

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