total	2015	% del total	2016	% del total	2017	% del total	2018	% del total	2019	% del total
AyP	969	1%	1.031	1%	1.171	1%	1.270	1%	1.364	1%	1.392	1%	1.426	1%
TPCA	3.214	2%	3.447	2%	3.393	2%	3.528	2%	3.970	2%	4.136	2%	4.475	2%
ANTOF	13.843	10%	15.048	10%	14.553	9%	14.405	8%	15.831	9%	17.055	9%	17.516	9%
ATCMA	3.736	3%	3.498	2%	3.191	2%	3.543	2%	3.981	2%	3.918	2%	3.997	2%
COQ	3.990	3%	4.233	3%	4.247	3%	4.545	3%	4.987	3%	5.173	3%	5.475	3%
VALPO	11.379	8%	12.078	8%	13.418	8%	14.506	9%	15.371	9%	15.411	8%	15.804	8%
RM	57.907	42%	61.730	42%	67.439	42%	72.083	43%	75.018	42%	80.318	42%	82.814	42%
LGBO	6.109	4%	6.695	5%	7.282	5%	7.720	5%	8.018	4%	8.433	4%	8.755	4%
MAULE	4.232	3%	4.614	3%	5.454	3%	5.747	3%	5.901	3%	6.645	3%	6.750	3%
BBIO	9.735	7%	10.879	7%	12.164	8%	12.857	8%	13.437	7%	14.477	8%	14.648	7%
ARAUC	3.315	2%	3.527	2%	4.005	3%	4.426	3%	4.688	3%	5.062	3%	5.202	3%
RIOS	1.732	1%	1.936	1%	2.135	1%	2.267	1%	2.349	1%	2.515	1%	2.517	1%
LAGOS	3.827	3%	4.681	3%	4.811	3%	5.380	3%	6.166	3%	6.460	3%	6.874	4%
AYSEN	728	1%	891	1%	751	0%	982	1%	1.127	1%	1.082	1%	1.197	1%
MAG	1.398	1%	1.542	1%	1.550	1%	1.711	1%	1.914	1%	1.984	1%	2.128	1%
Total	137.876		148.599		159.553		169.537		179.749		190.826		196.379	

Anexo O) Lista de las comunas del gran Santiago y el relleno sanitario que los atiende.

Relleno Sanitario Santiago Poniente[103]:



Figura 0-7: Vista satelital Relleno sanitario Santiago Poniente.

El relleno sanitario Santiago Poniente es un establecimiento de operación privada que se encuentra en el sector Rinconada de la comuna de Maipú y recibe los desechos domiciliarios asimilables de las comunas: Cerrillos, Isla de Maipo, Estación Central, Maipú, Padre Hurtado, Peñalolén, Peñaflor, San Bernardo y El monte. El inicio de sus operaciones comienza el año 2002 y tiene una fecha de cierre pronosticada para el 2032. Este tiene una superficie de 67 [ha] para la disposición de residuos, atiende cerca del 14.08 % de la población la región metropolitana y cuenta con tecnologías de captación y canalización de biogás, el cual es quemado en una antorcha. El relleno tiene una capacidad de recepción de residuos de 37.131 [ton/mes] y en su operación no tiene asociada una estación de transferencia, por lo tanto los residuos son trasladados directamente desde el origen hacia el relleno a través de los camiones recolectores.

Relleno Sanitario Loma los Colorados[103]:



Figura 0-8: Vista satelital Relleno sanitario Loma los Colorados

El relleno sanitario Santiago Lomas Los Colorados es un establecimiento de operación privada que se encuentra en la comuna de Til Til y recibe los desechos domiciliarios asimilables de las comunas: Rinconada, Ñuñoa, La Ligua, Providencia, Zapallar, Pudahuel, Nogales, Quilicura, Llay-Llay, Quinta Normal, Olmué, Santiago, Renca, Cerro Navia, San Miguel, Conchalí, Vitacura, Huechuraba, Puente Alto, Independencia, Colina, La Cisterna, Lampa, La Reina, Til Til, Las Condes, Curacaví, Lo Barnechea, María Pinto, Lo Prado, Papudo y La Calera. El inicio de sus operaciones comienza el año 1995 y tiene una fecha de cierre pronosticada para el 2045. En la Figura 0-8 se presenta una imagen satelital del relleno. Este tiene una superficie de 210 [ha] para la disposición de residuos, atiende cerca del 56 % de la población la región metropolitana y cuenta con sistemas de canalización de biogás, el cual es manejado de dos formas: Degradación térmica por combustión en una antorcha y combustión en un moto-generator para la producción de corriente eléctrica.

Relleno Sanitario Santa Marta[103]:



Figura 0-9: Vista satelital Relleno sanitario Santa Marta

El relleno sanitario Santa Marta es un establecimiento de operación privada que se encuentra en la comuna de Talagante y recibe los desechos domiciliarios asimilables de las comunas: El Bosque, San Ramón, Estación Central, Pirque, La Florida, San José de Maipo, La Granja, San Bernardo, La Pintana, Buin, Lo Espejo, Calera de Tango, Macul, Paine, Pedro Aguirre Cerda, Talagante y San Joaquín. El inicio de sus operaciones comienza el año 2002 y tiene una fecha de cierre pronosticada para el 2028. En la Figura 0-9 se presenta una imagen satelital del relleno. Este tiene una superficie de 77 [ha] para la disposición de residuos, atiende cerca del 28 % de la población la región metropolitana y cuenta con sistemas de canalización de biogás, el cuál es manejado de dos formas: Degradación térmica por combustión en una antorcha y combustión en moto generadores para la producción de corriente eléctrica.

Relleno Sanitario Cerro La Leona[104]:



Figura 0-10: Vista satelital Relleno sanitario Cerro La Leona

El relleno sanitario Cerros La Leona es un establecimiento de operación privada que se encuentra en la comuna de Til Til . El inicio de sus operaciones comienza el año 2013 y tiene una fecha de cierre pronosticada para el 2050. En la Figura 0-10 se presenta una imagen satelital del relleno. Este tiene una superficie de 77 [ha], cuenta con sistemas de captación y canalización de biogás, el cual es quemado en una antorcha. No se ha encontrado información reportada sobre las comunas atendidas por este relleno.

Adicionalmente a los 4 rellenos, se encuentra operativo el vertedero de Popeta, ubicado en la comuna de Melipilla y que atiende principalmente a las comunas de Alhué, María Pinto, Melipilla, San Pedro y a particulares. El vertedero se encuentra en un periodo de extensión de vida útil con el fin de formalizar el proyecto que lo reconvertirá en un relleno Sanitario [105].

Relleno	Comunas atendidas	Población atendida
Santiago Poniente	Cerrillos, Isla de Maipo, Maipú, Padre Hurtado, Peñalolén, Peñaflor, El monte.	1.070.297
Loma los Colorados	Rinconada, Ñuñoa, La Ligua, Providencia, Zapallar, Pudahuel, Nogales, Quilicura, Llay Llay, Quinta Normal, Olmúe, Recoleta, Santiago, Renca, Cerro Navia, San Miguel, Conchalí, Vitacura, Huechuraba, Puente Alto, Independencia, Colina, La Cisterna, Lampa, La Reina, Til Til, Las Condes, Curacaví, Lo Barnechea, María Pinto, Lo Prado.	4.227.237
Santa Marta	El Bosque, San Ramón, Estación Central, Pirque, La Florida, San José de Maipo, La Granja, San Bernardo, La Pintana, Buin, Lo Espejo, Calera de Tango, Macul, Pain, Pedro Aguirre Cerda, Talagante, San Joaquín.	2.145.830
La Leona	No se reporta.	No se reporta.
Vertedero de Popeta	Melipilla, Alhué, San Pedro	155.513

Anexo P) Lista de plantas de tratamiento de agua potable y plantas de aguas servidas en el Gran Santiago.

Tabla 50: Lista de las plantas de tratamiento de agua potable en el Gran Santiago y su respectivo operador.

Planta	Operador	Flujo de diseño [m³/s]
Complejo Vizcachas	Aguas Andinas S.A.	12
La Florida	Aguas Andinas S.A.	4
Quebrada de Ramón	Aguas Andinas S.A.	0,543
El Canelo	Aguas Andinas S.A.	0,029
Quilicura	Aguas Andinas S.A.	0,1
Arrayán	Aguas Cordillera S.A.	0,19
La Dehesa	Aguas Cordillera S.A.	0,35
San Enrique	Aguas Cordillera S.A.	0,5
Vitacura	Aguas Cordillera S.A.	0,27
Lo Gallo	Aguas Cordillera S.A.	0,65
Padre Hurtado	Aguas Cordillera S.A.	0,5
Montecasino	Aguas Cordillera S.A.	0,2
El Sendero	Aguas Cordillera S.A.	0,25
Punta de Águila	Aguas Manquehue S.A.	0,3
Sistema Los Trapenses	Aguas Manquehue S.A.	0,03
Sistema Santa María	Aguas Manquehue S.A.	0,18
SMAPA 1	SMAPA	0,2
SMAPA 2	SMAPA	2,4
ENEA	Aguas Santiago Poniente S.A.	0,048
Lo Barnechea y Valle Escondido	Sembcorp Aguas Santiago S.A.	0,1244
San Borja	COSSBO S.A.	0,045
Ciudad de los Valles	SEPPRA S.A.	0,0904
La Leonera	Empresa particular de AP y ALC La Leonera S.A.	0,008
Santa Rosa del Peral	Alberto Planella Ortiz	0,012
Lo Aguirre	Empresa de agua potable Izarra de Lo Aguirre	0,05
Sector industrial Quilicura	Explotaciones sanitarias S.A.	0,12
San Isidro	ESSSI S.A.	0,15
Pirque	Aguas Pirque S.A.	0,05
El Colorado	Empresa de Agua potable El Colorado.	0,02

Tabla 51: Plantas de tratamiento de aguas servidas en el Gran Santiago[29][78]

<i>Planta</i>	<i>Operador</i>	<i>Flujo de diseño [m³/s]</i>
El Trebal	Aguas Andinas S.A.	6,6
La Farfana	Aguas Andinas S.A.	8,8
San José de Maipo	Aguas Andinas S.A.	0,021
Los Trapenses	Aguas Manquehue S.A.	0,04
Barrancas	Aguas Santiago Poniente S.A.	0,053
Jardín Lo Prado	SEPRA S.A.	0,094
La Leonera	La Leonera S.A.	0,013
Lomas de lo Aguirre	EMAPAL S.A.	0,0025
Quilicura	Explotaciones Sanitarias ESSA S.A.	0,1372
San Isidro	-	0,044
El Colorado	-	0,0014

Anexo Q) Datos de consumo de energía final total y datos de demanda y consumo de energía eléctrica para Chile. Año 2019.

Tabla 52: Consumo final de energía en Chile por sector y tipo de combustible. Año 2019, Energía abierta.

Categoría	Seccion	Combustible	Tcal	% parcial	% acumulado
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Petróleo Diesel	53.531,98	17,6%	18%
Sector Industrial y Minero	Electricidad	Electricidad	40.373,97	13,3%	31%
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gasolina de motor	37.955,84	12,5%	43%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Petróleo Diesel	31.977,96	10,5%	54%
Sector Comercial, Público y Residencial	Electricidad	Electricidad	22.234,8	7,3%	61%
Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biomasa	20.060,23	6,6%	68%
Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biomasa	18.042,62	5,9%	74%
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Kerosene de Aviación	14.438,41	4,7%	78%
Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	12.972,86	4,3%	83%
Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	8.931,69	2,9%	86%
Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.286,17	2,4%	88%
Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Petróleo Diesel	4.564,5	1,5%	90%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Petróleo Combustible	4.329,76	1,4%	91%
Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	3.569,83	1,2%	92%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.077,11	1,0%	93%
Sector Energético: Auto Consumo	Electricidad	Electricidad	3.011,96	1,0%	94%
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Petróleo Combustible	2.771,68	0,9%	95%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Coque de Petróleo	2.313,71	0,8%	96%
Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	D.l. de Petróleo	2.054,09	0,7%	96%
Construcción	Derivados De Petróleo	Petróleo Diesel	1.853,95	0,6%	97%
Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Carbón	1.511,45	0,5%	98%
Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Kerosene	1.324,25	0,4%	98%
Sector Transporte	Electricidad	Electricidad	1.204,86	0,4%	98%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	D.l. de Petróleo	1.097,87	0,4%	99%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	613,19	0,2%	99%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	491,19	0,2%	99%
Construcción	Energéticos Primarios	Gas Natural	465,69	0,2%	99%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Kerosene de Aviación	457,57	0,2%	99%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	234,74	0,1%	100%
Construcción	Electricidad	Electricidad	155,13	0,1%	100%
Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	154,58	0,1%	100%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Alquitrán	151,1	0,0%	100%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Kerosene	138,05	0,0%	100%
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	136,2	0,0%	100%
Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	107,84	0,0%	100%

Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	95,33	0,0%	100%
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Kerosene	82,25	0,0%	100%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Coque Mineral	72,83	0,0%	100%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	71,21	0,0%	100%
Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Petróleo Combustible	59,12	0,0%	100%
Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gasolina de Aviación	58,71	0,0%	100%
Construcción	Derivados De Petróleo	Petróleo Combustible	30,68	0,0%	100%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Petróleo Combustible	30,06	0,0%	100%
Construcción	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	26,86	0,0%	100%
Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	13,62	0,0%	100%
Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Kerosene de Aviación	11,09	0,0%	100%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Petróleo Diesel	10,59	0,0%	100%
Construcción	Derivados De Petróleo	Kerosene de Aviación	2,73	0,0%	100%
Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,77	0,0%	100%
Construcción	Derivados De Petróleo	Kerosene	,13	0,0%	100%
Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gasolina de Aviación	,12	0,0%	100%
Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gasolina de Aviación	,07	0,0%	100%
Construcción	Derivados De Petróleo	Gasolina de Aviación	,03	0,0%	100%

Tabla 53: Generación y consumo de energía eléctrica en Chile por región para el año 2019.

<i>Región</i>	<i>Generación [MWh]</i>	<i>Cientes libres [MWh]</i>	<i>Cientes regulados [MWh]</i>
Región del Biobío	1.334.489,5	255.904,6	164.261,48
Región de Antofagasta	1.552.684,67	1.281.828,9	74.124,2
Región de Tarapacá	75.208,62	154.142,2	36.443,96
Región de Atacama	633.597,19	244.873,2	40.508,15
Región de Coquimbo	161.822,63	171.677,5	94.770,04
Región de Valparaíso	1.147.570,5	253.569,7	234.832,91
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	357.930,17	231.921,1	144.141,24
Región del Maule	495.143,86	84.863,	157.608,18
Región de la Araucanía	80.243,83	24.765,7	92.458,36
Región de Los Lagos	114.814,72	66.913,5	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	12.910,42	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	507.440,36	718.752,8	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	26.763,82	0	25.800,52
Región de Los Ríos	54.071,3	22.208,	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	4.789,31	8.314,2	23.777,14
Región de Ñuble	17.887,06	0	54.744,6

Región del Biobío	1.213.635,23	252.083,7	164.261,48
Región de Antofagasta	1.369.371,75	1.101.684,3	74.124,2
Región de Tarapacá	61.807,13	148.101,1	36.443,96
Región de Atacama	588.309,51	229.058,7	40.508,15
Región de Valparaíso	1.339.091,37	225.059,3	234.832,91
Región de Coquimbo	106.673,79	174.908,	94.770,04
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	298.948,74	214.438,1	144.141,24
Región del Maule	365.523,35	95.153,	157.608,18
Región de la Araucanía	74.330,79	22.922,2	92.458,36
Región de Los Lagos	67.976,24	59.623,8	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	11.497,2	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	418.003,99	668.720,8	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	24.926,02	0	25.800,52
Región de Los Ríos	67.406,97	20.625,1	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	5.675,53	5.722,6	23.777,14
Región de Ñuble	19.405,33	0	54.744,6
Región del Biobío	1.267.403,43	253.539,9	164.261,48
Región de Antofagasta	1.647.808,74	1.330.781,8	74.124,2
Región de Tarapacá	84.169,89	168.625,6	36.443,96
Región de Atacama	647.751,43	231.658,	40.508,15
Región de Valparaíso	1.574.419,87	253.859,2	234.832,91
Región de Coquimbo	162.776,72	194.827,5	94.770,04
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	260.071,33	218.943,7	144.141,24
Región del Maule	388.190,43	116.518,2	157.608,18
Región de la Araucanía	77.167,46	26.864,3	92.458,36
Región de Los Lagos	88.075,56	61.490,4	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13.212,13	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	346.057,18	723.052,2	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	29.454,25	0	25.800,52
Región de Los Ríos	43.380,03	22.947,7	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	3.797,41	8.312,9	23.777,14
Región de Ñuble	39.315,17	0	54.744,6
Región del Biobío	1.092.189,86	231.562,5	164.261,48
Región de Antofagasta	1.654.391,24	1.269.771,2	74.124,2
Región de Tarapacá	69.117,97	131.886,7	36.443,96
Región de Atacama	565.544,25	260.390,5	40.508,15
Región de Valparaíso	1.377.003,82	231.417,4	234.832,91
Región de Coquimbo	124.346,88	177.236,4	94.770,04
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	167.924,25	226.748,6	144.141,24
Región del Maule	460.256,2	96.105,4	157.608,18

Región de la Araucanía	65.817,34	25.673,7	92.458,36
Región de Los Lagos	82.981,01	54.099,2	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13.616,93	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	427.625,29	667.313,8	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	29.756,91	0	25.800,52
Región de Los Ríos	50.944,19	20.497,9	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	3.444,7	7.535,	23.777,14
Región de Ñuble	38.403,65	0	54.744,6
Región del Biobío	1.194.553,24	252.423,3	164.261,48
Región de Antofagasta	1.751.501,66	1.340.615,2	74.124,2
Región del Maule	485.707,75	88.192,1	157.608,18
Región de Tarapacá	82.509,58	150.570,1	36.443,96
Región de Atacama	636.667,35	271.932,2	40.508,15
Región de Valparaíso	1.467.188,55	245.309,9	234.832,91
Región de Coquimbo	132.897,4	190.661,8	94.770,04
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	126.025,48	234.970,2	144.141,24
Región de la Araucanía	88.828,7	26.518,9	92.458,36
Región de Los Lagos	180.549,5	56.141,	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	14.359,93	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	326.028,48	685.591,7	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	31.039,85	0	25.800,52
Región de Los Ríos	63.025,49	23.160,4	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	3.868,09	7.739,1	23.777,14
Región de Ñuble	36.194,91	0	54.744,6
Región del Biobío	1.272.820,37	246.623,2	164.261,48
Región de Antofagasta	1.817.533,59	1.264.593,8	74.124,2
Región de Tarapacá	79.562,22	151.443,2	36.443,96
Región de Valparaíso	1.067.122,54	234.965,3	234.832,91
Región de Atacama	721.771,34	252.178,7	40.508,15
Región de Coquimbo	177.397,81	156.620,9	94.770,04
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	106.737,82	228.036,9	144.141,24
Región del Maule	499.729,99	85.258,6	157.608,18
Región de la Araucanía	81.970,73	25.195,9	92.458,36
Región de Los Lagos	195.709,24	53.183,2	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	14.739,95	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	295.673,47	674.748,4	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	31.639,11	0	25.800,52
Región de Los Ríos	83.296,16	21.290,6	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	3.979,95	7.705,1	23.777,14
Región de Ñuble	39.787,7	0	54.744,6

Región de Coquimbo	208.076,28	190.770,4	94.770,04
Región de Antofagasta	1.847.675,01	1.347.841,4	74.124,2
Región de Tarapacá	102.687,2	159.372,4	36.443,96
Región del Biobío	1.322.023,44	238.754,6	164.261,48
Región de Atacama	782.107,4	273.688,4	40.508,15
Región de Valparaíso	1.206.130,65	243.830,9	234.832,91
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	121.195,71	244.107,	144.141,24
Región del Maule	405.825,33	84.182,2	157.608,18
Región de la Araucanía	90.294,4	25.458,	92.458,36
Región de Los Lagos	195.545,23	57.329,4	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	15.216,63	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	288.458,97	709.134,6	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	31.947,56	0	25.800,52
Región de Los Ríos	96.436,34	21.388,7	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	4.368,77	8.735,4	23.777,14
Región de Ñuble	40.747,58	0	54.744,6
Región del Biobío	1.488.595,44	258.744,4	164.261,48
Región de Antofagasta	1.752.353,09	1.359.660,3	74.124,2
Región de Tarapacá	72.860,77	158.450,2	36.443,96
Región de Valparaíso	1.142.430,74	247.862,3	234.832,91
Región de Atacama	820.084,58	236.849,9	40.508,15
Región de Coquimbo	240.580,3	184.759,1	94.770,04
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	93.379,47	243.161,4	144.141,24
Región del Maule	434.571,22	86.113,7	157.608,18
Región de la Araucanía	94.948,16	25.895,8	92.458,36
Región de Los Lagos	184.553,54	58.324,1	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	14.799,9	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	124.345,33	705.264,3	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	30.873,49	0	25.800,52
Región de Los Ríos	95.153,98	22.058,8	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	4.509,94	8.604,7	23.777,14
Región de Ñuble	41.796,16	0	54.744,6
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	92.036,41	231.033,3	144.141,24
Región de Antofagasta	1.855.268,6	1.330.537,3	74.124,2
Región de Tarapacá	45.657,91	150.910,7	36.443,96
Región del Biobío	1.345.504,46	238.849,4	164.261,48
Región de Atacama	755.801,87	227.111,6	40.508,15
Región de Valparaíso	844.406,25	230.304,3	234.832,91
Región de Coquimbo	144.335,17	171.388,9	94.770,04
Región del Maule	394.713,83	75.582,7	157.608,18

Región de la Araucanía	90.583,48	22.889,7	92.458,36
Región de Los Lagos	163.809,9	56.102,1	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13.567,47	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	252.496,77	643.707,	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	28.194,93	0	25.800,52
Región de Los Ríos	74.817,11	21.084,2	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	5.009,89	7.493,8	23.777,14
Región de Ñuble	38.775,98	0	54.744,6
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	113.973,57	242.675,5	144.141,24
Región de Antofagasta	1.642.182,25	1.351.847,4	74.124,2
Región de Tarapacá	62.029,83	146.254,4	36.443,96
Región del Biobío	1.476.165,69	288.459,8	164.261,48
Región de Atacama	739.381,52	227.518,9	40.508,15
Región de Valparaíso	873.691,45	226.857,9	234.832,91
Región de Coquimbo	245.351,36	136.819,4	94.770,04
Región del Maule	439.419,21	84.162,4	157.608,18
Región de la Araucanía	108.454,21	26.469,4	92.458,36
Región de Los Lagos	154.415,65	70.603,9	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	14.015,63	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	304.677,37	663.853,	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	29.146,94	,	25.800,52
Región de Los Ríos	64.821,93	26.311,6	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	5.447,22	7.619,5	23.777,14
Región de Ñuble	30.772,64	0	54.744,6
Región del Biobío	1.232.785,14	297.611,8	164.261,48
Región de Antofagasta	1.902.148,52	1.368.034,4	74.124,2
Región de Tarapacá	80.662,71	154.366,	36.443,96
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	233.304,34	238.857,8	144.141,24
Región de Atacama	704.850,98	242.639,	40.508,15
Región de Valparaíso	764.976,69	247.165,7	234.832,91
Región de Coquimbo	233.513,04	142.018,9	94.770,04
Región del Maule	478.139,83	90.557,4	157.608,18
Región de la Araucanía	112.726,18	26.230,1	92.458,36
Región de Los Lagos	140.927,58	72.886,2	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13.023,72	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	320.520,79	669.671,8	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	27.401,6	,	25.800,52
Región de Los Ríos	68.950,89	27.759,7	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	5.676,84	10.583,6	23.777,14
Región de Ñuble	32.887,94	0	54.744,6

Región del Biobío	1.289.985,59	269.022,7	164.261,48
Región de Antofagasta	1.938.268,23	1.428.335,7	74.124,2
Región de Tarapacá	89.212,46	166.102,3	36.443,96
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	287.511,78	256.555,3	144.141,24
Región de Atacama	770.078,91	272.658,	40.508,15
Región de Valparaíso	965.038,44	265.374,3	234.832,91
Región de Coquimbo	223.155,23	188.058,8	94.770,04
Región del Maule	464.362,03	102.917,1	157.608,18
Región de la Araucanía	152.881,21	27.940,8	92.458,36
Región de Los Lagos	116.534,79	76.870,4	101.474,11
Región Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13.362,48	0	11.142,03
Región Metropolitana de Santiago	381.788,63	709.054,8	988.222,67
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	27.758,41	0	25.800,52
Región de Los Ríos	66.153,16	27.260,1	44.372,91
Región de Arica y Parinacota	5.786,78	10.234,2	23.777,14
Región de Ñuble	34.345,89	0	54.744,6
Total Nacional anual	77.639.004,29	42.220.721,9	27.464.190,
	Sobre generación		7.954.092,39
	Porcentaje de sobre generación sobre total generado		10,24%

Anexo R) *Resultados de los consumos de electricidad*: Datos originales y proporciones de consumo por sector.

Tabla 54: Consumo energético eléctrico no residencial (kWh) en las comunas del Gran Santiago [66].

Consumo eléctrico No Residencial [kWh]					
Comuna	2015	2016	2017	2018	2019
Cerrillos	182756614	180985177	155991720	123336948	85336222
Cerro Navia	9607303	11712450	12900727	11252980	10713226
Colina	85537470	84065655	78768828	55094049	47037199
El Bosque	34028358	36945486	32197145	28493791	26888208
ESTACION CENTRAL	171928147	183771688	159952968	128898013	99276256
Huechuraba	218888021	210193119	169284474	149144291	122110870
Independencia	106534025	108308676	106205734	100547299	88327913
La Cisterna	47002722	46614095	47176442	42988311	37142053
La Florida	147377173	150176466	141472278	124330279	108231683
La Granja	34803196	34046601	33449209	32719377	30258262
La Pintana	60343132	62676138	62941163	53766824	49088137
La Reina	114516377	115678281	99682340	75974046	66431882
Las Condes	807768009	797101467	759904123	624851335	446322148
Lo Barnechea	138612162	144087640	145191306	128377439	103771036
Lo Espejo	27103266	29331228	25947392	24385701	25757653
Lo Prado	15405766	15464079	16113691	18961722	15680894
Macul	174649346	165398523	157518673	130837316	86061479
MAIPU	444791163	450355196	436178667	367056653	241889444
Ñuñoa	199440479	206090331	199870152	180374433	171149691
Pedro Aguirre Cerda	24358806	25178292	26800620	25649285	20201497
PEÑALOLEN	106718530	105493315	102124068	91483704	60038544
Providencia	458902942	457164864	415023020	364636726	324876073
Pudahuel	297427918	319186907	312086487	293208580	242819914
Puente Alto	229058927	226468688	184030767	129163699	106220798
Quilicura	496948832	524653171	459436859	352197646	243235143
Quinta Normal	92683778	91049384	88722902	72632670	64894340
Recoleta	101465588	106874081	110782729	94955925	81382921
Renca	179768252	182289112	187998648	153102424	82267764
San Bernardo	446011265	476219988	411414177	278155146	199452848
SAN JOAQUIN	106422072	106498311	100775981	75596430	60504892
San Miguel	114596087	116065733	109275419	95699554	89261413
SAN RAMON	16056000	16536299	16291613	14394741	13768401
Santiago	991572515	989545241	943842916	867179127	755813956
Vitacura	201701374	209640150	212380597	194771706	171228536

Total	6884785615	6985865832	6521733835	5504218170	4377441296
-------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabla 55: Consumo energético eléctrico residencial (kWh) en las comunas del Gran Santiago [66].

Consumo Residencial [kWh]					
Comuna	2015	2016	2017	2018	2019
Cerrillos	60264133	60285016	61211134	61415878	61706061
Cerro Navia	85835101	84756316	86724359	88104713	90234832
Conchalí	92622255	91960115	93821657	93991659	95735186
El Bosque	103931710	104985469	106492511	106786462	107996527
ESTACION CENTRAL	105716673	109771187	115593737	125640390	135946642
Huechuraba	85233237	87125194	89928802	89921068	91746239
Independencia	73608487	79050910	86299905	90935485	95971217
La Cisterna	78823176	79249654	80565297	81254766	82158131
La Florida	298007395	300788314	310165173	312261098	319333334
La Granja	82488486	81378094	82238756	82168880	82896000
La Pintana	106772343	106238281	106339352	106745041	107801663
La Reina	109158115	110701316	113351287	111256223	111886714
Las Condes	411651535	413458578	425812821	412557199	407041611
Lo Barnechea	146514612	148643462	150528846	153277886	154506470
Lo Espejo	63844739	63146586	63996816	64662417	65093940
Lo Prado	63144869	62643750	63677316	64008291	64491686
Macul	93247359	93506332	98774950	103034930	103609699
MAIPU	376139792	375590785	383064560	383015905	385047097
Ñuñoa	222329226	225609358	239771732	237899737	243250612
Pedro Aguirre Cerda	73788644	73626663	74736764	75322241	75142672
PEÑALOEN	194699654	195328155	198413504	195112042	201708706
Providencia	235520437	233741941	243933536	237635148	238482574
Pudahuel	158807313	158313091	165763275	166944358	171450648
Puente Alto	381655829	389312558	401624992	397144022	407317701
Quilicura	139776846	142310130	148574316	149968750	151061648
Quinta Normal	90897402	92310847	95133996	100151971	104063003
Recoleta	132982637	132744214	135326966	135642984	133791578
Renca	93671810	92936866	95874943	96977139	99366420
San Bernardo	187174480	191711601	198363463	201525490	205174586
SAN JOAQUIN	70379549	70805887	72469268	72979846	74997254
San Miguel	96828695	100908238	109070814	113518262	124849087
SAN RAMON	58635035	58185037	58180650	57696639	57526288
Santiago	454457335	470396575	504761131	510425948	523641010
Vitacura	139348668	141668054	144828228	139423575	140948380

Total	5.167.957.577	5.223.188.574	5.405.414.857	5.419.406.443	5.515.975.216
-------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Adicionalmente, se presenta una proporción de consumo de energía eléctrica por sector. Las proporciones son de elaboración propia con utilizando el balance energético regional, rescatando solo los valores de energía eléctrica para la Región Metropolitana y asumiendo que estas proporciones se mantienen en el Gran Santiago:

Tabla 56: Proporción de uso de energía eléctrica según sector comercial, público y residencial, industrial y transporte.

PORCENTAJE DE USO ELECTRICIDAD PARA EL GRAN SANTIAGO POR SECTOR					
	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial	30%	27%	26%	26%	27%
Residencial	28%	29%	30%	29%	28%
Público	6%	6%	5%	4%	4%
Industrial	33%	36%	36%	37%	37%
Transporte	3%	2%	3%	3%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Resultados de los consumos de gas: Ejemplos de cálculo de proporcionalidad y extrapolaciones de uso para los distintos sectores en el consumo de gas.

Tabla 57: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2008 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2008	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2008	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2008	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2008	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2008	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2008	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2008	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	5.233,84
2008	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2008	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2008	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	10.222,24
2008	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	254,73
2008	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2008	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	12,66

2008	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	825,47
2008	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	3.410,49
2008	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	1.316,25
2008	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2008	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	342,96
2008	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	664,73
2008	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.475,48
2008	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	748,91
2008	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2008	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	175,06
2008	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	3,07
2008	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	143,62
2008	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	35,92
2008	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2008	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2008	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2008	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,

Tabla 58: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2009 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2009	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2009	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2009	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2009	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2009	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2009	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2009	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	5.562,31
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	10.807,23
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	234,16
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2009	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2009	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	1.329,69
2009	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	268,45

2009	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	3.410,49
2009	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	11,11
2009	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2009	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	714,15
2009	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	1,76
2009	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.305,17
2009	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	1.517,88
2009	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	3,33
2009	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2009	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	165,6
2009	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2009	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	709,25
2009	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2009	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2009	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2009	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2009	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	68,85
2009	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	223,3
2009	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,

Tabla 59: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2010 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2010	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2010	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2010	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2010	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2010	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2010	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2010	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	5.687,13
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	10.829,38
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2010	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	151,03
2010	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,64
2010	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	237,14

2010	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2010	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	3.355,78
2010	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2010	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	852,93
2010	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	520,84
2010	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2010	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.465,54
2010	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	2,23
2010	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	524,12
2010	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	73,15
2010	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2010	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	12.145,64
2010	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	197,1
2010	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2010	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	75,04
2010	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2010	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2010	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2010	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 60: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2011 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2011	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2011	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2011	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2011	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2011	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2011	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2011	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,02
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	179,06
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	5.636,98
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2011	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	11.084,47
2011	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	4.925,81
2011	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,

2011	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	671,37
2011	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,79
2011	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	315,47
2011	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	888,52
2011	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	2,09
2011	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	4.195,54
2011	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2011	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	2.635,96
2011	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2011	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	694,98
2011	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	318,43
2011	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,05
2011	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2011	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2011	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,01
2011	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	188,29
2011	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2011	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	158,68
2011	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,

Tabla 61: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2012 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2012	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2012	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2012	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2012	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2012	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2012	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2012	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	5.706,32
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	11.476,2
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2012	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	200,24
2012	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	2.582,29
2012	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2012	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	144,42

2012	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,58
2012	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	360,69
2012	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	826,51
2012	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	1,59
2012	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	6.940,83
2012	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2012	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.360,99
2012	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2012	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	653,5
2012	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	288,86
2012	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2012	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	325,35
2012	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2012	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	365,58
2012	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2012	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2012	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2012	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 62: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2013 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2013	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2013	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2013	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2013	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2013	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2013	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2013	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	5.901,05
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	10.405,21
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2013	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	178,92
2013	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	6.759,24
2013	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2013	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	450,89

2013	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,28
2013	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	277,3
2013	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	608,34
2013	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	8,37
2013	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	718,03
2013	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	131,81
2013	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2013	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.441,97
2013	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2013	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.097,84
2013	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2013	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	312,43
2013	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2013	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	411,66
2013	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2013	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2013	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2013	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 63: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2014 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS			
Año	Categoría	Seccion	Tcal
2014	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	,
2014	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	,
2014	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	,
2014	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	,
2014	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	,
2014	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	,
2014	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	,
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	6.537,05
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	18.324,26
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	10.275,4
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	,
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	,
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	,
2014	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	100,5
2014	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	4.849,78
2014	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	,
2014	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	167,11

2014	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	1,55
2014	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	265,39
2014	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	531,06
2014	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	1,17
2014	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	5.774,4
2014	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	21.851,09
2014	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	5.154,3
2014	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	,
2014	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	557,63
2014	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	94,39
2014	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	5,59
2014	Sector Transporte	Energéticos Primarios	372,29
2014	Sector Transporte	Energéticos Primarios	,
2014	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	375,21
2014	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	,
2014	Sector Transporte	Derivados De Carbón	,
2014	Sector Transporte	Derivados De Carbón	,
2014	Sector Transporte	Gas Corriente	,

Tabla 64: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2014 [66].

Año	Tipo de gas	Sector	Actividad	Consumo [tcal]
2014	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Comercial	519,37
2014	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Comercial	3.418,13
2014	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	662,37
2014	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Público	53,68
2014	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Público	2.464,23
2014	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	118,98
2014	Gas Corriente	Comercial, público y residencial	Residencial	27,46
2014	Gas Corriente	Energía	Autoproductores	,09
2014	Gas Natural	Industria y Minería	Azúcar	754,86
2014	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Azúcar	10,35
2014	Gas Corriente	Industria y Minería	Cobre	4,89
2014	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cobre	2.042,55
2014	Gas Natural	Industria y Minería	Gas Corriente	,01
2014	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Gas Corriente	3,93
2014	Gas Natural	Industria y Minería	Gas Corriente	18,49
2014	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Gas Corriente	1,14
2014	Biogás	Industria y Minería	Industrias Varias	18,35
2014	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	30,15

2014	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	1,24
2014	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	363,68
2014	Gas Natural	Industria y Minería	Minas Varias	2.769,53
2014	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	P.P Servicio Publico	4,11
2014	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	P.P Servicio Publico	,12
2014	Gas Natural	Transformación	P.P Servicio Publico	365,83
2014	Biogás	Transformación	Papel y celulosa	20,47
2014	Biogás	Transformación	Papel y celulosa	519,86
2014	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	Siderurgia	,01
2014	Gas Natural	Transformación	Siderurgia	10,54
2014	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Aéreo	202,14
2014	Gas Natural	Transporte	Terrestre	158,9
2014	Gas Natural	Transporte	Terrestre	,01

Tabla 65: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2015 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2015	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2015	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2015	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2015	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2015	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2015	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2015	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	6.544,
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	163,89
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	10.320,97
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2015	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	78,09
2015	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	2.854,
2015	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2015	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	153,48

2015	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,48
2015	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	234,89
2015	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	552,47
2015	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,26
2015	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2015	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.166,27
2015	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2015	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	581,15
2015	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	151,
2015	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	1,15
2015	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.923,39
2015	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	296,7
2015	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2015	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	370,87
2015	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2015	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2015	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2015	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 66: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2015 [66].

Año	Tipo de gas	Sector	Actividad	Consumo [tcal]
2015	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Comercial	433,26
2015	Gas Corriente	Comercial, público y residencial	Comercial	,
2015	Biogás	Comercial, público y residencial	Comercial	160,1
2015	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	2.512,73
2015	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Público	112,4
2015	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Público	660,32
2015	Gas Corriente	Comercial, público y residencial	Público	,05
2015	Gas Corriente	Comercial, público y residencial	Residencial	,37
2015	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	4.289,93
2015	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Residencial	26,35
2015	Gas Licuado de Petróleo	Energía	Azúcar	,01
2015	Gas Corriente	Energía	Azúcar	,03
2015	Gas Licuado de Petróleo	Energía	Azúcar	,01
2015	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Carbon y leña	26,72
2015	Gas Licuado de	Industria y Minería	Cemento	1,46

	Petróleo			
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	775,3
2015	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cobre	3,98
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	3.017,14
2015	Gas Corriente	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	,
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	8,52
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	952,78
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	20,73
2015	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	927,7
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	19,19
2015	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Minas Varias	,96
2015	Gas Natural	Industria y Minería	Minas Varias	345,62
2015	Gas Corriente	Industria y Minería	Papel y celulosa	,62
2015	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Papel y celulosa	12,02
2015	Gas Natural	Transformación	Plantas de gas	11,2
2015	Biogás	Transformación	Plantas de gas	640,58
2015	Gas Natural	Transformación	Plantas de gas	6.172,49
2015	Biogás	Transformación	Plantas de gas	11,2
2015	Gas Natural	Transformación	Siderurgia	144,11
2015	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	Siderurgia	,02
2015	Gas Natural	Transporte	Terrestre	128,92
2015	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Terrestre	188,61

Tabla 67: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2016 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2016	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2016	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2016	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2016	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2016	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2016	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2016	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2016	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	6.724,89
2016	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	48,99
2016	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	11.678,52

2016	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2016	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2016	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	44,55
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	2.786,78
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	129,8
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	220,51
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	504,24
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,49
2016	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2016	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.734,16
2016	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2016	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	2.694,5
2016	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2016	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	635,62
2016	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	129,37
2016	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	3,73
2016	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	272,02
2016	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2016	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	342,76
2016	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2016	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2016	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2016	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 68: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2016 [66].

Año	Tipo de gas	Sector	Actividad	Consumo [tcal]
2016	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	92,36
2016	Biogás	Comercial, público y residencial	Comercial	48,99
2016	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	2.754,06
2016	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Público	535,92
2016	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Público	541,42
2016	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	4.633,98
2016	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	112,07
2016	Gas Corriente	Industria y Minería	Azúcar	1,37
2016	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Azúcar	9,68
2016	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cemento	10,94
2016	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cemento	19,84
2016	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	1.640,74

2016	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cobre	1.069,29
2016	Gas Corriente	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	,
2016	Gas Corriente	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	,
2016	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	1,38
2016	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	321,5
2016	Gas Corriente	Industria y Minería	Industrias Varias	,
2016	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	28,03
2016	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	14,89
2016	Gas Natural	Industria y Minería	Minas Varias	2.729,73
2016	Gas Natural	Industria y Minería	Minas Varias	7,49
2016	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Papel y celulosa	6,66
2016	Gas Natural	Transformación	Papel y celulosa	772,3
2016	Gas Natural	Transformación	Petroquímica	2.416,94
2016	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	Siderurgia	,01
2016	Biogás	Transformación	Siderurgia	631,38
2016	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Aéreo	,38
2016	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Terrestre	169,49
2016	Gas Natural	Transporte	Terrestre	132,39

Tabla 69: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2017 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Sección	Combustible	Tcal
2017	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2017	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2017	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2017	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2017	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2017	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2017	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2017	Construcción	Energéticos Primarios	Gas Natural	457,09
2017	Construcción	Energéticos Primarios	Biogás	,
2017	Construcción	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	19,67
2017	Construcción	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2017	Construcción	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2017	Construcción	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2017	Construcción	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.173,44
2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	92,83
2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	12.315,6
2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,

2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2017	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	14,14
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	2.495,23
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	78,4
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	509,04
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,55
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	180,33
2017	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2017	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	8.347,22
2017	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	,
2017	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.334,95
2017	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2017	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	609,91
2017	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	106,93
2017	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,12
2017	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	183,36
2017	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2017	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	283,64
2017	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2017	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2017	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2017	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 70: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2017 [66].

Año	Tipo de gas	Sector	Actividad	Consumo [tcal]
2017	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	112,71
2017	Biogás	Comercial, público y residencial	Comercial	34,62
2017	Biogás	Comercial, público y residencial	Comercial	8,
2017	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	659,31
2017	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Público	84,6
2017	Gas Corriente	Comercial, público y residencial	Público	,09
2017	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	1,2
2017	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Residencial	2.975,92
2017	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	640,07
2017	Biogás	Comercial, público y residencial	Sanitarias	48,36
2017	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Sanitarias	4.749,31

2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Agroindustria	,49
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Agroindustria	9,89
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Agroindustria	329,02
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Azúcar	219,24
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Azúcar	1.706,77
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Azúcar	2.209,16
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Cemento	8,45
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Cemento	18,64
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	27,36
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	11,29
2017	Gas Corriente	Industria y Minería	Construcción	,1
2017	Gas Corriente	Industria y Minería	Construcción	,02
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	5,35
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	10,38
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	16,15
2017	Gas Corriente	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	,
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	9,54
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	1.885,33
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	1,41
2017	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	3,37
2017	Gas Natural	Industria y Minería	Minas Varias	426,99
2017	Gas Natural	Transformación	Minas Varias	3.175,27
2017	Gas Natural	Transformación	Papel y celulosa	1.086,72
2017	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	Papel y celulosa	26,48
2017	Biogás	Transformación	Siderurgia	546,31
2017	Biogás	Transformación	Siderurgia	129,87
2017	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Aéreo	,39
2017	Gas Natural	Transporte	Terrestre	43,11
2017	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Terrestre	135,11

Tabla 71: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2018 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2018	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2018	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2018	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2018	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2018	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,

2018	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2018	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2018	Construcción	Energéticos Primarios	Gas Natural	452,03
2018	Construcción	Energéticos Primarios	Biogás	,
2018	Construcción	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	25,9
2018	Construcción	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2018	Construcción	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2018	Construcción	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2018	Construcción	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.119,81
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	78,98
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	12.791,89
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2018	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	12,74
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	3.473,92
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	110,62
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,58
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	205,63
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	499,43
2018	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2018	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	8.711,77
2018	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	7,34
2018	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.291,6
2018	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2018	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	647,67
2018	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	71,2
2018	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,8
2018	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	150,7
2018	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2018	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	235,69
2018	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2018	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2018	Sector Transporte	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2018	Sector Transporte	Gas Corriente	Gas Corriente	,

Tabla 72: Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2018 [66].

Año	Tipo de gas	Sector	Actividad	Consumo [tcal]
2018	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	2.961,29
2018	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Comercial	655,07
2018	Biogás	Comercial, público y residencial	Comercial	48,01
2018	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Público	1,05
2018	Biogás	Comercial, público y residencial	Público	27,34
2018	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	37,32
2018	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	4.733,61
2018	Biogás	Comercial, público y residencial	Residencial	2,06
2018	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Sanitarias	714,55
2018	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Sanitarias	104,98
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Agroindustria	9,08
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Agroindustria	2.212,03
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Agroindustria	,31
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Cemento	75,58
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Cemento	348,48
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cobre	236,09
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Cobre	8,63
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	15,02
2018	Gas Corriente	Industria y Minería	Construcción	,
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Construcción	7,52
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	1.751,13
2018	Biogás	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	1,95
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	,52
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	1.034,62
2018	Gas Corriente	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	,35

2018	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	20,51
2018	Gas Corriente	Industria y Minería	Industrias Varias	,01
2018	Gas Natural	Industria y Minería	Industrias Varias	417,53
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	13,94
2018	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Minas Varias	2,48
2018	Gas Natural	Transformación	Minas Varias	1.491,6
2018	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	Papel y celulosa	7,2
2018	Biogás	Transformación	Papel y celulosa	135,73
2018	Biogás	Transformación	Siderurgia	678,45
2018	Gas Natural	Transformación	Siderurgia	921,13
2018	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Terrestre	82,38
2018	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Aéreo	,68
2018	Gas Natural	Transporte	Terrestre	35,43

Tabla 73: Consumo final nacional de combustibles gaseosos en Tcal para el año 2019 [66].

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE GAS				
Año	Categoría	Seccion	Combustible	Tcal
2019	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Gas Natural	,
2019	Cons. No Energético - Industrial	Energéticos Primarios	Biogás	,
2019	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	,
2019	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2019	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2019	Cons. No Energético - Industrial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2019	Cons. No Energético - Industrial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2019	Construcción	Energéticos Primarios	Gas Natural	465,69
2019	Construcción	Energéticos Primarios	Biogás	,
2019	Construcción	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	26,86
2019	Construcción	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2019	Construcción	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2019	Construcción	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2019	Construcción	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Gas Natural	7.286,17
2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Energéticos Primarios	Biogás	107,84

2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	12.972,86
2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas Coque	,
2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	,
2019	Sector Comercial, Público y Residencial	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	95,33
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	1,77
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas Coque	234,74
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	491,19
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Gas Natural	3.569,83
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Energéticos Primarios	Biogás	,
2019	Sector Energético: Auto Consumo	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2019	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Gas Natural	8.931,69
2019	Sector Industrial y Minero	Energéticos Primarios	Biogás	13,62
2019	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	3.077,11
2019	Sector Industrial y Minero	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,
2019	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas Coque	613,19
2019	Sector Industrial y Minero	Derivados De Carbón	Gas de Altos Hornos	71,21
2019	Sector Industrial y Minero	Gas Corriente	Gas Corriente	,
2019	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Gas Natural	154,58
2019	Sector Transporte	Energéticos Primarios	Biogás	,
2019	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas Licuado	136,2
2019	Sector Transporte	Derivados De Petróleo	Gas de Refinería	,

Tabla 74: : Consumo final de combustibles gaseosos en [Tcal] para la Región Metropolitana, año 2019 [66].

Año	Tipo de gas	Sector	Actividad	Consumo [tcal]
2019	Biogás	Comercial, público y residencial	Comercial	78,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Comercial	1,
2019	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Comercial	
2019	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Público	106,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Público	38,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Residencial	4.666,
2019	Biogás	Comercial, público y residencial	Residencial	5,
2019	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Residencial	3.044,
2019	Biogás	Comercial, público y residencial	Sanitarias	24,
2019	Gas Natural	Comercial, público y residencial	Sanitarias	670,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Comercial, público y residencial	Sanitarias	866,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Agroindustria	1.159,
2019	Biogás	Industria y Minería	Agroindustria	4,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Cemento	1.898,

2019	Gas Natural	Industria y Minería	Cemento	173,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	21,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Cobre	15,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Construcción	432,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Construcción	297,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	1.105,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Autoproducción	,
2019	Gas Natural	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	73,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	269,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Electricidad Servicio Público	10,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	1,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	19,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Industrias Varias	1,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Minas Varias	11,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Industria y Minería	Minas Varias	7,
2019	Biogás	Transformación	Papel y celulosa	145,
2019	Gas Natural	Transformación	Papel y celulosa	432,
2019	Biogás	Transformación	Petroquímica	515,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Transformación	Siderurgia	,
2019	Gas Natural	Transformación	Siderurgia	3.359,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Terrestre	30,
2019	Gas Natural	Transporte	Terrestre	1,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Aéreo	,
2019	Gas Licuado de Petróleo	Transporte	Ferroviario	,
2019	Gas Natural	Transporte	Ducto	,

Debido a que solo se posee información regional para el periodo 2014-2019 y además información a nivel nacional para el periodo 2008-2019, se buscó extraer la información del nivel nacional a nivel regional a través de cálculo de proporciones del consumo regional sobre consumo nacional.

Se cálculo para el periodo 2014-2019 cuánto del total regional de cada sector aportaba al total nacional, obteniéndose los siguientes resultados y gráficos:

Tabla 75: Cálculo de proporciones de consumo de combustibles gaseosos regional sobre nacional.

Proporción del consumo de la Región Metropolitana sobre el total nacional						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sector CPR	20,6%	47,9%	47,1%	23,0%	42,3%	39,0%
Sector Industrial	17,7%	76,6%	50,6%	83,3%	48,3%	65,2%
Sector Transporte	48,3%	47,6%	49,2%	38,2%	30,7%	10,7%

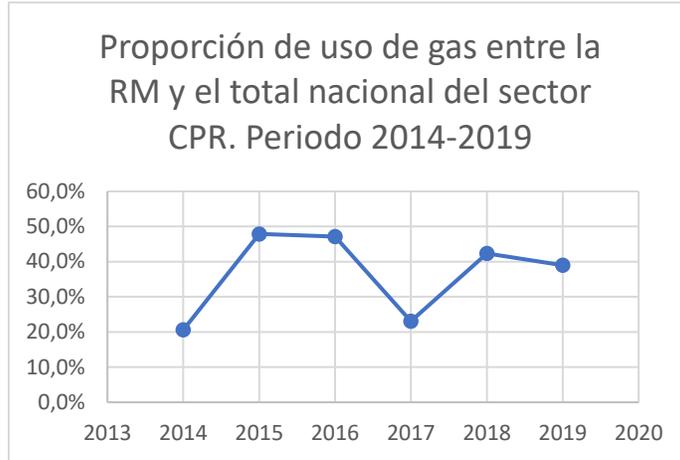


Figura 0-11: Tendencia en la proporción de consumo de combustibles gaseosos entre el consumo regional y el total nacional para el sector comercial, público y residencial.

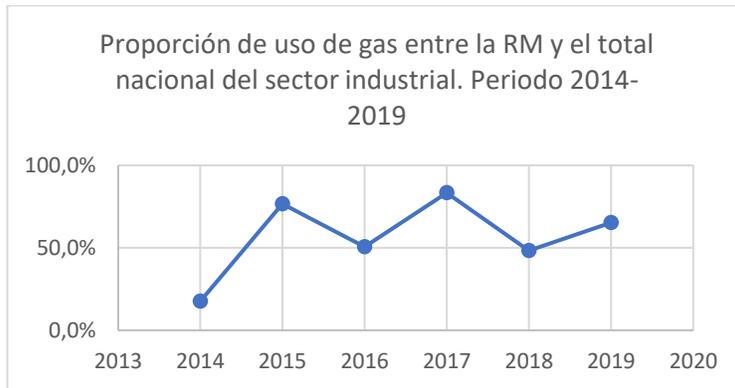


Figura 0-12: Tendencia en la proporción de consumo de combustibles gaseosos entre el consumo regional y el total nacional para el sector industrial.

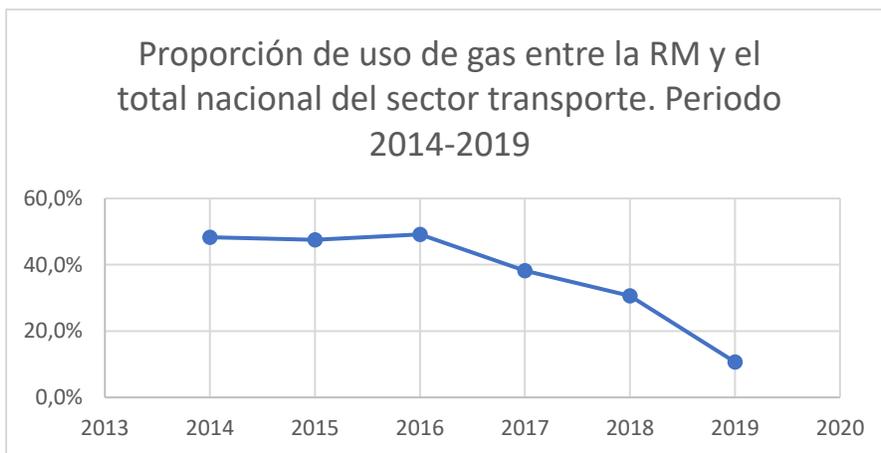


Figura 0-13: Tendencia en la proporción de consumo de combustibles gaseosos entre el consumo regional y el total nacional para el sector transporte.

nacional para el sector transporte.

Observando la tendencia de los datos es que para cada sector se decidió utilizar un valor diferente. Se calculó la tendencia de consumo a través de una extrapolación lineal hacia los periodos anteriores al 2014 para el sector transporte y se utilizó para estimar el consumo regional conociendo el total nacional. Para los sectores industrial y comercial, público y residencial, el comportamiento de los datos no era claro y se decidió utilizar el promedio de los valores hacia los periodos anteriores y este multiplicarlo por el total nacional. De esta manera es que se obtuvieron los valores de consumo de combustibles gaseosos por sector para los periodos donde solo se tenía información a nivel nacional.

Posteriormente, los consumos regionales fueron multiplicados por una proporción de población para obtener un valor más cercano al consumo urbano y no el consumo total de la región (población en el Gran Santiago / población en la Región Metropolitana).

Anexo S) *Resultados de los consumos de combustibles líquidos*: Ejemplos de cálculo de proporcionalidad y extrapolaciones de uso para los distintos sectores en el consumo de combustibles líquidos.

Tabla 76: Consumo regional (RM) de combustibles líquidos por sector. Periodo 2014-2019 [66].

Sectores	Años						Total general
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Comercial, público y residencial	1383,52	1655,79	2174,42	2815,98	2432,19	2085	12546,9
Comercial	527,67	519,62	1608,21	2013,45	1840,41	1494	8003,36
Público	427,01	364,68	14,44	28,76	68,5	83	986,39
Residencial	428,84	771,49	551,77	762,94	512,62	492	3519,66
Sanitarias				10,83	10,66	16	37,49
Industria y Minería	5614,29	5922,12	2803,19	2933,91	2496,08	2761	22530,59
Agroindustria				67,19	67,22	79	213,41
Cemento	25,42	20,8	0,47	0,6	10,39	19	76,68
Cobre	3096,19	3491,38	838,35	993,82	854,5	1000	10274,24
Construcción				388,05	407,4	391	1186,45
Industrias Varias	1067,18	1707,83	1789,2	1290,34	974,14	1079	7907,69
Minas Varias	1358,99	695,77	137,09	165,89	155,17	142	2654,91
Papel y celulosa	65,82	5,61	2,74	3,35	5,23	30	112,75
Petroquímica					0,52		0,52
Siderurgia	0,69	0,73	35,34	24,67	21,51	21	103,94
Transformación	1897,62	798,97	306,46	524,85	349,96	119	3996,86

Autoprodutores	73,49						73,49
Electricidad Autoproducción		28,67	45,83	26,65	18,95	50	170,1
Electricidad Servicio Público		770,3	260,63	498,2	331,01	69	1929,14
P.P Servicio Publico	1824,13						1824,13
Transporte	31816,73	33791,36	37231,5	40499,32	38432,6	40139	221910,51
Aéreo	7042,14	8259,19	9074,99	9444,16	10132,48	12034	55986,96
Ducto				0	0		0
Ferroviario	30,67	105,45	27,69	27,62	34,17	36	261,6
Terrestre	24743,92	25426,72	28128,82	31027,54	28265,95	28069	165661,95
Uso no energético			0,62				0,62
Uso No Energético			0,62				0,62
Total general	40712,16	42168,24	42516,19	46774,06	43710,83	45104	260985,48

Tabla 77: Consumo nacional de combustibles líquidos por sector. Periodo 2008-2019 [66].

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sector Comercial, Público y Residencial	3.021,8	2.837,1	4.681,2	6.632,2	4.415,1	4.471,7	3.327,6	4.488,5	5.537,1	6.612,5	6.624,7	5.959,1
Sector Energético: Auto Consumo	951,7	878,7	458,7	66,0	1.284,5	1.628,8	406,6	35,1	88,1	24,1	19,5	40,7
Sector Industrial y Minero	32.331,7	29.929,4	28.971,7	35.471,3	31.084,2	33.440,6	38.184,5	38.322,9	36.783,6	37.223,6	37.329,0	36.903,4
Sector Transporte	89.398,6	85.511,3	83.949,1	86.428,9	86.608,5	92.746,5	88.382,6	94.057,2	99.473,3	102.817,1	106.710,7	108.838,9
Total general	125.703,8	119.156,5	118.060,7	128.598,3	123.392,2	132.287,6	130.301,3	136.903,6	141.892,9	146.677,2	150.683,9	151.742,0

Para estimar los valores de consumo de combustibles líquidos en el Gran Santiago, se extrapolaron los consumos de la Región Metropolitana según los porcentajes de consumo de cada sector en los años 2014-2019 y se ponderaron por los totales Nacionales. Luego, estos resultados fueron ponderados por el porcentaje de población del Gran Santiago sobre el total de la Región Metropolitana. De esta forma, se obtienen valores de consumo para el Gran Santiago desde el total nacional.

A continuación se presentan las distintas tendencias de consumo de cada sector comparando el total regional versus el total nacional.

Tabla 78: Porcentaje de consumo de combustibles líquidos de la Región Metropolitana sobre el total nacional.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Comercial, público y residencial	41,6%	36,9%	39,3%	42,6%	36,7%	35,0%
Industria	14,7%	15,5%	7,6%	7,9%	6,7%	7,5%
Transporte	36,0%	35,9%	37,4%	39,4%	36,0%	36,9%
Uso no energético	0,0%	0,0%	5,8%	0,0%	0,0%	0,0%

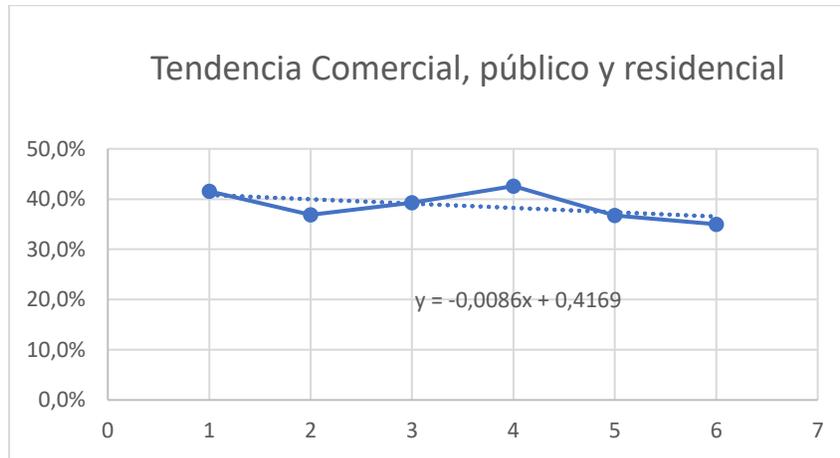


Figura 0-14: Tendencia en el consumo regional sobre el consumo nacional del sector comercial, público y residencial.

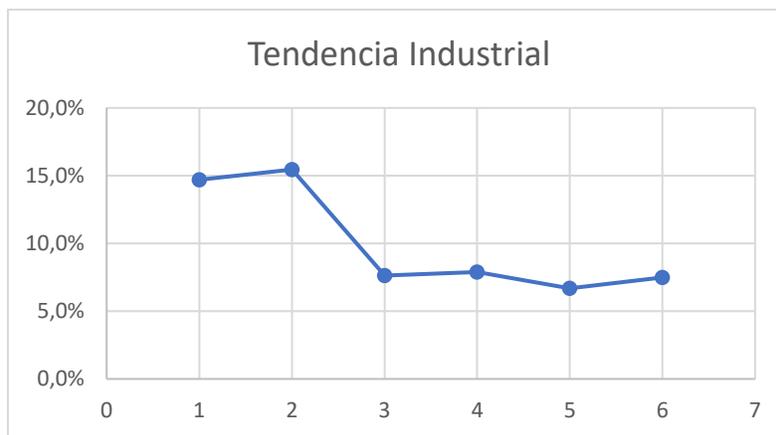


Figura 0-15: Tendencia en el consumo regional sobre el consumo nacional del sector industrial.

Para el sector industrial no se utiliza una extrapolación lineal debido a que el salto en el consumo es poco suave y por lo tanto se cree que puede haber un error en la información. Debido a esto es que se decide extrapolar utilizando el promedio de los porcentajes.

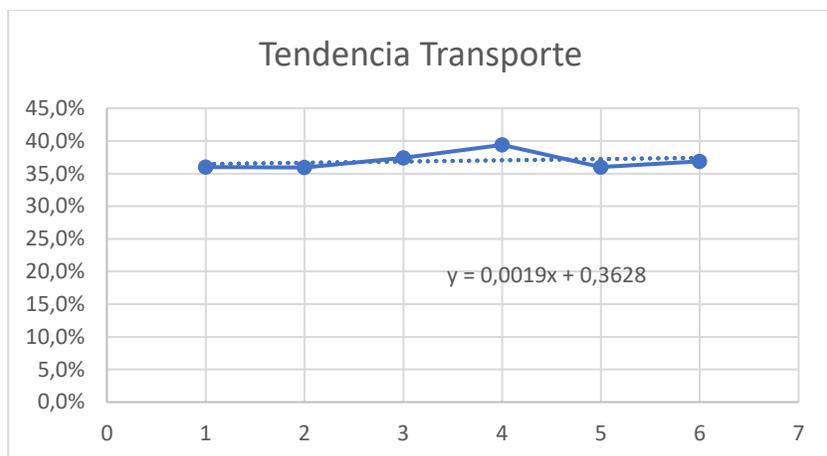


Figura 0-16: Tendencia en el consumo regional sobre el consumo nacional del sector transporte

Anexo T) Resultados del consumo aparente de alimentos en la Región Metropolitana.

Tabla 79: Consumo total de alimentos en el Gran Santiago, por alimentos. Periodo 2004-2019.

Productos	Unidades	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Carne bovina	kt	130,8	135,7	120,6	131,6	124,2	128,1	135,4	125,5	130,7	143,3	134,2	134,9	135,8	137,8	140,7	144,0
Carne ovina	kt	1,6	1,1	1,7	1,7	2,3	1,7	1,1	1,7	1,8	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
Carne porcina	kt	100,2	106,4	125,0	131,6	141,2	136,6	140,0	148,1	157,5	156,2	168,4	175,0	182,0	190,5	200,6	211,6
Carne aviar	kt	167,5	167,1	188,4	185,9	188,0	181,6	191,0	212,3	215,9	220,2	223,7	229,9	236,6	245,1	255,6	267,1
Otras carnes	kt	3,3	2,8	3,3	2,8	2,8	2,3	2,3	2,9	2,9	2,3	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0
Productos lácteos (*)	kt	654,1	682,1	719,5	706,1	747,0	718,3	759,6	804,2	853,1	860,9	872,5	896,0	921,6	954,4	994,8	1.039,1
Quesos y quesillos	kt	30,7	33,1	35,0	32,5	32,2	34,7	38,4	42,8	49,0	53,4	50,9	53,3	55,9	59,0	62,6	66,4
Yogur	kt	54,7	65,1	59,5	61,0	67,2	70,0	71,7	79,8	81,7	82,2	86,3	89,6	93,1	97,3	102,4	107,9
Mantequilla	kt	4,9	5,5	6,1	5,6	5,1	6,3	6,9	6,4	7,0	7,6	7,5	7,8	8,1	8,4	8,9	9,3
Huevos	kt	44,6	47,0	46,0	50,8	51,7	52,4	52,5	55,0	56,6	55,9	58,7	60,1	61,7	63,8	66,3	69,1
Aceite oliva	kt	1,0	1,0	1,0	2,1	2,1	2,6	3,2	3,2	4,3	2,7	4,1	4,5	4,8	5,2	5,7	6,2
Azúcar	kt	212,4	215,6	188,4	260,4	205,0	246,5	228,9	263,2	255,6	222,5	253,3	257,8	262,9	269,9	279,0	289,1
Papa	kt	319,7	320,4	393,4	241,9	284,6	279,5	327,0	454,2	346,0	376,4	375,5	383,4	392,2	404,0	418,9	435,4
Poroto	kt	15,9	15,4	16,7	6,7	9,6	10,8	8,0	9,3	5,8	10,6	5,8	4,8	3,8	2,8	1,7	0,7
Lenteja	kt	4,9	5,5	6,7	5,6	5,1	4,6	6,3	4,6	6,4	5,9	5,8	5,8	5,8	5,9	6,1	6,2
Garbanzo	kt	1,1	1,1	1,7	1,1	1,7	1,1	1,7	1,2	1,8	2,3	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6
Arveja	kt	2,7	0,6	2,2	3,4	2,8	2,8	2,9	2,3	1,2	0,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
Manzana	kt	64,6	66,7	74,5	80,6	76,8	72,3	82,0	79,3	76,4	82,2	84,0	85,7	87,5	90,0	93,2	96,7
Uva de	kt	37,8	39,2	42,2	41,4	42,3	43,8	43,6	45,7	43,8	45,8	46,9	47,8	48,7	50,1	51,8	53,6

mesa																	
Plátanos	kt	54,7	56,8	57,2	59,9	58,7	60,3	58,5	61,9	63,6	62,8	64,2	65,1	66,1	67,7	69,7	72,0
Palta	kt	15,9	17,6	17,8	21,3	12,4	22,2	19,5	17,9	21,0	22,9	22,0	22,6	23,2	24,0	25,1	26,2
Vino	kt	86,0	89,3	80,1	99,6	78,6	104,1	107,8	100,1	102,7	94,6	105,1	107,2	109,5	112,7	116,7	121,2
Pan	kt	476,2	479,8	477,8	487,2	491,2	483,8	493,4	503,3	507,6	505,0	509,7	513,4	518,1	526,5	538,8	552,7
Arroz	kt	56,9	57,4	70,0	62,2	68,3	67,2	57,4	64,2	74,1	66,4	69,7	70,7	71,9	73,6	75,8	78,4
Otros	kt	896,0	894,8	909,1	864,2	840,5	821,8	824,6	863,9	824,3	804,3	807,3	780,8	759,2	712,3	639,1	552,9

Consumo aparente total anual Gran Santiago (Corregido ODEPA - MINSAL) [kt / año]	kt	3.438,3	3.507,0	3.643,8	3.547,1	3.541,4	3.555,5	3.663,8	3.953,1	3.890,8	3.888,3	3.962,9	4.003,5	4.055,9	4.108,3	4.160,7	4.213,1
---	-----------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Anexo U) Modificación del diagrama de flujo de la alimentación para el escenario 5

En este nuevo diagrama de flujos se propone que todo el consumo aparente de alimentos es dirigido por el consumo domiciliario, eliminando la posibilidad de otros consumos no directos. También se eliminan las posibles salidas que este podría haber tenido.

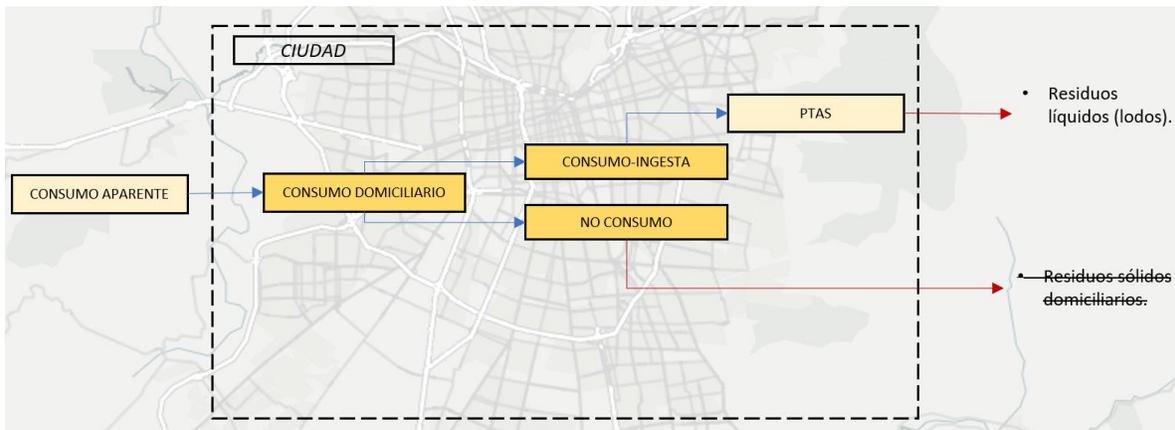


Figura 0-17: Diagrama de flujos representativo del Escenario 4.