



## **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

*Análisis de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la  
Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la ZMVM*

### **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**DOCTOR EN ECONOMÍA**

PRESENTA:

**MARIBEL ADRIANA CABALLERO CASTRILLO**

TUTOR PRINCIPAL:

DR. DAVID BONILLA VARGAS  
Instituto de investigaciones económicas, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ:

DRA. ROSARIO PÉREZ ESPEJO  
Instituto de investigaciones económicas, UNAM

DR. ALONSO AGUILAR IBARRA  
Instituto de investigaciones económicas, UNAM

DR. HÉCTOR CASTILLO BERTHIER  
Instituto de Ciencias Sociales, UNAM

DR. MIGUEL ÁNGEL MENDOZA GONZÁLEZ  
Facultad de Economía, UNAM



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi abuela<sup>†</sup>:  
El ejemplo de mi vida*

*A mis hijas:  
Vale la pena cambiar el mundo*

*A mi familia:  
Juntos podemos*

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis sinodales por el tiempo invertido en este trabajo y por la oportunidad de aprender de ustedes: Dr. David Bonilla Vargas, Dra. Rosario Pérez Espejo, Dr. Alonso Aguilar Ibarra, Dr. Miguel Ángel Mendoza González y Dr. Héctor Castillo Berthier.

También quiero agradecer al Seminario de Doctorado del Campo de Conocimiento de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable dirigido por el Dr. David Bonilla por la retroalimentación recibida a mi trabajo y a mi pensamiento.

Agradezco la oportunidad que me ha otorgado la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Instituto de Investigaciones Económicas por darme el voto de confianza en este proyecto que comenzó hace varios años en sus aulas.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo que me otorgo durante cuatro años en mi formación como investigador.

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BCE Banco Central Europeo	SEDESOL Secretaría de Desarrollo Social
CDMX Ciudad de México	SCC Costos sociales de carbono
DF Disposición final	ZMVM Zona Metropolitana del Valle de México
EVR Eco-costs Value Ratio	AUT Austria
ET Estación de transferencia	BEL Bélgica
GEI Gases de efecto invernadero	BRA Brasil
GRSU Gestión de Residuos Sólidos Urbanos	CHE Suiza
GRS Gestión de Residuos Sólidos	CHL Chile
ICTPC Ingreso corriente total per cápita	COL Colombia
IDH índice de Desarrollo Humano	CRI Costa Rica
INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático	DEU Alemania
IPCC Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático	JPN Japón
IRS Inventario de Residuos Sólidos	MEX México
LCA Análisis de costos de ciclo de vida	NLD Países Bajos
LGPGIR Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	NOR Noruega
OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos	NZL Nueva Zelanda
PC Planta de composta	LTU Lituania
PCo Plana de compactación	LTV Estonia
PIB Producto Interno Bruto	LUX Luxemburgo
PT Planta de transferencia	POL Polonia
RSU Residuos sólidos urbanos	SWE Suecia
	TUR Turquía
	USA Estados Unidos

## UNIDADES DE MEDIDA

CO<sub>2</sub> Dióxido de Carbono

hab/km<sup>2</sup> Habitante por kilómetro cuadrado

kg kilogramos

km kilómetros

m metros

m<sup>3</sup> metros cuadrados

l litros

ton toneladas

\$/km pesos por kilómetro recorrido

km/l kilómetro por litro

kg/diésel Kilogramo por litro de diésel

kg/ha/día Kilogramo por habitante al día

# Índice

Introducción general .....	15
Capítulo 1 El estado del arte de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en la CDMX	
Resumen .....	18
Introducción .....	18
1.1 Marco conceptual	
1.1.1 Concepto de residuos sólidos .....	20
1.1.2 Residuos y derechos de propiedad .....	21
1.1.3 Responsabilidad en la GRSU.....	23
1.2. Marco Histórico	
1.2.1 Antecedentes de la GRSU en México .....	24
1.2.2 La generación de residuos sólidos en el mundo .....	26
1.3 Marco Teórico	
1.3.1 Los residuos sólidos y las teorías .....	34
1.3.2 Economía Ambiental y los residuos .....	35
1.3.2.1 El Mercado de los residuos y de la GRSU .....	36
1.3.2.2 Fallas de mercado .....	37
1.3.2.3 Instrumentos que internalizan externalidades .....	39
1.3.3 La nueva economía institucional y la GRSU .....	41
1.3.4 Economía circular como respuesta al problema de los residuos .....	44
1.3.5 Límites de crecimiento y los residuos .....	44
1.3.6 Ecología política y GRSU .....	45
1.3.7. Discusión .....	46
A manera de conclusión C1 .....	49
Capítulo 2 Diagnóstico de la GRSU en la CDMX	
Resumen .....	50
Introducción .....	50
2.1 Generación de residuos sólidos urbanos .....	51
2.1.1 por tipo de fuente .....	52
2.1.2 por composición de los residuos .....	53
2.2 Gestión de los Residuos Sólidos .....	55
2.2.1 Barrido manual y mecánico .....	56
2.2.2 Recolección .....	57
2.2.3 Estaciones de transferencia (ET) y transporte .....	63
2.2.4 Valorización de residuos sólidos .....	65
2.2.4.1 Plantas de selección (PS) .....	65
2.2.4.2 Planta de composta (PC) .....	67
2.2.5 Disposición Final .....	69
2.3 Emisiones de CO <sub>2</sub> generadas en la GRSU .....	70
2.3.1 emisiones de CO <sub>2</sub> generadas por descomposición .....	70
Conclusión C2 .....	72

Capítulo 3 La Curva de Kuznets de la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)	
Resumen.....	73
Introducción .....	73
3.1 Análisis estadístico de los 104 municipios por características .....	74
3.1.1 Análisis descriptivo .....	76
3.1.2 Análisis multivariado .....	79
3.1.2.1 Componentes principales .....	79
3.1.2.2 Análisis de Cluster .....	83
3.1.2.3 Clasificación de los municipios (104) .....	84
3.2 Estimación de la generación de residuos sólidos en la ZMVM: ejercicio teórico de la curva de Kuznets .....	85
3.2.1 Definición de curva de Kuznets .....	86
3.2.2 Literatura revisada: la curva ambiental de Kuznets y los residuos sólidos .....	87
3.2.3 Especificaciones de los modelos .....	89
3.2.4 Resultados de los modelos [OLS, IV, 2OLS] .....	89
Conclusión 3: Criterios de elección del municipio para el caso de estudio .....	92
CAPITULO 4 Análisis cuantitativo de las emisiones de CO <sub>2</sub> en la GRSU de la demarcación Benito Juárez	
Resumen .....	93
Introducción .....	93
4.1 Descripción de la demarcación Benito Juárez .....	96
4.1.1 Variables socioeconómicas .....	96
4.1.2 Generación de residuos sólidos .....	99
4.1.3 Comportamiento socioeconómico en la eliminación de los residuos .....	100
4.2 Evaluación de la eficiencia del transporte en la recolección de los RSU .....	101
4.2.1 Descripción del servicio de recolección .....	101
4.2.1.1 Camiones .....	102
4.2.1.2 Rutas .....	105
4.2.1.3 Paradas .....	107
4.2.1.4 Frecuencia .....	110
4.2.2 Logística de recolección .....	110
4.2.2.1 Primer momento .....	111
4.2.2.2 Segundo momento .....	111
4.2.2.3 Tercer momento .....	112
4.2.2.4 Cuarto momento .....	113
4.2.3 Distancias en la logística de recolección .....	113
4.2.4 Construcción de escenarios a partir de la eficiencia en el uso del combustible .....	116
4.2.5 Emisiones de CO <sub>2</sub> en la recolección de residuos.....	117
4.2.5.1 Emisiones de CO <sub>2</sub> : a partir de la ruta.....	117
4.2.5.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> : a partir del consumo de combustible .....	120
4.3 Evaluación de la eficiencia en el traslado de los residuos del resto de la GRSU .....	121
4.3.1 Distancias recorridas y emisiones de CO <sub>2</sub> en la GRSU .....	122
4.3.1.1 Estación de transferencia (ET) .....	123
4.3.1.2 Planta de composta (PC).....	124
4.3.1.3 Planta de selección (PS) .....	125



4.3.1.4 Plantas de compactación (C) .....	127
4.3.1.5 Disposición final (DF) .....	128
4.3.2 Mapa de emisiones de CO <sub>2</sub> generadas en la GRSU en Benito Juárez .....	131
4.3.3 Emisiones de CO <sub>2</sub> en el transporte de la GRSU .....	133
4.4. Costos privados y costos externos por el transporte de los residuos.....	135
4.4.1 Costos privados .....	135
4.4.1.1 costos de combustible gastado en la recolección de los residuos .....	135
4.4.1.2 costos privados en el resto de la GRSU .....	137
4.4.2 Costos externos .....	138
4.4.2.1 costos externos en la recolección de los residuos (metodología EVR) .....	138
4.4.2.1.1 EVR: Costos ecológicos directos.....	139
4.4.2.1.2 EVR: Costos ecológicos indirectos .....	140
4.4.2.2 costos externos en el resto de la GRSU (metodología EVR) .....	143
4.4.3 costos sociales de carbono .....	144
4.4.3.1 Costos sociales de carbono en la recolección .....	144
4.4.3.2 Costos sociales de carbono en la GRSU .....	146
4.5 Evaluación de la GRSU en Benito Juárez .....	147
4.5.1 Evaluación del transporte en la recolección .....	148
4.5.2 Evaluación del transporte en el resto de la GRSU .....	149
4.5.3 Evaluación completa de la GRSU .....	151
Conclusión 4 .....	153
Conclusión general .....	156
Referencias bibliográficas.....	164
Bibliografía .....	171
Anexo 1.....	175
Anexo 3 .....	179
Anexo 4 .....	188

## Lista de Tablas

### Capítulo 1

Tabla 1.1. Posibles derechos de propiedad de los desechos .....	22
Tabla 1.2. Variables socio económicas de MEX, JPN y USA .....	32
Tabla 1.3. Consumo per cápita de recursos producción y residuos .....	33
Tabla 1.4. Concepto de residuos sólidos de las diferentes teorías .....	34
Tabla 1.5. Instrumentos económicos y de regulación .....	40
Tabla 1.7. Formas de propiedad .....	43

### Capítulo 2

Tabla 2.1. Características del servicio de recolección de residuos en las delegaciones .....	57
Tabla 2.2. Cantidad de vehículos utilizados en la recolección por tipo .....	60
Tabla 2.3. Vehículos de recolección por modelo 1970-2018 .....	61
Tabla 2.4. Cantidad de choferes y operadores de vehículos recolectores,2018 .....	63
Tabla 2.5. Características de las plantas de composta de las delegaciones, 2018 .....	68
Tabla 2.6. Emisiones contaminantes generadas por residuos sólidos .....	70

### Capítulo 3

Tabla 3.1. Descripción de las variables utilizadas en el ejercicio .....	74
Tabla 3.2. Municipios de la ZMVM utilizados en el estudio .....	75
Tabla 3.3. Medidas de tendencia de las variables utilizadas .....	78
Tabla 3.4. Varianza explicada y proporción acumulada por componente principal .....	80
Tabla 3.5. Cargas por componente principal .....	81
Tabla 3.6. Estadística del ingreso por grupo .....	84
Tabla 3.7. Bibliografía de trabajos de la curva de Kuznets y residuos sólidos.....	88
Tabla 3.8. Resultados de los modelos de Mínimos Cuadrados Ordinarios .....	90
Tabla 3.9. Resultados de los tres modelos (2OLS, OLS y IV) .....	90

### Capítulo 4

Tabla 4.1. variables sociodemográficas .....	97
Tabla 4.2. variables socioeconómicas .....	98
Tabla 4.3. Número de rutas y población por colonia .....	106
Tabla 4.4. Colonia, ruta y número de puntos de recolección .....	107
Tabla 4.5. Días de recolección selectiva .....	110
Tabla 4.6. Distancias del proceso de recolección, colonias .....	114
Tabla 4.7. Litros de diésel consumidos en el proceso de recolección de basura .....	116
Tabla 4.8. Factores utilizados en la estimación de las emisiones de CO2 .....	117
Tabla 4.9. Emisiones de CO2 diarias del proceso de recolección, colonias .....	118
Tabla 4.10. Distancias y emisiones de los escenarios .....	120
Tabla 4.11. Consumo, distancia y emisiones del combustible .....	121
Tabla 4.12. Factores utilizados .....	121
Tabla 4.13. Matriz de distancias en la GRSU (km) .....	123
Tabla 4.14. Emisiones totales del transporte en la GRSU .....	133
Tabla 4.15. Costos privados y externos .....	134
Tabla 4.16. Metodología del cálculo de costos .....	134
Tabla 4.17. Costo diario de transporte por uso de diésel, 2010 y 2017 .....	136
Tabla 4.18. Costos diarios por la gestión de residuos .....	137

Tabla 4.19. Costos marginales de prevención .....	139
Tabla 4.20. Comparación de los costos marginales de prevención de CO2 para la recolección .....	140
Tabla 4.21. Costos ecológicos indirectos en tres escenarios .....	142
Tabla 4.22. Costos ecológicos indirectos por transporte .....	142
Tabla 4.23. Costos ecológicos indirectos de la GRSU .....	144
Tabla 4.24. Bibliografía de costos sociales de carbono .....	145
Tabla 4.25. Costos sociales de carbono en los tres escenarios (pesos) .....	146
Tabla 4.26. Costos Sociales de Carbono por el transporte de los residuos sólidos en la GRSU .....	147
Tabla 4.27. Costos de la GRSU en Benito Juárez, 2017 .....	151

#### Anexo 1

Tabla 1.1A. PIB per cápita anual y población de países de la OCDE, 2010 .....	175
Tabla 1.2A Densidad poblacional mundial .....	176

#### Anexo 3

Tabla 3.1A. Definición de la variable y su fuente .....	179
Tabla 3.2A. Comparación de la Generación de residuos e ingreso, 2010 .....	180
Tabla 3.3A. Demarcaciones que integran cada grupo por Cluster .....	181
Tabla 3.4A. Análisis de cluster con variable de control CP1 .....	183
Tabla 3.5A Modelo lineal .....	184
Tabla 3.6A Prueba de Heteroscedasticidad .....	184
Tabla 3.7A Prueba de Error de especificación en regresión (linealidad) .....	184
Tabla 3.8A Prueba de Autocorrelación .....	185
Tabla 3.9A Prueba de Normalidad .....	185
Tabla 3.10A. Modelo IV .....	185
Tabla 3.11A. Modelo 2OLS, 1er paso .....	186
Tabla 3.12A. Modelo 2OLS, 2o paso .....	187

#### Anexo 4

Tabla 4.1A. Ingreso per cápita mensual, 2010 y 2015 .....	188
Tabla 4.2A. Rutas de recolección, distancia y emisiones generadas .....	189
Tabla 4.3A. Emisiones totales generadas en el proceso de recolección .....	192
Tabla 4.3.1A. Distancia del total de la GRSU .....	194
Tabla 4.4A. Distancia, emisiones de CO <sub>2</sub> y CSC en la GRSU .....	195

# Lista de Gráficos

## Capítulo 1

Gráfica 1.1. Generación per cápita de residuos, 2000 (ton/anuales) .....	26
Gráfica 1.2. Generación per cápita de residuos, 2005 (ton/anuales) .....	27
Gráfica 1.3. Generación per cápita de residuos, 2010 (ton/anuales) .....	27
Gráfica 1.4. Generación per cápita de residuos, 2015 (ton/anuales) .....	28
Gráfica 1.5. Compostaje, 2010 (%) .....	29
Gráfica 1.6. Incineración, 2010 (%) .....	30
Gráfica 1.7. Disposición final, 2010 (%) .....	30
Gráfica 1.8. Reciclaje, 2010 (%) .....	31

## Capítulo 2

Gráfica 2.1. Generación de residuos por alcaldía, 2018 .....	52
Gráfica 2.2. Clasificación de subproductos identificados de RSU .....	55
Gráfica 2.3. Flota vehicular y generación de residuos sólidos .....	58
Gráfica 2.4. Número de vehículos y densidad población .....	59
Gráfica 2.5. Kilómetro recorrido por ruta y número de vehículos .....	60
Gráfico 2.6. Tipo de Operadores del servicio de limpia .....	62
Gráfica 2.7. Porcentaje de toneladas recibidas al día, por estación .....	64
Gráfica 2.8. Residuos ingresados, recuperados y no aprovechados en las plantas de selección .....	66
Gráfica 2.9. Residuos ingresados a proceso y composta producida, 2010-2018 .....	68
Gráfica 2.10 Costos por agotamiento y degradación de residuos sólidos .....	71

## Capítulo 3

Gráfica 3.1. Distribución de la generación de residuos sólidos municipales, 2010 .....	77
Gráfica 3.2. Diagrama de dispersión de la generación de basura y el ingreso, 2010 .....	79
Gráfica 3.3. Variabilidad explicada por componente principal .....	81
Gráfica 3.4. Cruce del primer y segundo componente .....	82
Gráfica 3.5. Análisis de cluster método ward K=4, variable de control ingreso .....	83
Gráfica 3.6. Ingresos promedio por grupo .....	85

## Capítulo 4

Gráfica 4.1. Pirámide poblacional, 2015 .....	97
Gráfica 4.2. Ingreso corriente total per cápita mensual, 2015 .....	98
Gráfica 4.3. Producción y generación per cápita de residuos sólidos, 2018 .....	99
Gráfica 4.4. Generación per-cápita de residuos sólidos, 2012-2018 .....	100
Gráfica 4.5. Forma de eliminación de los Residuos en Benito Juárez, 2015 .....	100
Gráfica 4.6. Separación de Residuos en Benito Juárez, 2015 .....	101
Gráfica 4.7. Vehículos de recolección en Benito Juárez, 2018 .....	102
Gráfica 4.8. Vehículos de recolección por modelo, 2018 .....	103
Gráfica 4.9. Condiciones de vehículos de recolección, 2018 .....	103
Gráfica 4.10. Longitud promedio de las rutas por población (km) .....	107
Gráfica 4.11. Distancia de recolección y paradas de recolección por colonia .....	109
Gráfica 4.12. Puntos de recolección, 2018 .....	112

Anexo 3

Gráfica 3.1A. Dendograma con cuatro grupos (CP1) .....	183
Gráfica 3.2A. Curva de Kuznets .....	187

# Lista de Figuras

## Capítulo 1

Figura 1.1. Mercado eficiente del servicio de GRSU .....	36
Figura 1.2. Métodos y técnicas de valoración económica .....	38
Figura 1.3. Instrumentos económicos para internalizar externalidades en la GRSU .....	41

## Capítulo 2

Figura 2.1. Generación de residuos por tipo de fuente .....	53
Figura 2.2 Separación primaria avanzada .....	54
Figura 2.3. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en la CDMX .....	56
Figura 2.4. Tipos de recolección de los residuos sólidos .....	56
Figura 2.5. Proveedores de residuos a las estaciones de transferencia, 2018 .....	64
Figura 2.6. Destino de los residuos .....	65
Figura 2.7. Características de las plantas de selección .....	66
Figura 2.8. Origen de los residuos ingresados en las plantas de selección, 2018 .....	67
Figura 2.9. Sitios de Disposición final .....	69

## Capítulo 3

Figura 3.1. Posibles comportamientos entre la presión ambiental (EP) y el PIB per cápita .....	86
--	----

## Capítulo 4

Figura 4.1. Territorio de la alcaldía Benito Juárez .....	96
Figura 4.2. Imagen de la ruta 927 en la alcaldía Benito Juárez .....	105
Figura 4.3. Diagrama del proceso de recolección de los residuos sólidos en Benito Juárez .....	111
Figura 4.4. Centros de transferencia .....	113
Figura 4.5. Distancias de la GRSU .....	122
Figura 4.6. Estación de transferencia .....	124
Figura 4.7. Distancia de la Estación de transferencia a la Planta de composta .....	125
Figura 4.8. Distancia de la Estación de transferencia a la Planta de selección .....	126
Figura 4.9. Distancia del Centro de transferencia a la planta de compactación .....	127
Figura 4.10. Distancia de la PC a la PS .....	128
Figura 4.11. Distancia de la Estación de transferencia a los cuatro sitios de Disposición Final .....	129
Figura 4.12. Distancia que recorren los residuos rechazados en las Plantas de selección .....	130
Figura 4.13. Distancia de la planta compactadora a la Cañada .....	131
Figura 4.14. Mapa de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	132
Figura 4.15. Cálculos usados en la metodología EVR .....	141

## Anexo 4

Figura 4.1A. Campamento del Servicio de limpia .....	188
Figura 4.2A. Mapa de emisiones de CO <sub>2</sub> (estimación alta) .....	196
Figuras 4.3A. Rutas de la recolección en la alcaldía Benito Juárez .....	199
Figura 4.4A. Mapa del Centro de transferencia-Bordo Poniente .....	206
Figura 4.5A. Mapa de la Planta de selección San Juan de Aragón .....	206
Figuras 4.6A. Mapa de la Planta de selección San Juan de Aragón a la Planta de selección Santa Catarina .....	207
Figura 4.7A. Planta de Compactación Aragón .....	207

Figura 4.8A. Planta de Compactación Aragón a la Planta de Compactación Central de Abastos .....	208
Figura 4.9A. Disposición final “La Cañada” .....	208
Figura 4.10A. Disposición final “Chicoloapan (Peña de los Gatos)” .....	209
Figura 4.11A. Disposición final “Cuautitlán Izcalli” .....	209
Figura 4.12A. Disposición final “Mina el Milagro” .....	210
Figura 4.13A. Planta de selección Aragón al relleno sanitario la Cañada .....	210
Figura 4.14A. Planta de selección Santa Catarina al relleno sanitario el Milagro .....	211
Figura 4.15A. Planta de compactación al relleno sanitario de la Cañada .....	211

## INTRODUCCIÓN

En México los residuos generados posconsumo se convierten en desechos con una rapidez de 102, 895 toneladas diarias (SEMARNAT, 2012), lo que contribuye con 9% de las emisiones totales (GEI) del país. Estos desechos generan 30% del metano (CH<sub>4</sub>), 5% del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y 0.2% del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del total de emisiones contaminantes (INECC, 2015). No obstante, aún se desconoce la cantidad de emisiones contaminantes que son generadas en el transporte por el ejercicio de la recolección.

Las emisiones generadas por los desechos sólidos reportadas en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGYCEI) con seguridad están subestimadas, ya que los cálculos de las emisiones se basan en los criterios establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Según el informe del Grupo de Trabajo III “existen grandes incertidumbres respecto a la cantidad de emisiones directas e indirectas y al potencial de mitigación en el sector de desechos, que se puede reducir mediante la recopilación y análisis de datos de manera sistemática y coordinada a escala nacional. No existen en la actualidad métodos de inventario para la cantidad de emisiones anuales de GEI derivadas del transporte de los desechos ni para las emisiones anuales de gases fluorinados de los desechos mismos” (IPCC, 2007).

Debido a la complejidad en la recopilación y generación de los datos en México, las instituciones oficiales encargadas de la generación y tratamiento de los datos en temas de emisiones y cuentas nacionales (SEMARNAT e INEGI) no contabilizan la generación de contaminantes derivados en la recolección y éstas no son las únicas emisiones no contabilizadas, además, excluyen a todas aquellas actividades de la cadena de Gestión Integral de Residuos, que como lo señala la ley: son “acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final ...” (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2021). Las actividades enlistadas arriba no están registradas en la contabilidad nacional de emisiones, así que no existen registros de los costos ambientales por generación y degradación provocada en la administración y gestión de los residuos sólidos.

Aunado a ello, los costos de transporte en la Gestión de Residuos Sólidos (GRSU) pasan desapercibidos en la contabilidad económica y ambiental, sin embargo, juegan un papel importante en los costos de la gestión y en los costos del proceso de reciclaje. Como lo señala Berglund (2003) los costos de transporte pueden resultar muy importantes al analizar la rentabilidad del proceso de reciclaje en materiales valorizables como: papel PET, vidrio, cartón, aluminio entre otros.

Además de las actividades de gestión no contabilizadas, existen otros costos ambientales o externalidades negativas no advertidos que tampoco se registran en las cuentas nacionales como son: la propagación de enfermedades causadas por plagas, contaminación por emisiones de metano, deterioro en suelos, deterioro en hábitats, daños irreparables en mantos acuíferos; entre otros.

Otro problema relacionado con la gestión de los residuos y que es objeto de estudio de éste trabajo es el deterioro en la calidad del aire que respiramos resultado de la ineficiente gestión de los residuos a través de: 1) la emisión de metano en la descomposición de los residuos orgánicos, 2) las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la recolección, traslado y clasificación de residuos sólidos y 3) las emisiones de CO<sub>2</sub> resultado de una ineficiente logística de recolección resultado del aletargamiento del tráfico.



Existen varios estudios acerca del análisis de la gestión de los residuos sólidos Barlaz, Ranjithan y Weitz, 1995; White, Franke y Hindle, 1995; Barton, Dalley y Patel, 1996; Bjorklund, Dalemo y Sonesson, 1999, todos ellos con un enfoque de ciclo de vida. Para el caso específico de México, hay algunos trabajos que evalúan la eficiencia en la administración de los residuos con énfasis en los costos económicos, sociales y ambientales como el caso de Ibararán, 2003 que estudió la disposición a pagar por mejorar los efectos de la disposición final de los residuos sólidos en Cholula, Iglesias, 2007; estimó los costos económicos por la generación de residuos sólidos en Toluca y Valdivia-Alcalá<sup>1</sup>, 2012 que utiliza métodos de valoración para el reciclaje de desechos urbanos. Los autores utilizaron herramientas de la economía ambiental para hacer valoración contingente y estiman las externalidades negativas derivadas de enterrar los residuos en rellenos sanitarios, incinerar los residuos o verter desechos al mar.

En cuanto a la problemática de la calidad del aire resultado del transporte de los residuos en México se han realizado algunas evaluaciones de las rutas de recolección como el que muestra Betanzo-Quezada (2015) que compara costos en la recolección de los residuos sólidos, basado en dos ejercicios, uno de ellos con el uso de GPS y el otro sin dispositivo de rastreo para evaluar el nivel de eficiencia en la recolección de la ciudad de Querétaro Qro. En dicho estudio Betanzo demuestra las ventajas de incorporar tecnología, de bajo costo, para mejorar la eficiencia en el transporte, preservando, al mismo tiempo, el medio ambiente.

También Arellano-González, (2016) evaluó el desempeño del proceso de recolección de residuos sólidos en un municipio de Sonora. En dicho estudio se observó que el proceso de recolección es artesanal alejado de lo establecido en la Ley General de Prevención y Gestión de los Residuos, así como de la posibilidad de tener un sistema de gestión eficiente y sustentable. Ambos autores coinciden en que un sistema de gestión con grandes letargos solo provoca altos costos económicos y ambientales que al final paga la población.

En la Ciudad de México (CDMX) aún no se han realizado este tipo de estudios, así que, atendiendo la brecha de información que ofrecen en las instituciones encargadas de la gestión de residuos, el presente trabajo tiene por objetivo mostrar los costos ocultos en el transporte por la gestión de los residuos sólidos en la ciudad. Para ello se estudió el transporte de carga urbano utilizado en el servicio de limpia, las rutas de recolección, la frecuencia en la recogida y las distancias recorridas por los automotores para ofrecer el servicio.

Es importante hacer notar que los datos con los que se trabajaron son los proporcionados por las instancias oficiales, a pesar de ello, la información con la que se realizaron las estimaciones se encuentra subestimada. El presente trabajo es un ejemplo de lo que se puede hacer con los datos reales, desafortunadamente estos últimos no pueden obtenerse en el corto plazo, requieren de una política pública que obligue a los actores de la gestión a informar con exactitud y rapidez de su actuar. Uno de los obstáculos más importantes en la recopilación de la información son las reglas informales con las que se manejan los actores involucrados en la gestión, que tienen incentivos económicos para oscurecer los datos.

El estudio de los costos ocultos en el transporte es resultado de la exposición de los costos totales en la recolección de los residuos, entendiéndose, como la suma de los costos privados y los costos externos; los primeros, son aquellos relacionados con el combustible consumido en el transporte resultado de la gestión de los mismos (recolección, tratamiento y disposición final).

Por otro lado, los costos externos derivados de la generación de emisiones contaminantes por el transporte de residuos se calcularon de la siguiente manera: 1) la emisión de metano en la descomposición de los residuos orgánicos, 2) las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la recolección, traslado y disposición de residuos sólidos y 3) las emisiones de CO<sub>2</sub> resultado de una ineficiente logística de recolección.

El trabajo se encuentra organizado en cinco capítulos; en el primero se revisó el marco teórico, histórico y conceptual de la gestión de residuos, en el segundo capítulo se revisó un diagnóstico de la gestión en la CDMX, en el tercer capítulo se realizó un ejercicio econométrico que nos permitió elegir una entidad como caso de estudio, en el cuarto capítulo se calcularon los costos privados y externos en el transporte de la gestión y finalmente en el quinto capítulo se concluyó y se ofrecen recomendaciones de política pública.

En el Capítulo 1 el objetivo es mostrar la magnitud del problema que representan los residuos sólidos en la CDMX, para ello, se revisó el estado del Arte de la GRSU en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y el lugar que ocupa en la problemática de los residuos, comparado con los países que conforman la OCDE. Se realizó una revisión histórica de la administración de los residuos en México y se revisó la literatura relacionada con los residuos sólidos.

En el Capítulo 2, se realizó un diagnóstico de la GRSU así como la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de gestión de residuos en la CDMX.

El Capítulo 3 tiene por objetivo elegir una entidad de la ZMVM como caso de estudio de la GRSU, para ello, se realizó un ejercicio econométrico de la curva de Kuznets para comprobar la hipótesis “a mayor ingreso en los hogares de las demarcaciones de la ZMVM, mayor generación de residuos sólidos”. Se utilizaron algunos métodos econométricos (variables instrumentales (IV), mínimos cuadrados bietápicos (2OLS) y mínimos cuadrados ordinarios (OLS) y técnicas multivariadas como componentes principales y análisis de clúster para conocer algunas características socioeconómicas que expliquen la generación de residuos en la ZMVM.

En el Capítulo 4 se realizó un análisis cuantitativo de los costos del transporte generados en la GRSU para el caso de estudio, se cuantificaron los costos privados, derivados del consumo de combustible gastado en la recolección de los residuos; y los costos externos, estos últimos representados por las emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte de la gestión de los residuos, para lo cual se realizó un mapa de emisiones de CO<sub>2</sub> de la gestión de residuos con varios escenarios construidos, así mismo, se calcularon los costos ecológicos usando la metodología EVR y finalmente se construyeron los costos sociales de carbono usando la metodología SCC.

En el último capítulo se discutieron los resultados, se concluye y se dan recomendaciones a los tomadores de decisiones.

# Capítulo 1 Estado del arte de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos GRSU en la CDMX

## Resumen

El objetivo del capítulo uno es la descripción del estado del arte de la gestión de residuos sólidos urbanos (GRSU). Lo cual implicó: primero, realizar una revisión del concepto de residuos sólidos, junto a un estudio del derecho de propiedad y las responsabilidades en su gestión. Segundo, enmarcar históricamente la GRSU en la CDMX desde la época prehispánica hasta la época actual. Tercero, hacer una revisión de la GRSU en México y en los países que conforman la OCDE. Cuarto, realizar una revisión teórica de las principales corrientes económicas relacionadas con la GRSU. Para tales fines se hizo una revisión bibliográfica y utilizando estadística descriptiva para caracterizar la administración de los residuos en México y el mundo. La discusión teórica más importante versa en el concepto de residuo y como éste influye en las barreras del reciclaje y el aprovechamiento de materiales valorizables en México.

## Introducción

El tema de los residuos sólidos ha ganado gran importancia en los últimos años, sin embargo, es un tema tan viejo como la humanidad misma. Se ha convertido en un problema por el descontrolado crecimiento de la generación, en el afán de encontrar soluciones rápidas, se han cometido errores que hemos acarreado con el tiempo, como el desprecio en el uso del término basura que desvaloriza un potencial recurso y genera mayores externalidades negativas. El crecimiento de la generación de residuos sólidos está ligada positivamente al desarrollo económico y al consumo per cápita, así como las consecuencias ambientales y los costos económicos derivados de una deficiente gestión.

En la medida en que el problema se ha agravado en magnitud, también, ha aumentado el interés en estudiar temas sobre residuos como los trabajos de (Castillo, 2016) (GTZ, 2010) (Hoorweg, 2012) (GTZ, 2003) (Kinnaman, 1999) (Kokusai, 1998), abordados desde diversos puntos de vista. Sin embargo, poco se ha estudiado del concepto mismo de residuo y la diferencia con el concepto de basura.

La falta de claridad en el concepto nos ha llevado a cometer graves errores, como considerar que los desechos no tienen valor económico llamándolos “basura” nadie quiere hacerse cargo de ellos, no pertenecen a nadie, son un mal social del que hay que deshacernos, por lo que se hace necesario quitarlos de nuestra vista, enterrándolos o incinerándolos, generando costos económicos que nadie quiere pagar. En contraste, sí los desechos fueran visualizados como “residuos” podrían tener una connotación de valor o de aprovechables, lo que provocaría el interés de terceros en administrar el recurso. Ya sea con una visión de desvalorizado o de valorizado se hace necesario pagar los costos económicos y ambientales por el tratamiento de los desechos; situación que se suma a la falta de instituciones fuertes lo cual provoca que las reglas formales carezcan de claridad y control, el hueco legal en los derechos de propiedad de los desechos provoca problemas de corrupción e ineficiencias económicas.

La falta de propietarios legales en la gestión de recursos no exime la existencia de responsables legales; en primera instancia los municipios son los responsables de la recolección y el traslado a la estación de transferencia (ET); después, se genera una corresponsabilidad del municipio con el estado, responsabilizándose del tratamiento, confinamiento y de generar el marco legal necesario para que se lleven a cabo las acciones; finalmente la federación se hace responsable de los residuos peligrosos e infecciosos, así como de sancionar a quien no cumpla la ley.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) tiene 18 años de vigencia, antes de eso peregrinó en una serie de tropiezos en la GRSU desde las responsabilidades en los niveles de gobierno, hasta la anarquía que provoca la falta de los derechos de propiedad, que hicieron de este tema un problema cada vez mayor y con varias aristas.

La falta de claridad en los datos oficiales de residuos es un reflejo de la realidad de sociedad mexicana (Castillo, 1990) hay autores que consideran que el manejo de los residuos sólidos son un fiel reflejo de las características que ha tomado el proceso de urbanización en la Ciudad de México (INAP, 1988), en 1950 se producían 370 gramos de residuos per cápita, en 1988 se generaba alrededor de 1kg per cápita, actualmente se generan 1.38 kilogramos por habitante, 68 años después se genera 1kg más de lo generado en 1950.

Los cambios no solo son el incremento en cantidad, también los residuos han cambiado en tipo de generación, ha venido creciendo la cantidad de desechos inorgánicos en proporción a los orgánicos. En 1950, 5% de los desechos era no degradable, en 1988 transitó a 44% y actualmente<sup>1</sup> pasó a 82%. El tratamiento de los desechos inorgánicos es más costoso, refleja el nivel de consumo y la falta de reciclaje.

Año con año la generación de residuos aumenta al ritmo en que crece la población al igual que los recursos económicos necesarios para administrar el servicio; los vehículos recolectores son un buen ejemplo de ello, existen 2,652 camiones para recolectar residuos en la CDMX, pero muy pronto se requerirán más debido a la demanda del servicio, además, de reemplazar el parque vehicular que se encuentra en malas condiciones y que asciende a un tercio de los carros recolectores que dan servicio.

Este primer capítulo enmarca la problemática de la gestión de los residuos sólidos en la ciudad más poblada del mundo, la Ciudad de México (CDMX). Para ello, se revisó el concepto de residuos sólidos y los derechos de propiedad, así como se identificó la responsabilidad del servicio; en el segundo apartado se mostraron los antecedentes de la GRSU en México y el lugar que ocupa en la gestión de residuos de los países de la OCDE; en el tercer apartado se realiza una revisión teórica de varias escuelas de literatura económica y los residuos sólidos.

---

<sup>1</sup> En 2019

## Marco conceptual

### 1.1.1. Concepto de residuos sólidos

Generalmente utilizamos como sinónimo de residuo, basura, sin embargo, la definición de ambas palabras no es exactamente la misma. Basura tiene una connotación de suciedad, cosa repugnante, despreciable, desecho, desperdicio o algo de baja calidad, en contra posición; la definición de residuo es aquello que queda de la descomposición o destrucción de algo (RAE, 2020).

El uso indiscriminado de la palabra basura ha creado confusión en la población ya que trata a sus desechos como una carga de la que debe deshacerse, despreciarse, que ensucia y de la cual no se puede tener nada bueno o de valor, sin embargo, el cambio de uso de la palabra basura a desecho invita a la población a buscar la reintegración, el reciclaje, la venta o el aprovechamiento del residuo antes de ser arrojado al vertedero.

La discusión del concepto de desecho como un bien o un mal versa en el valor económico del mismo, aquel que es poseedor de una fuente de ingresos se define como “bien” algo a lo que se le puede extraer valor, pero que está limitado por la calidad del mismo en la medida en que la calidad disminuya se convertirá en un mal (Danese, 2017).

En 1988 se definió el concepto de residuo en la Ley General del equilibrio ecológico y protección al ambiente, antecedente de la actual Ley de residuos en México, como cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permite ser usado nuevamente en el proceso que lo generó (SEDUE, 1988). Este tipo de definición ha provocado ceguera en el reúso o aprovechamiento, debido a que el residuo no puede ser usado en el mismo proceso que lo generó, pero si puede ser utilizado en un nuevo proceso productivo, como lo propone la economía circular.

Quince años después, en 2003, se publicó la Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (LGPGIR) en donde se especifican las funciones de los niveles de gobierno y se definen programas de gestión, además de clasificar a los residuos en: peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial.

Define a los residuos peligrosos como aquellos que poseen alguna característica de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos, así como embalajes y suelos que hayan sido contaminados (SEMARNAT, 2003).

La LGPGIR define a los residuos urbanos como aquellos que se generan en las casas habitación resultado de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

Otra definición de residuos urbanos municipales es la que utiliza World Bank, los define como aquellos residuos recolectados y tratados por los municipios. Estos cubren residuos de hogares, residuos voluminosos, residuos de comercios, oficinas, instituciones y pequeños negocios, también residuos de jardines, residuos de barrido en calles y el contenido de pequeños contenedores (Hoorweg, 2012). En

esta investigación se partirá de la definición de World Bank para analizar la gestión de residuos sólidos urbanos en la CDMX.

Finalmente, se definen como residuos de manejo especial a aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos. (SEMARNAT, 2003).

### 1.1.2 Residuos y derechos de propiedad

Los derechos de propiedad definidos como la capacidad jurídica directa e inmediata que tienen alguien respecto a un objeto, una propiedad, un servicio, un bien [o un mal] en el libre ejercicio de elección. Entendiéndolo así, los derechos de propiedad sobre los residuos sólidos [como un bien o mal] son un concepto complicado de definir sobre todo porque han sido despreciados y considerados como una molestia, como productos con valor negativo (Merrill and Smith, 2010) de los que nadie quiere ser propietario.

En México la propiedad de los desechos va rotando según sea el poseedor del momento; en primera instancia la basura pertenece al productor o usuario, después al ser arrojada al bote de basura se convierte en un bien (o mal) público y, dependiendo del tipo de proceso que lleve (compostaje, compactación, selección, reciclaje o disposición final) y de quién procese y traslade (empresa pública o privada) esa propiedad pasa a ser una responsabilidad; perdiéndose en el proceso de gestión el derecho de propiedad y adquiriendo una obligación legal.

Legalmente los municipios deben de hacerse responsables de los desechos de su población, adquiriendo potestad sobre ellos pueden decidir sobre cómo tratar a los residuos y también cómo no hacerlo, pueden transferir responsabilidades a empresas privadas a través de concesiones, pueden obtener recursos económicos a través de la venta de residuos valorizables, pueden incluso obtener recursos por el cobro del servicio de limpia y procesamiento, también puede no hacer nada y permitir que otros agentes saquen provecho de los residuos que el municipio no pudo o no quiso administrar.

Un experto en este tema lo explica así “quién es el “dueño” de la basura, ya que la propiedad de los residuos va modificándose conforme aparecen más trabajadores, más gremios, más industrias o más procesos de reutilización. En teoría, al menos, una vez retirada de las casas y los comercios, la basura debería ser propiedad del Estado, o del gobierno encargado de su recolección. Pero: ¿cómo podemos garantizar la propiedad de la basura? Hay cada vez más personas y empresas que tienen interés en apropiarse de ella” (Castillo, 2015).

Al respecto de los derechos de propiedad pueden existir en varias figuras, en la Tabla 1.1 se observan las posibles formas de propiedad: 1) la propiedad privada, 2) propiedad pública, 3) sin propiedad y 4) comunal.

1) Propiedad privada. Esta figura de propiedad podría estar en manos de inversionistas como compañías o incluso sin inversión como los propios trabajadores de la limpia, pepenadores, que al apropiarse de los desechos ejercen el dominio de uso exclusivo.

2) Propiedad pública. La autoridad pública que posee los residuos puede ser centralizada o descentralizada, esta figura puede hacerse cargo, en alguna de sus dos modalidades, de la gestión de los residuos o bien puede concesionar uno o más segmentos de la administración (la recolección de

residuos, el traslado, el tratamiento, la separación, etc.) a compañías privadas o a otros actores del sector público interesados. Sin embargo, son recurrentes los problemas generados por una figura pública en los derechos de propiedad, como es la libre entrada al acceso de los residuos, lo cual implica dos cosas; primero ¿quién debe tomar los residuos valorizables o quién se apropia del valor? Y segundo, este tipo de propiedad puede generar disipación en la renta y perpetua condiciones de pobreza en los recolectores.

3) Propiedad comunal y Res universitatis. En este régimen los residuos pertenecen a un grupo público en su carácter de colectividad, generalmente la población de un municipio. Este régimen puede ser comunal en su sentido interno, pero en lo exterior los residuos pueden ser apropiados por quienes no son parte de la comunidad. El inconveniente de este régimen es la contundencia y claridad en los derechos de propiedad para ejercer el derecho y la obligación, además la falta de comunidad puede traer problema de disipación en la renta.

4) Sin propiedad. En este régimen nadie tiene los derechos de propiedad de los residuos, así que, los residuos pertenecen a la primera persona que los declara propios.

La elección de los derechos de propiedad utilizados para los residuos debe de considerar, según la teoría de Demsetz, los costos de transacción y los beneficios generados a la población. “Los derechos de propiedad sobre los desechos deben establecerse si los beneficios relacionados con el establecimiento de estos derechos exceden los costos de establecerlos y mantener los derechos de propiedad, es decir los costos de transacción. Actualmente los derechos de propiedad de los desechos se están llevando a cabo en muchos países, dados los altos costos de transacción se debe atribuir a los beneficios crecientes de la delimitación” (Danese, 2017).

Tabla 1.1. Posibles derechos de propiedad de los desechos

Régimen	Tipo de modelo	¿Quién posee los derechos?	Costos de transacción
<b>Privado</b>	Exclusivo	Los pepenadores	Bajos
	Exclusivo	Compañías	Altos
<b>Público</b>	Exclusivo	Estado/municipalidad	Bajos
<b>Comunal</b>	Inclusivo	Todos	Bajos
<b>Res universitatis</b>	Inclusivo	Comunidad	Bajos
<b>Sin propiedad</b>	Inclusivo	Primero en acceder	Bajos

Fuente: Danese, 2017

Una innovadora forma de entender el problema de los derechos de propiedad en los residuos es como explica el sociólogo Álvarez; “el derecho de propiedad es la posibilidad que tiene una persona de excluir a otro del uso y goce de la cosa. [Sin embargo], la basura funciona exactamente al revés, la basura es la posibilidad de hacer cargo a todos los demás de algo que hacemos nosotros y que genera pérdidas. Si la propiedad es una relación de apropiación de un objeto, la basura es una relación de desapropiación, es desentenderse y delegar en el colectivo social a través del Estado las pérdidas que producen determinados objetos (Álvarez, 2011).

La visión de derecho de propiedad que describe Álvarez es incompleta, ya que solo puede aplicarse a los residuos que no encuentran valor en el mercado, como materiales que pueden ser la fuente de molestias o malos olores, vapores nocivos, residuos hospitalarios, entre otros y que generan un costo económico y social del que se desentiende el propietario y es delegado al Estado, que, a su vez este distribuye los males a la sociedad.

El concepto completo debería de incluir a aquellos residuos con valor de uso en el mercado, así, la apropiación del residuo implica la apropiación de un recurso económico (en algunas ocasiones el recurso es no renovable) por lo tanto, no reclamado por nadie, porque nadie (todos) tiene (n) el derecho de propiedad sobre él, quitándole la posibilidad a la sociedad de redistribuir ese valor económico o financiar el costo de la gestión de los residuos no valorizables.

Por lo tanto, considero que el problema de los derechos de propiedad influye directamente en la construcción de mercados formales de residuos e impide el éxito de cualquier esfuerzo de reciclaje (Mora, 2004) (Narea, 2008) (Bustos, 2009), si bien existen mercados para algunos residuos valorizables estos son informales (Sasaki, 2013) y se hace difícil la asignación de precios.

### 1.1.3 Responsabilidad en la GRSU

En México la Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (LGPGIR) no explicita quién es el propietario de los residuos sólidos, pero si, enumera a los responsables de la administración de los mismos. Los residuos y su tratamiento van cambiando de responsable legal dependiendo del momento en la gestión en la que se encuentre el residuo, no es el mismo responsable el recolector que el transportista, el operador del relleno sanitario que el responsable de la planta de separación. La atribución de responsabilidades en la GRSU es compartida con atribuciones a nivel municipal, estatal y federal.

En cuanto a la responsabilidad del gobierno, la LGPGIR especifica que los municipios tienen las funciones del manejo integral de residuos sólidos urbanos (recolección, traslado, tratamiento y disposición final). Formulan Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, controlan los residuos sólidos urbanos; otorgan autorizaciones y concesiones y cobran el pago de los servicios de manejo integral de residuos sólidos urbanos destinando los ingresos a la operación de los mismos.

A pesar de que la GRSU es un servicio no exclusivo, insustituible y esencial lo que lo convierte en un servicio público dada sus características, existe la posibilidad de concesionar el servicio buscando una solución dados los siguientes problemas: 1) los costos del servicio requieren de una inversión grande, 2) porque las capacidades técnicas se ven sobrepasadas o 3) por mejorar eficiencia económica o técnica. En cualquiera de los casos, “es importante señalar que la privatización o concesión de algunos aspectos de los servicios de RSU no exime al gobierno de la responsabilidad de estos servicios” (Massound, 2002).

Las entidades federativas deberán generar el marco regulatorio necesario para llevar a cabo las tareas que requiere la GRSU, para ello, formulan, conducen, evalúan la política estatal y elaboran los programas de residuos y manejo especial (SEMARNAT, 2003).



Por otro lado, la Federación tiene como responsabilidad suscribir los convenios o acuerdos de coordinación, con el propósito de asumir las funciones de autorizar y controlar las actividades de los micro generadores de residuos peligrosos, establecer y actualizar los registros, que correspondan en los casos anteriores y sancionar (SEMARNAT, 2003).

## Marco Histórico

### 1.2.1 Antecedentes de la GRSU en México

La antigua Tenochtitlán, predecesora de la actual CDMX, según Matus Moctezuma (2006) estaba habitada por 200 mil tenochcas, se calcula que la densidad poblacional fue de 157.5 hab/km<sup>2</sup>. Se dice que solo podía ser comparada con cuatro ciudades europeas; una ciudad de estas dimensiones requirió de grandes servicios de agua, de abastecimiento de alimentos y servicios de limpia.

Se tiene registro de que había personas que trabajaban haciendo la limpieza en las calles pavimentadas de la gran ciudad como lo comenta Motolinía “están tan limpias y tan barridas todas las calles de esta gran ciudad que no había cosa con que tropezar” (González, 2019). Bajo el gobierno de Moctezuma Xocoyotzin había más de mil personas que recorrían la ciudad recogiendo la basura que hubiera tirada; dicen los cronistas que “el suelo no ensuciaba el pie desnudo”; además, los habitantes estaban habituados a no tirar nada en la calle (Castillo, 1990).

El tratamiento de la basura que utilizaban en la época de Moctezuma era la incineración, que se realizaba por las noches en grandes hogueras que servían para iluminar las calles, por otro lado, las evacuaciones humanas eran concentradas en letrinas comunitarias y los residuos domiciliarios servían para alimentaba a los animales.

Era una economía basada en la tributación y el comercio a través del trueque; la actividad productiva principal fue la agricultura en chinampas, que se llevó a cabo con una visión completa al reincorporar los desechos humanos, residuos domiciliarios y residuos productivos, algo muy parecido a lo que propone la actual Teoría de economía circular, pero a nivel macroeconómico, por ejemplo; los residuos de orina se depositaban en vasijas para ser usada en tratamientos textiles.

Por otro lado, la producción y la tecnología prehispánica se basaba en las chinampas, bajo un entorno lacustre con tecnologías de producción y riego novedosas, para la época, en donde se incorporaban los desechos de las excretas humanas y animales como fertilizante orgánico en la producción agrícola; además existía una interesante tecnología hidráulica, los canales servían como medio de transporte dentro de la ciudad y como medio productivo a través de las chinampas, además, crearon sistemas de riego a través de la construcción de los canales.

Pasando la época prehispánica, en la conquista, los servicios de limpia se suspenden y la ciudad comienza a acumular una cantidad impresionante de basura, en 1526, se establecieron basureros públicos, el antecedente de la actual gestión con entierro de residuos, y se integró un cuerpo de limpia formado por 18 carretones ordinarios y 24 indios con huacales, pero los logros fueron limitados (INAP, 1988).

En el periodo colonial surgió una reestructuración de hábitos y costumbres relacionados a los residuos de la ciudad “cambio la composición de la basura y la estructura espacial de la antigua ciudad, moldeada a semejanza de las ciudades medievales” (González, 2019). La reestructuración consistió en concentrar en el centro de la antigua Tenochtitlán a los españoles y sus familias y en la periferia a las poblaciones indígenas, en donde también, se ubicaron los tiraderos.

González explica como la recolección en la época colonial se realizaba a través de carretones jalados por mulas que tocaban una campana, para avisar su llegada. La traza de la nueva ciudad dificultaba el paso del carro recolector, por lo que, muy frecuentemente los hogares desechaban la basura en la calle.

En 1824 fue un año de cambios estructurales México crea la primera constitución federal formalizándose como una república federal, democrática y representativa. En estas circunstancias surge por primera vez el control y reglamentación de los carretones de recolección de residuos fue el señor Melchor Múzquiz, coronel del ejército, encargado de una de las provincias de la capital quién estableció las primeras pautas para la recolección domiciliaria (numerar las carretas, establecer rutas determinadas y tocar la campanilla al pasar por las calles), mismas que se siguen observando hasta hoy en día (Castillo, 1990).

En 1886 por primera vez se estableció un reglamento para el servicio de limpia de la Ciudad, en donde el servicio de limpia se dividió en dos partes; los encargados de la recolección de los residuos domiciliarios y los encargados de barrer y mantener limpias las calles.

Comenta González que para 1910, en el año de la revolución mexicana, se tiene un registro de 720, 753 habitantes en la ciudad lo que implicó una mayor generación de residuos, composiciones nuevas de desechos y un reto mayor para la administración de los mismos, surgen entonces las primeras concesiones para el aprovechamiento industrial de la basura, que tenía como obligación cremar residuos, separaba materiales para su reaprovechamiento y recolección.

En 1930 la población del Distrito Federal, ahora CDMX, ascendió a 1.2 millones de habitantes, el producto interno bruto del país se mantiene prácticamente sin cambios desde 1903, 500 mil millones de pesos. Una economía creciente en población, pero con niveles de ingreso constantes, seguramente la generación de residuos no era la prioridad, cuando durante 24 años hubo un crecimiento económico casi nulo. A pesar de la inestabilidad acontecida, el tema de residuos presenta cambios importantes, se desplaza la recolección en mulas por la recolección en camiones con capacidad de 20 toneladas que hacían recorridos dentro de la ciudad y para las afueras [de lo que era la ciudad] continuaba el servicio de mulas, según comenta Castillo (1990).

En 1940 la población de la ciudad crece considerablemente, 42%, asciende a 1.7 millones de habitantes, el PIB en el país pasa a 663.7 miles de millones de pesos, creciendo 36% de 1930 a 1940, es un periodo de crecimiento a partir del sexenio del General Lázaro Cárdenas y hasta Miguel Alemán. El tema de residuos sólidos y el servicio de limpia avanzó también, se organizó la ciudad de México en 30 sectores y se contrataron 1,470 empleados que trabajaban en el servicio de limpia y un año después, se promulgó el primer Reglamento de Limpia (INAP, 1988).

En 1971 se forma la Oficina de Sistemas de Recolección y Tratamiento de Basura, que después se llamó Oficina de Recolección de Desechos Sólidos dependiente de la Dirección General de Servicios Urbanos del DDF, un año después se desconcentraron los servicios del DDF y el servicio de limpia fue asignado a

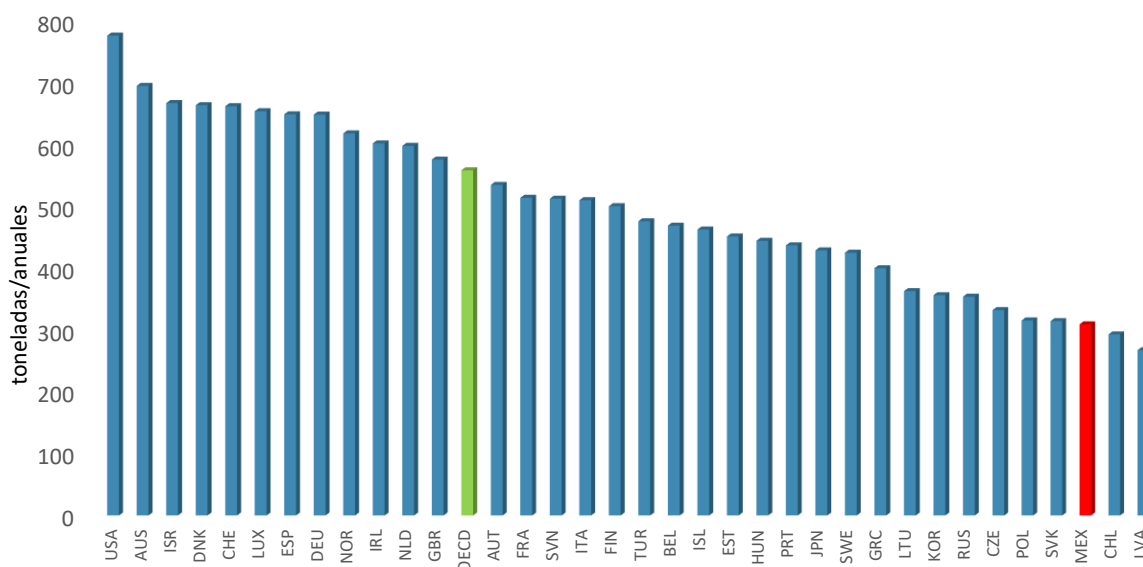
las 16 Delegaciones [ahora alcaldías] lo cual sigue vigente. Este periodo estuvo caracterizado por problemas financieros y un creciente repunte en la población; en el Distrito Federal creció 300% de 1940 a 1970, en este último año la ciudad estaba habitada por 6.8 millones de personas, lo que significa una generación de residuos de 4.9 toneladas al día<sup>2</sup>.

### 1.2.2. La generación de residuos sólidos en el mundo

El objetivo de esta sección es analizar la generación de residuos sólidos en el mundo, limitándonos a los países que conforman la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE), se analiza esta base de datos porque tan solo los 36 países que los conforman generan más de la mitad de los 1.3 billones de toneladas de residuos, 1.2 kg por persona al día, generadas por el mundo (Hoorweg, 2012).

La generación per cápita de residuos está relacionada con la tasa de crecimiento poblacional y el nivel de ingresos, como aseguran los expertos, (Baumol y Oates, 1988) (Beede, 1995) (Managi, 2011), en el año 2000 Estados Unidos (USA) generó casi 800 ton /anuales, 217 ton más que el promedio de los países de la OCDE, este repunte en residuos resulta de la creciente población, 282 millones de personas, siendo el país más poblado del grupo. Véase Gráfica 1.1

Gráfica 1.1. Generación per cápita de residuos, 2000 (ton/anuales)



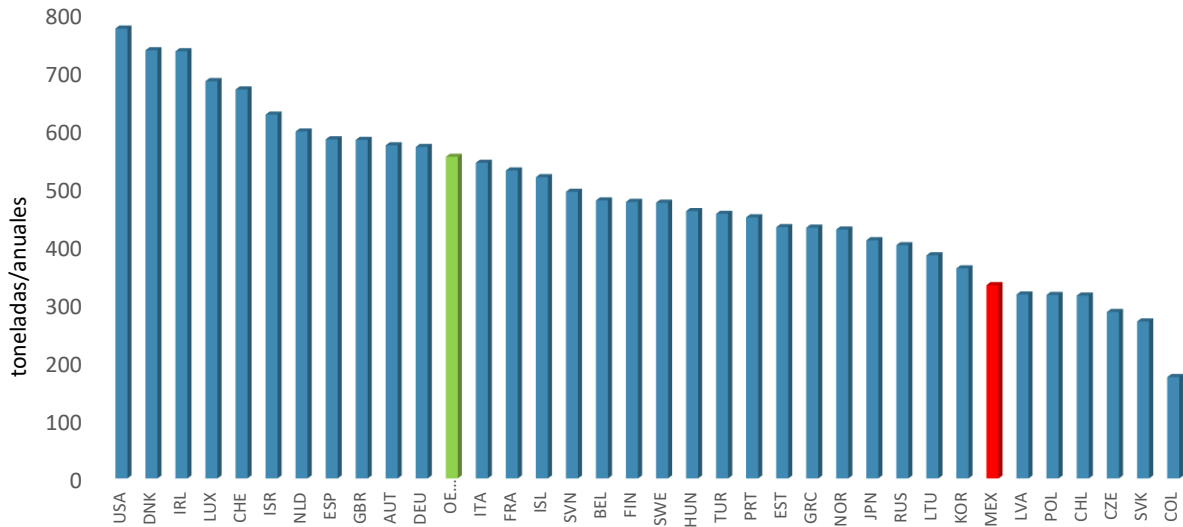
Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

En la Gráfica 1.2 se puede revisar la generación de grupo de la OCDE en 2005, podemos observar que los residuos per cápita disminuyeron, en comparación al año 2000, en casi todos los países. A pesar de eso USA sigue a la cabeza de la generación con 773 ton/anuales y la población aumento a 295 millones de personas, la generación de residuos de USA se encuentra muy por encima del promedio de

<sup>2</sup> Utilizando el factor 0.718 kg/hab/día (INE, 1999)

generación de los países de la OCDE (553.5 ton/anales). En contra parte el país con menor generación es Colombia (COL) con 175 ton/anales y una población de 42 millones de personas.

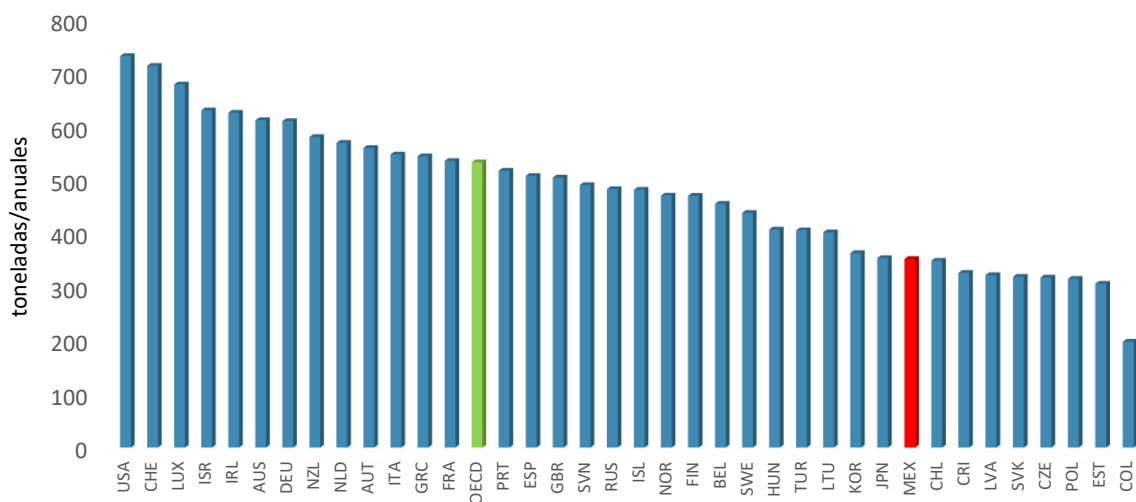
Gráfica 1.2. Generación per cápita de residuos, 2005 (ton/anales)



Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

Para 2010 la generación de residuos retoma su ascenso para la mayoría de los países, una de las excepciones es USA que bajo 35 toneladas anuales por cada habitante de 2000 a 2010 pero sigue siendo el país con mayor generación y mayor población (309 millones de habitantes); la generación promedio del grupo disminuye 27 toneladas por habitante de 2000 a 2010. Por otro lado, COL se mantiene en el último lugar de generación de residuos del grupo, a pesar del incremento en la generación de 21 toneladas anuales por habitante de 2005 a 2010 y del aumento en población de 42 a 45.5 habitantes en el mismo periodo. Véase Gráfica 1.3

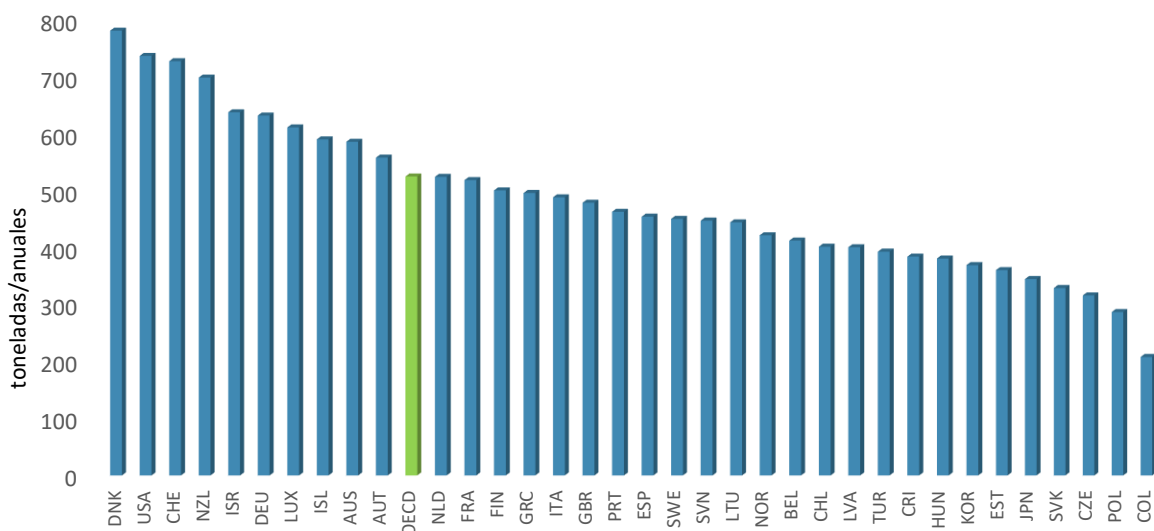
Gráfica 1.3. Generación per cápita de residuos, 2010 (ton/anales)



Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

En la Gráfica 1.4 se refleja el comportamiento de la generación de residuos para 2015; observamos que Dinamarca (DNK) desplaza a USA en el primer lugar de generación de residuos con 780 ton por persona anuales, a pesar de que USA tuvo un pequeño aumento en la generación de residuos y que su población es 50 veces más grande (321 millones de habitantes); la generación promedio del grupo de la OCDE baja a 524 ton anuales; en contra parte COL se mantiene en la última posición en generación de residuos del grupo a pesar de que sigue creciendo al igual que su población (207 ton/anuales y 48 mil habitantes).

Gráfica 1.4. Generación per cápita de residuos, 2015 (ton/anuales)



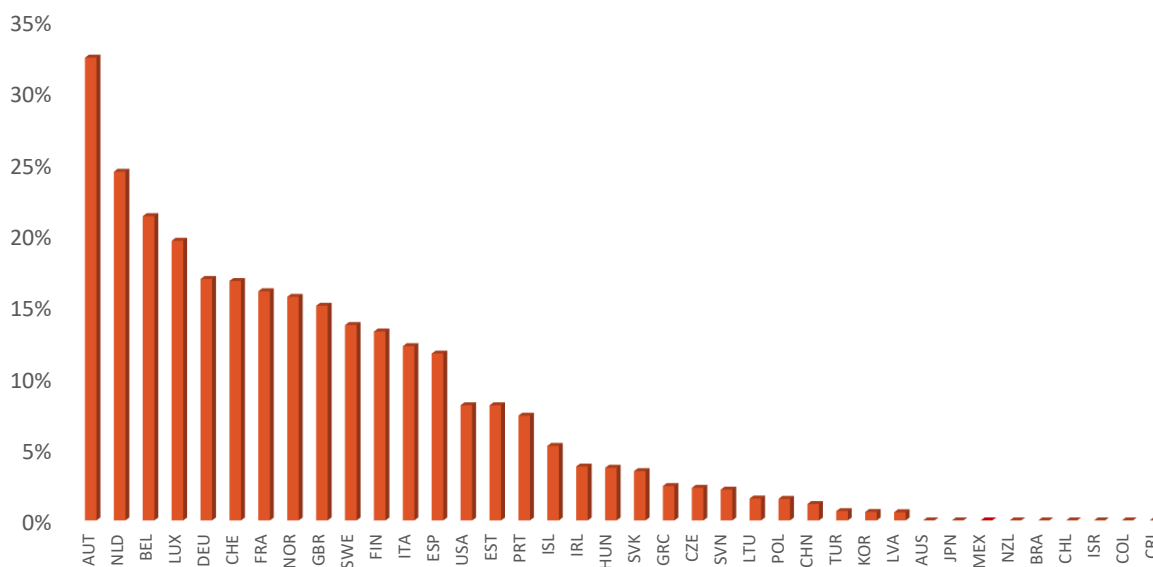
Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

Para México (MEX), la generación de residuos ha ido al alza, en el año 2000 se generaban 311 ton anuales por habitante, diez años después aumento 11% la cantidad desechada a 351 ton anuales, a pesar del aumento MEX es de los países con menores tasas de generación no obstante los 114 millones de habitantes en 2010 su generación se encuentra por debajo de la media del grupo.

La gestión de los residuos sólidos municipales procesa los desechos dependiendo del tipo de residuo del que se trate; los residuos orgánicos pueden aprovecharse a través del compostaje o como biogeneración de energía eléctrica y los residuos inorgánicos pueden llevar varios tratamientos como el reciclaje, la incineración, la disposición final, la cogeneración de energía eléctrica o la venta de desechos. En la siguientes líneas se compara el tipo de tratamiento que realizan los países de la OCDE y los ingresos per cápita, para ello se puede observar la Tabla 1A del anexo y los gráficos.

Uno de los tratamientos más comunes que reciben los residuos orgánicos es el compostaje; los diez países con mayor aprovechamiento de residuos orgánicos son países europeos; Austria (AUT) composta 32%, seguido de los países bajos, (NLD) 24%, Belgica (BEL) 21%, Luxemburgo (LUX) 20% y Alemania (DEU) 17%, cabe resaltar que todos tienen un ingresos per cápita entre 39.7 y 85.5 mil dólares anuales; en contraste con nueve países que tienen nulo tratamiento en el compostaje cinco de estos países son latinoamericanos Chile (CHL), México (MEX), Brasil (BRA), Costa Rica (CRI) y Colombia (COL), todos ellos con ingresos per cápita menores a 18.1 mil dólares al año. Véase Gráfica 1.5.

Gráfica 1.5. Compostaje, 2010 (%)



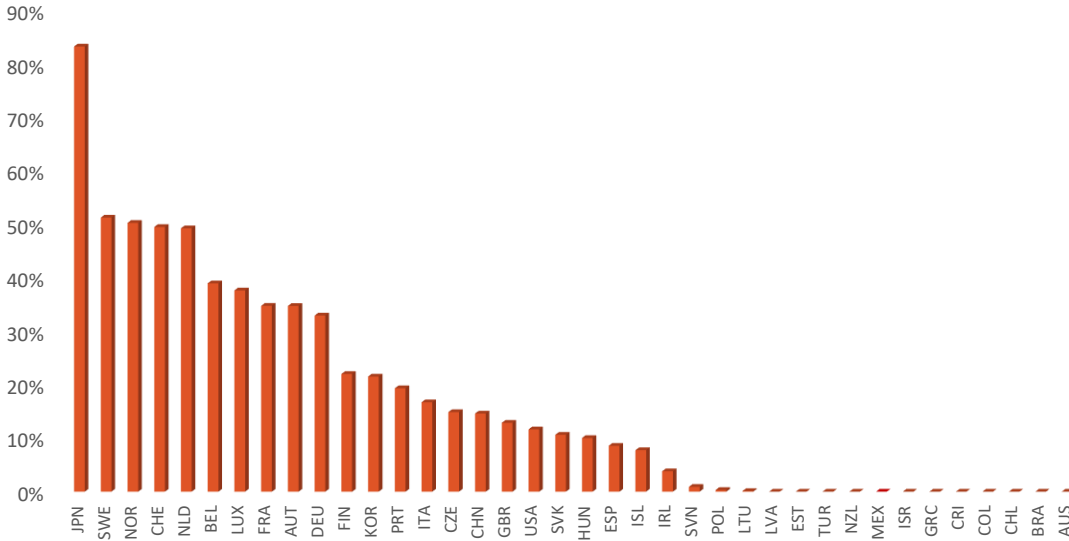
Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

Para la gestión o tratamiento de los residuos inorgánicos existe la incineración, el confinamiento o disposición final, el reciclarje, la recolección, la selección, la venta de los desechos y el aprovechamiento energético de algunos materiales o bien una combinación de los tratamientos anteriores.

En la Gráfica 1.6 se observan el tratamiento de la incineración para los países del grupo de la OCDE, se puede asegurar que es una práctica no muy común, sin embargo, hay países con altos porcentajes de uso como es el caso de Japón (JPN) quién quema 83% de la generación de sus residuos inorgánicos, los cuatro países con mayor incineración del grupo de la OCDE son países europeos comenzando con Suecia (SWE) 51%, Noruega (NOR) y Suiza (CHE) que incineran 50% y los Países bajos (NLD) con 49%, todos ellos con ingresos entre 42.2 y 57.9 mil de dólares per cápita anuales.

En contra parte, los países de este grupo que no utilizan la incineración, pero que tratan de otra forma sus residuos inorgánicos son: Polonia (POL), Lituania (LTU), Latvia (LTV), Estonia (EST), Turquía (TUR), Nueva Zelanda (NZL), Grecia (GRC), todos estos con ingresos menores a 31.5 mil dólares per cápita anuales, la excepción es Australia (AUS) que tiene ingresos de 42.7 mil dólares; y de la países latinoamericanos Costa Rica (CRI), Colombia (COL), Chile (CHL), Brasil (BRA) y México (MEX) con ingresos per cápita menores a 18.5 mil dólares anuales.

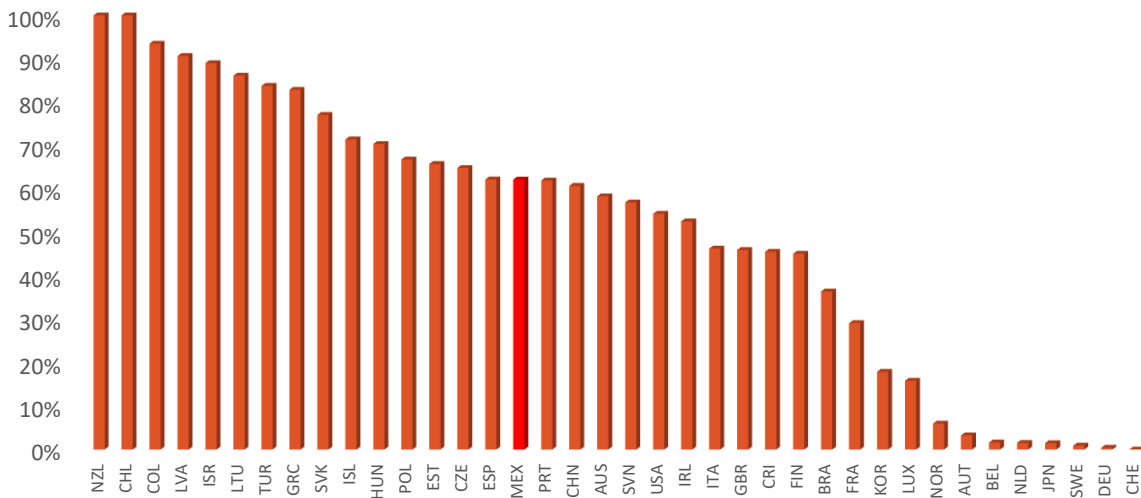
Gráfica 1.6. Incineración, 2010 (%)



Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

La disposición final es la práctica más común de tratar los desechos encabezada por Nueva Zelanda (NZL) con ingresos de 31.2 mil dólares per cápita anuales y Chile (CHL) con 18.1 mil dólares per cápita anuales que entierran 100% de los residuos generados, Colombia (COL) dispone 93%, Latvia (LVA) 91% ambos países con ingresos menores a 18.2 mil dólares per cápita anuales, Israel (ISR) confina 89% de sus residuos a pesar de que su ingreso per cápita es mayor 28.5 mil dólares. Por otro lado, se encuentran los países que no entierran sus residuos, países europeos, como Alemania (DEU) y Suiza (CHE) con ingresos per cápita de 39.5 y 53 mil dólares, respectivamente, y los países con un porcentaje de disposición final muy baja con menos del 2% son todos europeos excepto JPN, comenzando por Suecia (SWE), Países Bajos (NLD) y Belgica (BEL) con ingresos que van de 39.8 a 45 mil dólares per cápita y Japón (JPN) con ingresos per cápita de 35 mil dólares, ligeramente por encima al promedio del grupo. Véase Gráfica 1.7.

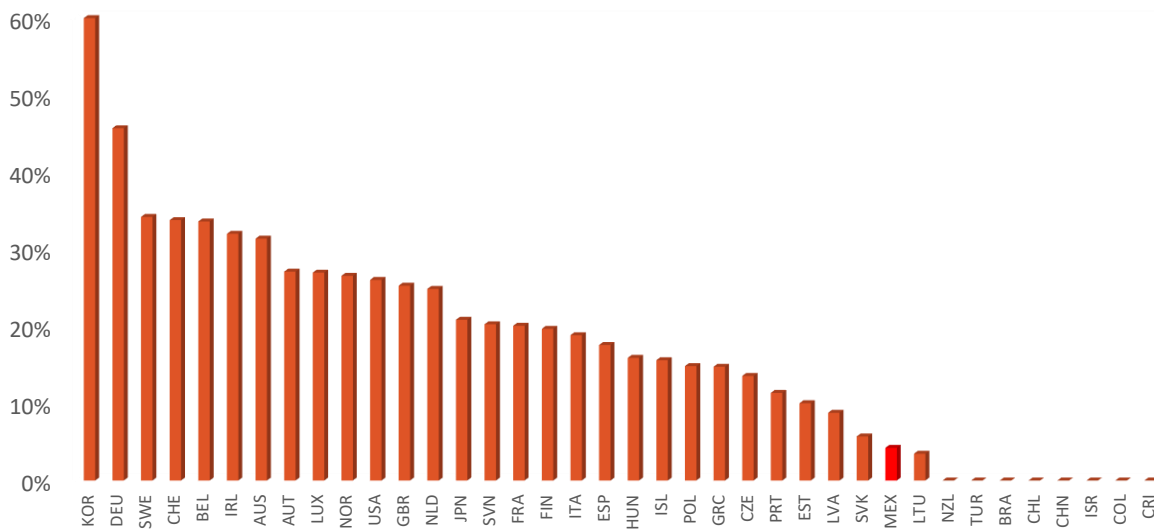
Gráfica 1.7. Disposición final, 2010 (%)



Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

El tratamiento del reciclaje es un procesamiento que implica clasificar los residuos con valor económico para ser reincorporados como materia prima en otro proceso productivo o el propio proceso (es el caso del aluminio y el PET). En la Gráfica 1.8 encontrar a los países del grupo con mayores índices de reciclaje como son: Korea (KOR) que recicla 60% y tiene ingresos cercanos al promedio del grupo OCDE de 31.7 mil dólares anuales, además cuatro países europeos, Alemania (DEU), Suecia (SWE), Suiza (CHE) y Bélgica (BEL) con ingresos per cápita superiores al promedio del grupo, entre 39 y 53 mil dólares, reciclan de 34 a 46% de sus residuos. En oposición a los países que no reciclan Nueva Zelanda (NZL) y Turquía (TUR) con ingresos per cápita de 17.2 y 31.1 mil dólares; los países asiáticos Israel (ISR) y China (CHN) con ingresos per capita por debajo del promedio del grupo OCDE 28.8 y 9.2 mil dólares, respectivamente. Los países latinoamericanos que tampoco reciclan son Brasil (BRA), Chile (CHL), Colombia (COL) y Costa Rica (CRI) y mantienen ingresos per cápita menores a 14.3 mil dólares, excepto CHL que tiene un ingreso per capita de 18 mil dolares anuales.

Gráfica 1.8. Reciclaje, 2010 (%)



Fuente: Elaboración propia con base a OCDE

Resulta interesante comparar las decisiones de tratamiento de los residuos en tres economías completamente diferentes como lo son: México, Japón y Estados Unidos para ello se comparan la variable generación de residuos y algunas variables socioeconómicas como: ingresos, inversión, población y densidad poblacional.

En el caso específico de México (MEX) que genera 351 ton/ anuales de residuos por habitante, una cantidad muy parecida a la generada por Japón (JPN) 353 ton/anuales por habitante. A pesar de la similitud en la generación los países han tomado caminos diferentes; JPN incinera 83% de sus residuos mientras MEX entierra 62% de su generación; JPN recicla lo que no incinera de sus residuos, tratando el 100% de su generación. Mientras MEX solo recicla el 4%; en suma MEX trata 66% de sus residuos, pero no sabemos que sucede con el 34% de los residuos que no son incinerados, ni confinados, ni reciclados.



El ejemplo contrario es Estados Unidos (USA) que genera dos veces lo que MEX, 731 ton/anuales per capita, la gestión que realiza a sus residuos se basa en la disposición final, como lo hace MEX, más de la mitad de los residuos tratados son confinados (54%) y un cuarto de los residuos son tratados por reciclaje (26%), un reciclaje mayor al que realiza MEX, incinera 12% de sus residuos y compostea el resto, tratando 100% de su generación.

El tipo de tratamiento que realizan las naciones a sus residuos va acompañada de las características sociodemográficas y económicas, en la Tabla 1.2.A del anexo se encuentran las densidades de todos los países; en la siguiente Tabla se observa que en JPN hay una densidad poblacional mayor a la de MEX y USA, la escasez de tierras incentiva el uso de tratamientos alternativos, como la incineración, sin hacer uso de métodos extensivos en tierras, como lo es la disposición final, JPN incinera tres cuartas partes de sus residuos, sin utilizar extensiones grandes de tierra. Muchos países desarrollados optan por la incineración especialmente en donde la tierra es escasa o prohibitiva en precio (Massoud, 2002).

La producción per capita en USA y JPN es siete y cuatro veces, respectivamente, más grande que la producción en MEX el ingreso disponible debería definir las decisiones de tratamiento de los residuos, de tal forma que en MEX las decisiones deberían de tomarse con base al costo de oportunidad entre el tratamiento de los residuos cuidando los recursos disponibles.

En cuanto a la inversión extranjera directa es MEX quién recibe la mayor cantidad de capital en proporción al PIB, 2.2%, lo que implica mayores incentivos para generar atracción de capital como salarios bajos, leyes ambientales laxas, bajas regulaciones y bajos o nulos impuestos.

Tabla 1.2. Variables socio económicas de MEX, JPN y USA

Indicador	México	Japón	Estados Unidos
Generación (ton/anuales)	40,059	45,359	227,749
Por persona (ton per cápita)	351	353	731
Densidad de población (personas por kilómetro, 2018)	64.9	347.1	35.7
PIB per cápita (US\$ a precios actuales, 2019)	9 863.1	40 246.8	65 280.7
Inversión extranjera directa, entrada neta de capital (% del PIB)	2.2	0.7	1.4
Crecimiento poblacional 2019, %	1.1	-0.2	0.5

Fuente: Elaboración propia con base a Banco mundial

Por otro lado, se analizará el consumo por considerarse una de las variables determinantes en la generación de residuos y en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, en los mismos tres países en la Tabla 1.3 mostramos los productos, carne, papel, agua y petróleo, que dan cuenta del nivel de consumo de recursos naturales, así como la generación de emisiones.

El consumo de carne es un indicador de desarrollo de un país debido a que su consumo genera importantes niveles de proteínas, vitaminas, minerales y micronutrientes, esenciales para la vida. Según la FAO, el indicador cárnico de un país desarrollado es de 76 kg al año; menor de 33 kg es indicador de un país en vías de desarrollo. En ese sentido los tres países podrían ser considerados desarrollados, sin embargo, USA tiene una producción de casi el doble de la de MEX y JPN teniendo un ingreso per cápita cuatro veces mayor a MEX tiene un menor consumo de carne. El consumo de carnes además de ser un indicador de desarrollo económico, también está directamente relacionado con las emisiones de

metano y CO<sub>2</sub>, así que, un mayor consumo de carne se traducirá en una mayor generación de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El consumo de papel también es utilizado como un “indicador de desarrollo”, cuando en realidad es un indicador de despilfarro de los recursos naturales. La fabricación de papel contamina tremendamente, aunque no todo el papel tiene el mismo impacto ambiental, ya que los procesos de elaboración y su ciclo de vida son variables. Incluso afectan al medio ambiente desde la siembra de árboles ya que algunos bosques certificados no son tan sostenibles como parecen, aunado a que el uso de la tierra compite con la siembra de otros recursos como ganaderos y agrícolas, sumándole el uso de herbicidas (Greenpeace, 2004). El consumo per cápita de papel en MEX es tres veces menor que en USA y dos veces menor que el consumo en JPN, esto explicaría, que en ambos países el reciclaje es mayor que en MEX y también que el impacto ambiental por el consumo de esos recursos es mayor en esos países que en MEX.

En cuanto a consumo de agua MEX y JPN tienen indicadores muy parecidos, sobre todo, si se considera que un sexto de la población mundial no tiene acceso al servicio, en comparación con USA que tiene un consumo per cápita de más del doble de lo que consumen MEX y JPN, la suma del consumo de ambos países no llega a cubrir el consumo per cápita de los habitantes de USA.

También, el consumo de petróleo es un indicador de desarrollo y generación de emisiones contaminantes y de residuos, en promedio cada ciudadano del mundo consumió alrededor de 1,922 kg equivalentes, en este contexto MEX está por debajo del promedio mundial, lo que no significa que la generación de residuos derivados de petróleo se encuentre por debajo del promedio mundial; JPN es de los países con mayores niveles de consumo de petróleo, a diferencia de MEX y JPN que incineran y reciclan sus residuos, pero su consumo es apenas la mitad de lo que consume USA.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> llevan la tendencia del indicador de consumo de petróleo MEX emite un medio de las emisiones de JPN, la misma tendencia de consumo de petróleo, y JPN es casi la mitad de las emisiones de USA. En este marco, la generación de residuos sólidos es responsable de 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero (INECC, 2015).

Tabla 1.3. Consumo per cápita de recursos producción y residuos

Recursos	México (MEX)	Japón (JPN)	Estados Unidos (USA)
Carne (kg, 2019)	69	55	119
Papel (kg, 1991)	100	234.7	302.3
Agua (m <sup>3</sup> , 2016)	678.8	624.7	1,582
Petróleo (kg equivalentes, 2015)	1 537.3	3 428.5	6 803.9
Emisiones de CO <sub>2</sub> (ton m <sup>3</sup> , 2016)	3.9	8.9	15.5

Fuente: Elaboración propia con base a Consejo mexicano de la carne, Greenpeace México, AQUAE Fundación, Banco Mundial

## Marco Teórico

### 1.3.1 Los residuos sólidos y las teorías

En esta sección se hace una revisión de la literatura económica y la problemática de los residuos sólidos; partiendo de la premisa de que la vida humana requiere de la relación con la naturaleza y las actividades más esenciales como comer, abrigarse, reproducirse y hasta morir; requieren de la explotación de los diferentes ecosistemas para hacerse de recursos naturales (agua, aire, petróleo o gas natural, tierra) generando desequilibrios ambientales, aunado, a la generación de deshechos que regresan al entorno natural y forman contaminación y degradación ambiental.

Para el problema de la generación de residuos existen tantas soluciones como marcos teóricos, estas pueden ser tan variadas como la implementación de instrumentos económicos o de instrumentos de regulación; cotejo de balances de energía y de eficiencias energéticas; uso de tecnologías alternativas bajas en emisiones de carbono; sustitución de procesos de alta emisión; optimización de espacios; reúso de residuos valorizables; tecnificación de procesos; disminución de la producción y el consumo; entre otras. En la Tabla 1.4 se pueden revisar las diversas teorías, el autor y la conceptualización de los residuos.

Tabla 1.4. Concepto de residuos sólidos de las diferentes teorías

Teoría	Autor	Descripción
Economía ambiental		Los residuos son una externalidad negativa de la actividad económica
Economía ecológica	Georgescu-Roegen (1971) Molina (2018)	Los residuos son resultado del procesamiento de materia/energía de baja entropía que regresa al sistema como materia/energía de alta entropía
Economía verde	(Peiry, 2016)	Los residuos sólidos son un contaminante que en su gestión genera emisiones de carbono, además de acentuar la inequidad social.
Eco-urbano	Lin G, (2020)	Los residuos son un problema de desorden en el espacio
Economía circular	(Lin, 2020)	Los residuos son vistos como una oportunidad de materia prima secundaria para un segundo proceso productivo
Ciudades sostenibles	Staniunas (2012)	Los residuos son un problema de falta de planificación y rezago tecnológico
Ecología política	Robbins (2012)	La gestión de los residuos es el resultado de la interacción de los factores políticos, económicos y sociales
Límites del crecimiento	Meadows (1972)	Los residuos son un componente negativo que compite con otros recursos por el uso de la tierra o mares

Fuente: Elaboración propia

### 1.3.2 Economía Ambiental y los residuos

La economía ambiental estudia problemas de explotación de ecosistemas y generación de desechos, el objetivo de la economía ambiental es mantener el equilibrio del uso de los recursos naturales y el impacto ambiental en la producción de los bienes y servicios. Considera la calidad ambiental como un servicio público, debido a los beneficios externos que generan los recursos de propiedad común (como la calidad del aire, el agua, los bosques, mares, ríos, etc.) que no pueden depender de los mercados para suministrar niveles eficientes del servicio de calidad ambiental, ya que muy frecuentemente no existen mercados de servicios ambientales, o bien, porque los mercados que existen no son eficientes.

### 1.3.2 Economía Ambiental y los residuos

El Mercado de los residuos sólidos y de la GRSU

El mercado de bienes y servicios de limpia es ineficiente como lo expresan algunos autores “el servicio de limpia es incapaz de regir óptimamente la explotación del medio ambiente debido a que cuenta con las características de un bien público puro (no-exclusión y no-rivalidad en el consumo). El servicio de limpia de residuos no tiene un mercado explícito, por lo tanto, no es posible fijar un precio, lo cual lleva al sobreuso y por consiguiente a la degradación del servicio ambiental. La calidad ambiental es esencialmente un bien público ya que es un recurso de libre acceso, es decir, un recurso accesible sin control alguno para los individuos y no hay manera de asegurar que su índice de utilización se mantenga hasta el nivel que maximiza su valor global. El resultado de considerar el servicio como un bien público provocó una tasa de uso más alta que la que se requiere para alcanzar la eficiencia social” (Ibarrarán, 2003).

Lo que describe Islas es el sobreuso en los vertederos y la tasa de crecimiento en la generación de los residuos resultado de la falta de mercados que regulen el exceso de residuos que no pueden ser absorbidos por la naturaleza, sin embargo, lo que describe el autor es una visión general, porque los desechos no son todos iguales, no se les puede entender como la ineficiencia de un mercado o la falta del mismo porque los desechos se caracterizan por su valor económico y de eso depende la existencia de los mercados; en este documento caracterizo tres tipos de bienes en los desechos en busca de mercados; porque el mercado de residuos en general, no existe.

Al menos no para todos los residuos, los desechos no valorizables (como ciertos tipos de plásticos, embalajes, uncel, desechos de construcción, residuos hospitalarios, residuos contaminados o tóxicos, etc.,) no encuentran un demandante debido a que el costo de reintegrarlo a la economía es más costoso que el costo enterrarlo o incinerarlo.

Por el contrario, existe otro tipo de residuos que tienen potencial de uso, como los residuos orgánicos que se utilizan en la generación de energía eléctrica, o para compostaje en el uso agrícola y de jardines, a pesar del potencial de uso encontramos defectos en los sistemas de asignación de precios generado por la regulación que rige las transacciones evitando la posibilidad del mercado eficiente.

Los mercados existen para aquellos residuos valorizables como el cartón, el vidrio, el aluminio, el papel, PET, entre otros, en donde el demandante será el productor de un determinado bien y el oferente será

el propietario de los derechos (municipio, pepenador, particular). Desafortunadamente en este trabajo no se analizará el mercado de los residuos reciclables para ello se recomienda revisar (Expósito, 2018) (Matter, 2015) (Jesson, 2009) (Walls, 2003) (Reschosvky, 1994); en este trabajo se analizará el mercado del servicio en la administración de los residuos sólidos urbanos (GRSU).

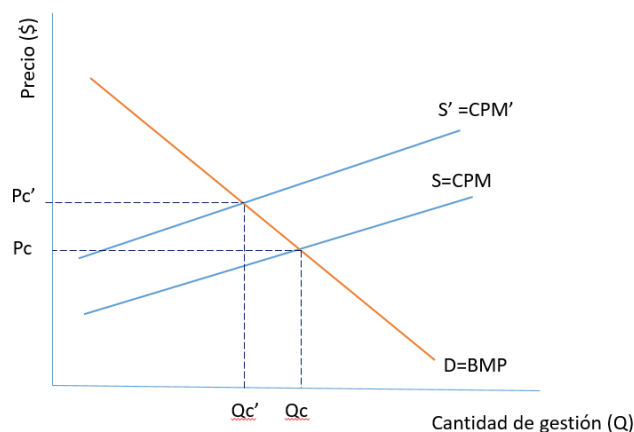
### 1.3.2.1. El mercado de los residuos y de la GRSU

El mercado de la GRSU podría estar en cualquier actividad de la administración de los residuos sólidos (recolección, transporte, selección, compostaje y disposición final), puede existir en alguna de las actividades o en toda la cadena de GRSU. Por ejemplo: la oferta del servicio (S) representa las decisiones de empresas privadas bajo contratos celebrados con municipios, quienes proveen el servicio, en este mercado los costos de producción reflejan los gastos de operación en camiones recolectores, manejo de disposición final, plantas de selección, etc., y los factores que afectan la oferta sería la disponibilidad de tierras y la regulación gubernamental.

Por otro lado, la demanda (D) estaría representada por las decisiones de compra de la GRSU, es decir del tipo de tratamiento que se les daría a los residuos, la logística en la recolección e incluso en la cantidad de residuos administrados, la demanda respondería al precio del tipo de administración que se decida realizar.

El modelo de mercado se puede observar en la Figura 1.1 en donde la demanda del servicio es igual a los beneficios marginales privados (BMP) y la curva de la oferta es igual a los costos marginales privados (CMP), en el cruce se define el precio de equilibrio competitivo ( $P_c$ ) y la cantidad de equilibrio ( $Q_c$ ). Si por alguna razón se pusieran reglas más restrictivas para el tratamiento de los residuos, la curva CPM se desplazaría arriba  $CPM'$  elevando el precio a  $P_c'$  por lo que disminuiría la cantidad a  $Q_c'$ . Ese decrecimiento de los servicios de GRSU, provocaría que se buscarán estrategias de reducción como producir con menos materiales, utilizar materiales nuevos, usar estrategias de reciclaje o generar tiraderos clandestinos.

Figura 1.1. Mercado eficiente del servicio de GRSU



Fuente: Elaboración propia con base a Thomas & Callan, 2007

El modelo de mercado de la GRSU descrito en la Figura 1.1 no tiene fallas de mercado, no hay externalidades negativas y el precio refleja la generación de residuos, por lo tanto, los mercados de GRSU lograrían una solución eficiente.

### 1.3.2.2 Fallas de mercado

El modelo de mercado eficiente descrito en la figura de arriba, no es la que se vive en el caso de los residuos, ya que la generación de residuos y la gestión de los mismos genera contaminación en agua, suelos y aire, lo que convierte el mercado de la GRSU (suponiendo que hay mercado) en ineficiente y la existencia de mercados ineficientes se debe principalmente a dos problemas: 1) la generación de externalidades negativas y 2) una administración deficiente.

Las fallas de mercado surgen cuando un mercado no organiza de manera eficiente la producción o asignación de recursos, algunas de las causas de los fallos pueden ser: externalidades, información asimétrica, competencia imperfecta y bienes públicos. En las siguientes secciones se revisarán solo dos fallas de la gestión de residuos sólidos: las externalidades negativas y los bienes públicos.

### Externalidades y valoración económica

Una externalidad es definida como la afectación en la utilidad o producción de un agente económico sobre terceros, de tal forma que dicha afectación genera costos que no se aplican en los precios del mercado (Just, 2004). También se entiende como externalidad a los costos reales que no se encuentran dentro de los costos de producción, son parte del exterior de las transacciones de mercado y no están capturadas en el precio del bien o servicio que ofrecen.

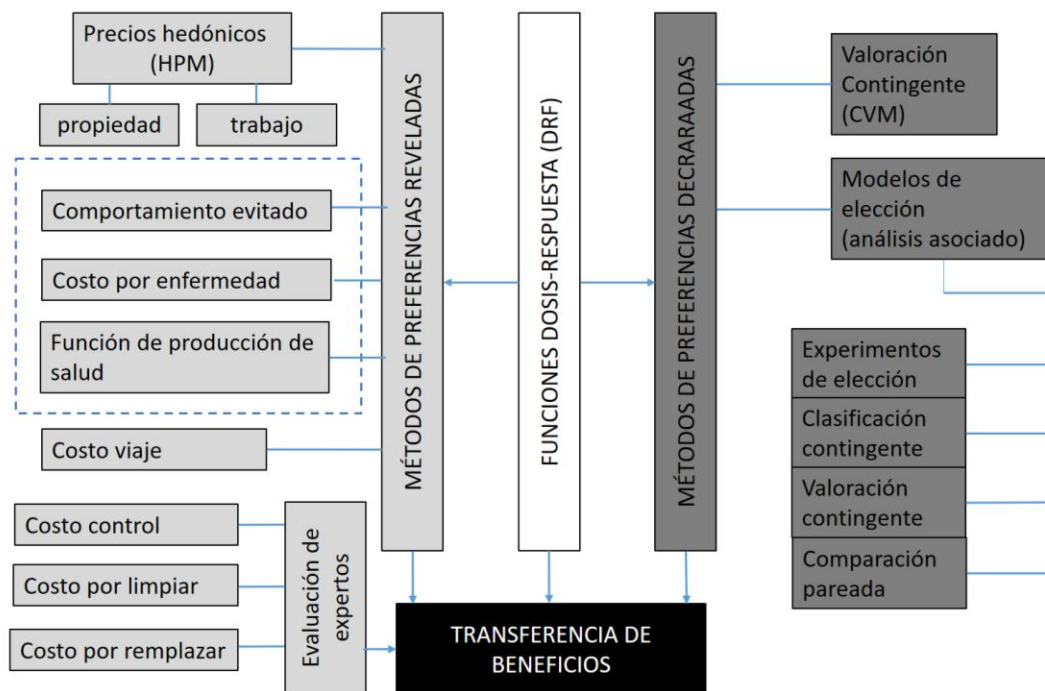
Las externalidades surgen de diversas actividades durante el ciclo de vida de un producto: producción, transporte, uso y eliminación. Estas externalidades crean numerosos factores globales, regionales y alteraciones locales, como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación del aire como el metano, generada por la descomposición de los residuos, también se generan emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte de los residuos, por emisiones en la incineración de los desechos, en suelos y escurrimientos de lixiviados en cuerpos de agua; producción de ruido, olor e intrusión visual. Todos estos impactos son externalidades que pueden causar, cambio climático, efectos en la salud, y daños a cultivos, entre otros efectos nocivos.

Calcular los efectos negativos en la producción y reproducción de la gestión de los residuos sólidos requiere de métodos de valoración de las externalidades; estos métodos se pueden dividir de dos formas: preferencias reveladas y preferencias declaradas. El primer método utiliza datos que revelan el comportamiento actual de los individuos en la toma de decisiones. Por otro lado, el método de preferencias declaradas utiliza datos que reflejen lo que los individuos harían ante alguna situación hipotética construida por el investigador. Ambos métodos se apoyan del análisis estadístico y muestreo

para realizar encuestas y cuestionarios que permitan recopilar información de las variables que explican la utilidad de las distintas elecciones.

En la Figura 1.2 se pueden observar los dos métodos de valoración económica: preferencias reveladas y preferencias declaradas y aun costado las técnicas que se utilizan en cada método.

Figura 1.2 Métodos y técnicas de valoración económica



Fuente: Tzipi, 2005

## Bienes Públicos

La segunda falla del mercado que se revisará aquí son los bienes públicos, definidos como aquellos bienes que no rivalizan y/o excluyen (Samuleson, 1954). Dicha falla puede generar alguno de los siguientes problemas; por un lado, ineficiencias de Pareto si existe producción insuficiente en el bien público, o puede generar un problema de acción colectiva, esto es, se genera un uso excesivo de un recurso de propiedad común.

La naturaleza de los bienes públicos hace difícil, si no imposible, que su asignación se rija por el funcionamiento del mecanismo de precios, de ahí la falla de mercado, ya que siempre habrá individuos que se beneficien de los bienes sin contribuir proporcionalmente al esfuerzo social. “Aunque moralmente (y a veces incluso legalmente) condenable, la alternativa de "free rider" es la más racional, desde el punto de vista individual, sin embargo, esta alternativa conduce a una solución no racional (desventajosa) para todos” (Gheorghiu, 2013).

Dentro de los bienes públicos hay dos tipos; los bienes puros y los bienes mixtos. Los bienes públicos puros no son rivales, lo que significa que el uso de estos bienes de una persona no es a expensas de otra. Como resultado, tales bienes no tienen valor y no prestan ninguna cesión de derechos de propiedad y provisión privada (Webster & Lai 2003). Por otro lado, los bienes mixtos son aquellos que tienen una mezcla de características de bienes privados y bienes públicos puros, se definen como aquellos que no pueden ser consumidos en cantidades iguales, y que su consumo disminuye la cantidad del bien disponible para otras personas (Samuelson, 1955), ejemplos de estos bienes son: los servicios de bomberos, la protección policial, la administración de justicia, los parques públicos, las carreteras, la educación y el estacionamiento.

El hecho de que un bien sea tratado o no como un bien público puro o como un bien mixto depende de si se puede definir o no una unidad de consumo individual, y el consumo puede, en principio, ser controlado por el consumidor (Holtermann, 1972).

Tal vez, la preocupación más importante con respecto a los bienes públicos está relacionada con quién debería estar a cargo de su producción y provisión, un debate sobre el que no se ha llegado a un punto de vista unánimemente aceptado ni en los ámbitos académicos ni en los políticos (Gheorghiu, 2013).

### 1.3.2.3 Instrumentos que internalizan externalidades

Hay dos tipos de instrumentos; el de comando y control y los instrumentos económicos; los primeros son más parecidos a los propuestos por Pigou instrumentos que obligan a los agentes económicos a actuar (o no actuar) de una determinada forma. Los instrumentos económicos permiten al agente económico elegir qué es lo mejor para ellos, incentivando su comportamiento a través de algún mecanismo de precios o un mecanismo de regulación.

Los instrumentos de regulación son llamados de comando y control y generalmente se utilizan estándares o cuotas de la externalidad, por otro lado, los instrumentos económicos pueden ser de tres tipos: 1) generadores de ingresos, 2) aportadores de ingresos o 3) sin generación.

### Pigou y la regulación: propuestas para corregir las externalidades negativas

El impuesto pigouviano, propuesto por Pigou en 1920, predecesor del actual impuesto ambiental y precedente del principio “el que contamina paga”, este impuesto pretende internalizar las externalidades generadas a través del sistema de precios, pretende hacer un contrapeso al incrementar el costo marginal privado de las empresas contaminantes de tal forma que los agentes económicos se responsabilicen por el costo externo que trasladan a la sociedad.

La idea del instrumento de regulación es limitar la cantidad de contaminación que emite una empresa en el lugar en el que le resulte conveniente contaminar hasta el punto que le sea más barato pagar un impuesto que modificar sus procesos adoptando nuevas tecnologías; dichos instrumentos son: 1) estándares ambientales, 2) estándares de emisiones y 3) estándares tecnológicos.



## Instrumentos económicos

Los instrumentos económicos funcionan como incentivos para influir en el comportamiento de los agentes económicos, por medio del precio provoca un comportamiento específico dependiendo de qué tan caro es comportarse de una u otra forma; estimulan o desincentivan el interés personal (consumidores, productor o prestadores de servicios) para hacer mejoras ambientales o para reducir las consecuencias ambientales.

Los instrumentos de comando y control funcionan como prohibiciones, requerimientos y normas que se establecen y se vigilan, en contra parte, los instrumentos económicos tienen la intención de influir en el comportamiento de los agentes por medio de informarlas y educarlas (GIZ, 2010). En la Tabla 1.5. se observan los tipos de instrumentos y cómo se utilizan en el tema de residuos sólidos y su gestión.

Tabla 1.5. Instrumentos económicos y de regulación

Tipo de instrumento	Instrumento	Característica	Uso en la GRSU
Que generan ingresos	Tarifas para cubrir costos	Se atribuyen a un servicio o acto de contaminación específico para generar ingresos	Se aplica una tarifa al generador del residuo
	Impuesto de incentivo	Se gravan sobre la contaminación o el consumo de recursos, con el objetivo de cambiar el comportamiento de los productores y/o consumidores.	Impuesto a rellenos sanitarios.
	Impuestos ambientales	Se gravan sobre la contaminación o el consumo de recursos, pero principalmente con el objetivo de recaudar ingresos.	Tarifas por reciclaje avanzado.
Que aportan ingresos	Subsidios directos	Instrumentos que absorben una parte del precio de un bien, servicio o tecnología para incentivar su utilización, logrando derribar barreras de entrada.	
	Exenciones fiscales	Se utilizan como incentivo para fomentar el uso de cierto bien con características amigables al medio ambiente	
Que no generan ingresos	Comercialización de permisos entre los contaminadores	Promueve mejoras ambientales en donde el competidor es más eficiente.	1. Intercambio de cuotas para rellenos sanitarios 2. Sistema de depósito reembolso

Fuente: elaboración propia con base a (GIZ, 2010) y (Ulloa, 2004)

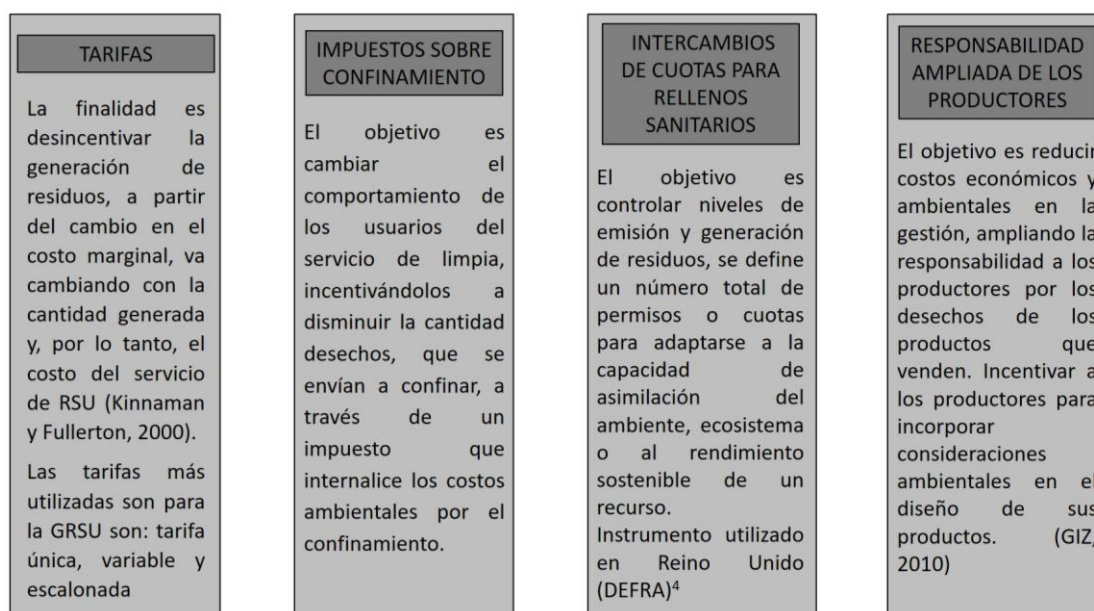
Los instrumentos económicos permiten un mayor grado de libertad a los agentes económicos para hacer mejoras ambientales de la manera que mejor les convenga, en términos de eficiencia en costo. Además, tienen como ventaja que los costos de transacción de los instrumentos económicos son

menores que los costos de transacción asociados al cumplimiento de los instrumentos de comando y control.

Una de las críticas más importantes a “los instrumentos económicos (con la excepción de los esquemas de comercialización de certificados) es que no sirven para limitar comportamientos dañinos para el ambiente. Mientras que los instrumentos de comando y control tienen el potencial de prohibir ciertas prácticas, los instrumentos económicos únicamente crean incentivos para hacer que estas prácticas sean menos atractivas” (GIZ, 2010).

En la Figura 1.3 se describirán los instrumentos económicos más utilizados para resolver los problemas generados por las externalidades negativas de los residuos sólidos y la gestión de los mismos.

Figura 1.3 Instrumentos económicos para internalizar externalidades en la GRSU



Fuente: Elaboración propia

Nota: DEFRA<sup>3</sup>

### 1.3.3 La nueva economía Institucional y la GRSU

La nueva economía institucional es una corriente del pensamiento económico que argumenta que las instituciones son clave para explicar las decisiones de los agentes económicos, esta corriente nace de la necesidad de dar una respuesta a las limitaciones de la economía clásica. Sus principales actores y su contribución están en (Coase, 1960), (Stigler, 1961), (Alchian, 1965) seguido por una segunda oleada de esta corriente (Demsetz, 1967) y (Williamson 1985).

Douglas define a las instituciones como “las reglas del juego de una sociedad o más formalmente son las limitaciones ideadas por la humanidad que estructuran la interacción humana”. Las instituciones

<sup>3</sup><https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110318175955/http://www.defra.gov.uk/environment/waste/localauthorities/documents/latsfaq-03.pdf>

están integradas de normas formales (ley estatuto, derecho común, reglamentos), restricciones informales (convenciones, normas sociales de comportamiento, y códigos de conducta autoimpuestos) que determinan el desempeño económico (Douglas, 1993). Por lo tanto, las instituciones estructuran los incentivos en el intercambio humano, ya sea en lo político, lo social o lo económico (North, 1993).

Cuando las actividades de un agente económico afectan a las de otro agente de una manera que no se refleja en las transacciones de mercado (Nicholson, 1997), generan costos que no se expresan en los precios del mercado de la economía y los asume la sociedad, como la contaminación ambiental. Estos costos externos son parte de los costos de transacción, cuya dificultad radica en que los desechos no tienen un mercado, los derechos de propiedad no están definidos, por lo tanto, los contratos que se pueden presentar serán imperfectos.

El objetivo de las instituciones en la GRSU será reducir la incertidumbre del intercambio en la sociedad fortaleciendo los mercados. Las reglas formales en la gestión serán las leyes, normas y reglamentos que regulan a los residuos, las reglas informales sería el pago de trabajadores voluntarios a través de propinas y la apropiación de los residuos valorizables, la existencia de mercados negros que compran material valorizable de dudosa procedencia y las relaciones de los pepenadores con su líder también sería una regla informal.

## Teoría de Costos de transacción

Uno de los postulados centrales del institucionalismo es la teoría de costos de transacción, que se define como el costo de lograr y ejecutar acuerdos; una de las críticas del institucionalismo a los instrumentos económicos es la brecha que puede abrirse y que aprovechan los corruptores; algunos ejemplos: el pago de un abogado en el convenio entre dos empresas, los trámites para abrir un negocio, el pago de impuestos, etc., todos estos costos abren la oportunidad para la corrupción, habrá agentes económicos que estén dispuestos a facilitar los trámites, evadir pago de impuestos o cualquier tipo de facilidad en las transacciones.

Coase asevera que en menor presencia de costos de transacción, siempre y cuando los derechos de propiedad de un bien estén establecidos, se llegará a una solución económica más eficiente; critica la intervención del Estado propuesta por Pigou para corregir las externalidades, y plantea evaluar los costos de transacción de cada posible solución, al detectar una actividad contaminante, puede solicitarse al agente económico en cuestión el pago de un impuesto que sea equivalente al daño causado, reubicar su actividad, o bien tolerar la externalidad, siempre y cuando la sociedad esté dispuesta a tolerarla en función de los beneficios que dicha actividad produce (Teorema de Coase).

Las fallas de mercado en la producción, el oportunismo de los actores, la especificidad de las inversiones y los problemas derivados de los derechos de propiedad promueve que los agentes económicos seleccionen arreglos institucionales para llevar a cabo sus planes de producción. La búsqueda de soluciones productivas óptimas se enmarca en una comparación entre el mercado, la intermediación comercial o los contratos de largo plazo, y se explica por las diferencias en la estructura de costos de transacción presentes en cada situación (Williamson, 1989).

## Teoría de derechos de propiedad

Los derechos de propiedad se pueden definir como la facultad de poseer alguien algo y poder disponer de ello dentro de los límites legales (RAE); estos deben satisfacer tres condiciones: 1) ser claramente definidos ejecutables y transferibles, 2) debe haber un sistema eficiente y competitivo que facilite la negociación en el uso de los derechos de propiedad, 3) debe haber un conjunto completo de mercados (Barry, 1998).

Para Demsetz, existen tres formas de poseer derechos de propiedad; la propiedad comunal, la propiedad privada y la propiedad estatal, véase Tabla 1.7. El uso de alguna de las figuras mencionadas tiene que ver con el propósito que se desea alcanzar, lo que implica diferencias en el comportamiento de los agentes y métodos distintos con la finalidad de alcanzar los objetivos deseados (Alchian ,1965).

Tabla 1.7. Formas de propiedad

Forma de propiedad	Definición
Comunal	Se presenta cuando los derechos sobre un bien pueden ser ejercidos por todos los miembros de una comunidad.
Privada	Es el sistema en el que la comunidad reconoce el derecho del propietario a excluir a otros del ejercicio de los derechos inherentes a la propiedad
Pública	Este sistema implica que el Estado puede excluir a cualquiera del uso de un derecho, en la medida en que el Estado respeta procedimientos políticamente aceptados que determinan quién no puede utilizar la propiedad de pertenencia estatal

Fuente: Elaboración propia con base a Demsetz, 1974

La importancia de los derechos de propiedad es que, si estos no existieran, tampoco habría algún incentivo para incurrir en costos de inversión, trabajo e insumos, ya que no habría ninguna recompensa razonablemente asegurada para tal acción. Además los derechos de propiedad reducen la posibilidad de la sobreexplotación de los recursos existentes. Harold Demsetz señala que los derechos de propiedad conllevan el derecho a beneficiarse o perjudicarse a sí mismo, así como a beneficiar o perjudicar a otros, otra de las ventajas de la existencia clara de los derechos de propiedad es que se desarrollan para internalizar externalidades cuando las ganancias de la internalización son mayores que sus costos (Demsetz, 1974).

En contraste, sin ninguna protección de los derechos de propiedad, es probable que los actores se encuentren en un entorno similar al dilema de los prisioneros que se asemeja a un estado de la naturaleza hobbesiano, donde todos tendrá un incentivo para cambiar su comportamiento de productivo a depredador (Justesen, 2013).

Los derechos de propiedad son seguros cuando las personas tienen derecho a lo que poseen libre de agresión por parte de otros (incluido el propio gobierno), e inseguro cuando los derechos no están claros, desprotegidos o ambos. La protección de los derechos de propiedad puede tener diferentes formas y pueden incluir un grupo de instituciones, la depredación pública y privada, por ejemplo, las

restricciones constitucionales a la expropiación ("tomas"), procedimientos parlamentarios y limitaciones en materia de impuestos (Justesen, 2013).

#### 1.3.4 Economía circular como respuesta al problema de los residuos

La economía circular es concebida como un sistema económico con un enfoque de reducir y eventualmente evitar los residuos, sigue los principios de las 3R; reducir, reutilizar y reciclar (reducir el uso de materias primas, reutilizar materiales para fabricar nuevos productos y reciclar materiales). La idea es que, a largo plazo, la cantidad de contaminación disminuya y aumenta el valor de la producción circular, un escenario de ganar-ganar para promover la protección del medio ambiente y el crecimiento económico (Lin, 2019).

Los seguidores de esta teoría consideran que es un sistema de crecimiento sostenible y teóricamente factible, aseguran que la producción económica bajo este sistema no sólo atiende al presente, a diferencia de la economía lineal o tradicional, sino que también considera el acervo productivo del futuro.

El reciclaje es el componente principal de una economía circular dejando de lado el concepto de residuo para sustituirlo por materia prima secundaria, la idea de que el valor del residuo es cero se termina, sin embargo, una de las críticas más importantes es el límite en la capacidad de recirculación de los recursos a reciclar debido a las pérdidas de material, desgaste, corrosión, no todos los residuos son valorizables y la contaminación de los componentes.

En México la economía circular ha tenido un auge importante, sobre todo, entre las empresas alimentarias que se han comprometido a reutilizar, reciclar o compostar 100% de los desechos sólidos generados después del consumo de sus productos como botellas plásticas, bolsas plásticas, empaques plásticos, entre otros. Al menos 60 empresas han firmado el Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico entre los firmantes se encuentran Nestlé, Pepsico, Arca continental, Coca cola Femsa, Walmart, Ikea, Grupo Bimbo, Chedraui, Oxxo.

PETSTART es la empresa de reciclaje de PET más grande en el mundo evitando 93% de las emisiones de CO<sub>2</sub> con el uso de resina reciclada de las botellas de PET en comparación con el uso de materia prima virgen en la producción, ahorrando en 2019, 108,421 ton de CO<sub>2</sub>e (PETSTART, 2019).

Hasta ahora los ejemplos de economía circular son a nivel microeconómico y al parecer funcionan bien, habrá que esperar la voluntad política para que los esfuerzos se realicen a nivel macroeconómico y evaluar su pertinencia.

#### 1.3.5. Límites del crecimiento y los residuos

Los antecedentes de los límites del crecimiento surgieron en 1798 con Malthus y su famoso "Ensayo sobre el principio de la población" en él explica el crecimiento exponencial de la población comparado con el crecimiento aritmético de la producción agrícola, lo que llevará inevitablemente a la pobreza.

En 1972 Dennis Meadows, junto con un grupo de científicos, publicaron "Los límites del crecimiento", la tesis central es que "en un planeta limitado, las dinámicas de crecimiento exponencial (población y producto per cápita) no son sostenibles" (Meadows, 1972). Cuando los recursos naturales, no todos son renovables, la producción agrícola está determinada por la finitud de la tierra y la competencia en la producción de otros sectores, además de la capacidad de absorción de la contaminación de los ecosistemas tiene límites de equilibrio.

En 2004, Meadows retomó la teoría de los límites del crecimiento considerando tres elementos; capacidad de carga del hábitat, proyección demográfica y proyección económica, incorporándolas a un modelo dinámico de sistemas.

Llega a conclusiones alarmantes como un agotamiento progresivo de los recursos naturales, el colapso en la producción agrícola e industrial, seguido del decrecimiento poblacional; propone una solución "el crecimiento cero" o "estado estacionario", para lograrlo Daryl (1974) propone tres reglas:

- 1) Las extracciones de recursos no deberán ser superiores a la tasa de crecimiento natural de los recursos considerados.
- 2) La tasa de consumo sostenible deberá ser siempre igual o inferior a la tasa a la que un recurso renovable lo pueda sustituir.
- 3) Para los contaminantes, la tasa de emisión sostenible será menor o igual a la tasa a la que el contaminante puede ser reciclado, absorbido o neutralizado.

Los residuos insertos en los límites del crecimiento son algo así como un obstáculo que compite en el uso de la tierra, en el caso de la disposición final, o recursos energéticos, en el caso de la incineración y que además emiten gases contaminantes al aire y con el tiempo la cantidad de absorción de los mares y lagos llegará a su límite generando desequilibrios que llevarán a la imposibilidad de cualquier tipo de vida en los océanos, lagos y ríos.

### 1.3.6 Ecología política y GRSU

La ecología política es el estudio de las relaciones entre los factores políticos, económicos y sociales con los conflictos y cambios ambientales, es una confluencia entre las ciencias sociales y los principios de la economía política (Peet and Watts, 1996). La ecología política representa una alternativa explícita a la "apolítica" ecología (Robbins, 2012).

Utilizando la definición de Robbins de la ecología política en los residuos sólidos se puede entender como la interacción de los factores políticos, económicos y sociales relacionados con los problemas de la generación y tratamiento de residuos sólidos.

Relacionando los problemas políticos como la corrupción; los problemas económicos como la falta de mercados de residuos sólidos y la información asimétrica de los consumidores al adquirir ciertos productos que al llegar al final de su vida útil pierden valor y generan degradación y contaminación; los problemas sociales de pobreza y marginación que arroja a los trabajadores de la limpieza a aceptar

condiciones desfavorables de trabajo. Aunado a los problemas de tipo ambiental como la contaminación de aire, suelo y agua que se dan por la deficiente gestión de residuos.

Existen cinco tesis que sostienen a la ecología política

1) Degradación y marginalización. El uso extensivo de tecnologías altamente contaminantes ha llevado al uso insostenible de los recursos naturales que aumenta la desigualdad en la distribución del ingreso.

La degradación por residuos se observa en el último proceso de la GRSU, la disposición final, en este punto existen grandes problemas de degradación de suelos por la filtración de lixiviados, además de generar contaminación del hábitat natural, problemas de plagas y un cinturón de pobreza en sociedades marginadas que buscan la sobrevivencia en estos lugares.

2) Conservación y control. El control o apropiación de los recursos naturales o valorables (en el caso de los residuos) ha desplazado a los pobladores originarios del área donde se ubica el relleno sanitario, se generan empleos, pero pocos y de bajos rangos.

3) Conflicto ambiental y exclusión. Acceso al medio ambiente y conflictos por exclusión. Uno de los conflictos recurrentes es la disputa por el control de los recursos, cuando estos son considerados valiosos, ya que los males se socializan y los bienes o recursos con valor económico se profanan o privatizan.

4) Agentes ambientales e identidad. Los nuevos regímenes y condiciones ambientales han creado oportunidades o imperativos para que los grupos locales se aseguren y se representen políticamente.

5) Agentes políticos y actores. Las instituciones hegemónicas y los individuos (ministerios ambientales, corporaciones multinacionales, forestales) han ganado una influencia desproporcionada al controlar y dirigir nuevas conexiones, que conducen a consecuencias no deseadas y a menudo perniciosas.

### 1.3.7 Discusión

Los residuos sólidos para la economía ambiental son considerados un problema de fallas de mercado, las fallas de mercado se corrigen a través de instrumentos económicos, las externalidades negativas en la producción o ineficiencias generadas por los “males públicos” por falta de regulación en la generación y el manejo de los RSU.

Los instrumentos económicos ofrecen varias alternativas para internalizar externalidades generadas en la GRSU, se ha comparado el resultado obtenido en la aplicación de diversos instrumentos económicos en algunos países del grupo de la OCDE como 1) el cobro de tarifas por la GRSU que han funcionado muy bien en varios países y que tienen una aceptación política elevada; 2) el impuesto a rellenos sanitarios, que tiene por objetivo incentivar a los encargados de la GRSU en disminuir la cantidad de residuos depositados en los rellenos sanitarios, ha funcionado en la cantidad de residuos enterrados; 3) el esquema de intercambio de cuotas, no ha tenido el éxito esperado, al menos en Reino Unido, si bien se redujo la cuota total de residuos enterrados se esperaba que fuera la consecuencia de una disminución en la generación de residuos, sin embargo, no fue así, si no de un inadecuado manejo de los residuos no confinados para evadir el pago de las cuotas; 4) El instrumento de depósito reembolso

tuvo un impacto significativo en las tasas de recolección y reciclaje, sobre todo si el material a reciclar paga un depósito suficientemente alto y es fácil devolver el material; 5) las tarifas por reciclaje avanzado han sido exitosas en la creación de mercados de reciclaje para residuos en donde el aprovechamiento no sería eficiente económicamente (GIZ, 2010).

A pesar de los esfuerzos de la economía ambiental para corregir las fallas de mercado, no hay instrumento económico suficiente porque algunas de las fallas están ancladas al supuesto de derecho de propiedad, que no se cumple para los desechos, por lo tanto, carece de mercado y precios.

Lo anterior es explicado por la economía institucional de la siguiente forma “en un mundo con costos de transacción nulos [lo cual no es posible] siempre se llega a la solución eficiente: las partes pueden intercambiar los derechos de propiedad correspondientes [siempre y cuando existan y estén bien definidos] y sería posible modificar las asignaciones incorporadas en leyes o sentencias por medio de arreglos entre partes. Sin embargo, esto no sucede, así que el funcionamiento de los mercados es un error puesto que “la variación de precios relativos sólo explica los ajustes dentro de un contorno institucional” (González, 1990) que no existe para los residuos.

Por lo tanto, el análisis neoclásico será insuficiente en el estudio de las variables ambientales, la incorporación del marco institucional se convierte en un elemento clave ya que los recursos ambientales no tienen instituciones perfectas, ni cuasi perfectas y es que sobre este tipo de recursos (residuos) es habitual que no existan derechos de propiedad claramente definidos.

Una nueva perspectiva surge con Meadows limitando el crecimiento y la idea central del bienestar para la economía clásica, asegura que el crecimiento no podrá seguir siendo posible como lo conocemos debido a los límites naturales del planeta; propone hacer un cambio en la forma de extraer, producir y consumir recursos naturales llamado crecimiento cero o estado estacionario. El modelo presentado en las proyecciones tiene críticas importantes; 1) la ausencia de mecanismos de control para regular la escasez, 2) hay una clara desconfianza en el avance tecnológico y 3) los supuestos utilizados en su modelo no tienen suficiente solidez (Carpintero, 1999).

Después, en la década de los 90 surgió una nueva forma de concebir el problema de los residuos como materiales reutilizables que podrían reincorporarse al sistema productivo una y otra vez; reusando o reciclando residuos; este es el modelo de economía circular, que más que un planteamiento productivo a nivel macroeconómico, es un planteamiento que hasta ahora solo se ha llevado a cabo a nivel microeconómico. Uno de los ejemplos a nivel mundial es el que sucede con la empresa más grande de reciclaje PETSTART, ubicada en México, que si bien ha logrado evitar casi en su totalidad 93% las emisiones de CO<sub>2</sub>e generadas en la producción de botellas de PET, también es cierto que las emisiones ahorradas no incluyen el transporte de los materiales reciclables que se estima recorren 3,760km para llegar a la planta de reciclaje, las emisiones generadas por el transporte son mayores que las emisiones en el proceso de reciclaje, aún sí, el balance de emisiones sigue siendo positivo en comparación al uso de material virgen, sin embargo, no son todo los sustentable que dicen ser, al aplicar el factor transporte.

En contra parte, la ecología política estudia a los residuos sólidos desde la perspectiva de modelo macroeconómico revisa como las ganancias devenidas de la explotación de los recursos se distribuyen



de forma desigual en la sociedad, y como los costos derivados de la misma explotación se socializan; la finalidad de la ecología política es proponer políticas públicas que distribuyan los recursos de manera más justa. Para el caso de los residuos sólidos esta visión de estudio sería muy apropiado para entender como un problema de residuos puede generar un grave problema de desigualdad social entre los trabajadores formales e informales de limpia, problemas de corrupción a todos los niveles, construcción de un cacicazgo por parte del líder de los trabajadores informales. La ecología política es una propuesta ya probada en algunas localidades, por ejemplo, la comunidad de la Tosepan en Puebla en donde se ha utilizado a la ecología política como un modelo asesorado exitosamente por el Dr. Toledo, sin embargo, está muy lejos de ser un modo expandible a nivel municipal, estatal o nacional; son más bien proyectos aislados no compatibles con la economía clásica.

## A manera de conclusión C1

Por mucho tiempo nos hemos equivocado con “la basura”; primero, la definición de residuo se ha considerado como un sinónimo de basura, pero, es un error; segundo, durante años se han enterrado recursos económicos y ambientales; tercero, confinar los residuos requiere de grandes cantidades de recursos económicos. El costo de oportunidad de considerar a los residuos como basura, es alto, los residuos sólidos pueden ser valorizables al menos 60% de la generación total de la CDMX (42% de residuos inorgánicos y 18% de residuos orgánicos) sin embargo, solo se aprovecha menos del 5%, al menos de forma regulada.

Además, el hueco legal en los derechos de propiedad de los residuos ha provocado graves problemas en la administración y tratamiento de los recursos. El primero, la falta de recaudación por la venta de reciclables, ya que, en lugar de percibir por la transacción de los desechos valorizables, se debe pagar para que estos se separaren, se trasporte y se entierren. Otros problemas son la informalidad de tener trabajadores “voluntarios” a los que no se les paga salario alguno, a cambio de los servicios de recolección que ofrecen, los trabajadores voluntarios hacen uso de los desechos valorizables como pago a su servicio.

Por otro lado, se comparó la GRSU de México en el grupo de la OCDE y se tienen interesantes datos, por ejemplo; que en diez años México ha pasado del número 34 en el año 2000 a la posición 30 en la generación de residuos, si bien no es de los países con mayor generación, si viene posicionándose rápidamente. Comparando Japón y México, encontramos interesantes resultados, como que los niveles de generación per cápita son similares, en cuanto a su disposición final se observa que México entierra 62% de sus residuos inorgánicos; en comparación con el tratamiento de incineración de 83% de Japón; en cuanto al reciclaje en México se aprovecha 4% de los residuos y en Japón 7%.

En cuanto a la composición de los residuos, esta ha venido cambiando de manera preocupante en 1950 5% de la generación eran desechos inorgánicos, en 1988 pasó a 44% y en 2018 a 82% de la generación de los residuos sólidos en la CDMX, lo que implica un reto mayor en el tratamiento de los residuos y el uso de materiales no renovables para su producción.

## Capítulo 2 Diagnóstico de la GRSU en la CDMX

### Resumen

El objetivo de este capítulo es conocer la generación de los residuos sólidos en las alcaldías que conforman la CDMX, entender la composición de los residuos e identificar la cantidad de residuos con potencial de reciclaje. Además, estudiar el enramado en la administración de los residuos (GRSU), identificar los puntos discordantes en la GRSU y los problemas en la logística de recolección. Finalmente, se presenta una estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la gestión de los residuos sólidos, sin contar el transporte.

### Introducción

La gestión de los residuos sólidos urbanos (GRSU) en la Ciudad de México (CDMX), se conforma de tres pasos: recolección, tratamiento y disposición final. El primer paso incluye la recaudación domiciliaria, comercial, barrido de calles y pago por derechos. El tratamiento de residuos incluye: compostaje de residuos orgánicos, selección, compactación y reciclado de residuos inorgánicos. Finalmente, la disposición es el último tratamiento de la GRSU, en los siguientes apartados se detallará paso a paso la administración de los residuos en la CDMX.

En la CDMX la generación de residuos sólidos urbanos ha pasado de 12,893 a 13,073 toneladas al día, de 2014 a 2018, para el último año 1.38 kilogramos por habitante. De los cuales 18% son de tipo biodegradable, 42% con potencial de reciclaje, 10% inorgánicos de aprovechamiento limitado y 30% manejo especial y voluminoso.

Para hacer frente al reto que implica mover 13 mil toneladas diarias, la CDMX emplea el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos, entendiéndose como el “conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final...” (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2021).

Por lo anterior, la CDMX ha generado infraestructura que le permite cumplir con la Ley, en 2018 la entidad contaba con: 12 estaciones de transferencia (ET), 2 plantas de selección (PS), 2 plantas de compactación (C), 8 plantas de composta (PC) y 5 sitios de disposición final (DF) en las afueras de la ciudad, Estado de México y Morelos.

Las Estaciones Transferencia (ET) son las instalaciones que se encargan de recopilar los residuos sólidos recolectados, éstas reciben 8,346 ton de residuos diarios, de los cuales 3,505 ton tienen potencial de reciclaje, sin embargo, solo 5% de los residuos con potencial de ser reutilizados se reciclan, 184 ton/día. Todo aquello que no encuentra un reuso, 8,107 ton/día de residuos se envían a alguno de los 5 sitios de Disposición Final (DF).

Los sitios de disposición Final (DF) son obras de infraestructura que aplican métodos de ingeniería para la correcta disposición de los residuos, que, en teoría solo se dispone de aquellos residuos que por sus

características físicas y químicas no pueden reincorporarse a procesos productivos o de mercado; actualmente se disponen 8,107 ton/día, lo que significa 62% de la generación de residuos.

La Planta de Composta (PC) es el lugar en donde se realiza el proceso de tratamiento de los residuos biodegradables susceptibles de aprovechamiento y valorización para obtener subproductos, en 2018 se trataron 1,383 ton de residuos orgánicos, que se reincorporan al ciclo productivo.

El servicio de recolección de residuos en las 16 demarcaciones se realiza a través de 2,652 camiones recolectores en 1,769 rutas que reúnen 8,730 toneladas de residuos diarios. El parque vehicular con el que se realiza la recolección tiene la siguiente característica: 40% de los camiones tienen en promedio entre 15 y 25 años, 30% del parque de recolección está entre 4 y 14 años y 30% entre 26 y 47 años.

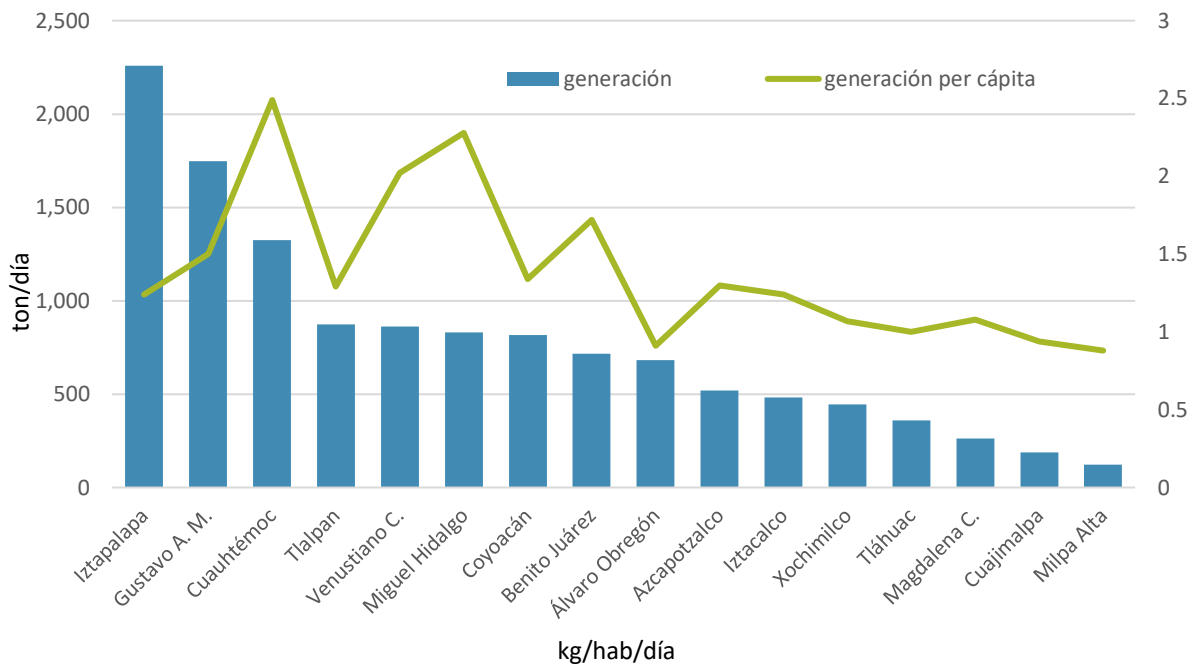
Es importante resaltar, que los datos aquí presentados se basan en información oficial publicada periódicamente por la CDMX, cabe resaltar que los datos están subestimados debido a que existe información no reportada por los agentes involucrados en la recolección, el traslado y el reciclaje; como la cantidad de residuos que llega a las estaciones de transferencia, el porcentaje de residuos reciclados, el número de camiones de traslado, el número de rutas y el consumo real de combustible.

## 2.1 Generación de residuos sólidos urbanos

La Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE), por conducto de la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU), realiza anualmente una estimación de la generación de residuos por demarcación, utilizando índices para la generación de residuos en domicilios, establecimientos mercantiles y de servicios, así como otras fuentes de generación, calculados con base en estudios realizados con anterioridad, por la misma Secretaría.

La estimación de la generación de residuos para 2018 se presenta en la Gráfica 2.1. Como podemos observar las tres demarcaciones con mayor generación son: Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc que juntas conciben 41% del total, en contraste, con las tres demarcaciones de menor generación: Milpa Alta, Cuajimalpa y Magdalena Contreras que juntas generan solo 4% del total de residuos en la CDMX.

Gráfica 2.1. Generación de residuos por alcaldía, 2018



Fuente: Elaboración propia con base a Gaceta oficial de la CDMX

De acuerdo a la estimación realizada por el gobierno de la CDMX y usando los datos de población 2015 publicados por INEGI (8,851,080 habitantes), se estima que la generación per cápita de residuos sólidos fue de 1.46 kilogramos por habitante al día (kg/hab/día), disminuyendo levemente en 2018 1.38 kg/hab/día.

### 2.1.1 Generación de residuos por tipo de fuente

El análisis por tipo de fuente, es la revisión de la generación de residuos considerando el agente causante (domiciliarios, comercios, mercados, servicios, centrales de abastos u otros agentes); éste tipo de revisión nos permite observar como en la CDMX la generación domiciliaria aporta casi 50% de los residuos totales recolectados en la ciudad, seguido de los comercios, los servicios y los mercados (25%, 14% y 11% respectivamente), solo la suma de los residuos domiciliarios y los residuos de mercados agregan 60% de la generación total véase Figura 2.1.

La corrección de la generación de residuos a través de alguna política pública o instrumento económico para disminuir la generación de residuos en la CDMX, sin duda debería comenzar por revisar el tipo de residuos que desechan los domicilios y los mercados. En la siguiente sección se revisará la composición de los residuos que se tiran.

Figura 2.1. Generación de residuos por tipo de fuente



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA,2018

### 2.1.2. Generación de residuos por composición de residuos sólidos urbanos

La composición de los residuos en la CDMX se clasifica según lo establecido en la Norma Ambiental NADF-024- AMBT 2013 sobre la separación, que a partir de julio de 2017 entró en vigor para clasificar, recolectar de manera selectiva y almacenamiento de los residuos. Dicha norma establece la responsabilidad del usuario del servicio de limpia de separar los residuos en cuatro grupos: “residuos biodegradables que serán aprovechados”, “residuos con potencial de reciclaje”, “residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado” y “residuos especiales y voluminosos”. En la Figura 2.2 se observa a detalle el tipo de residuo.

Figura 2.2 Separación primaria avanzada



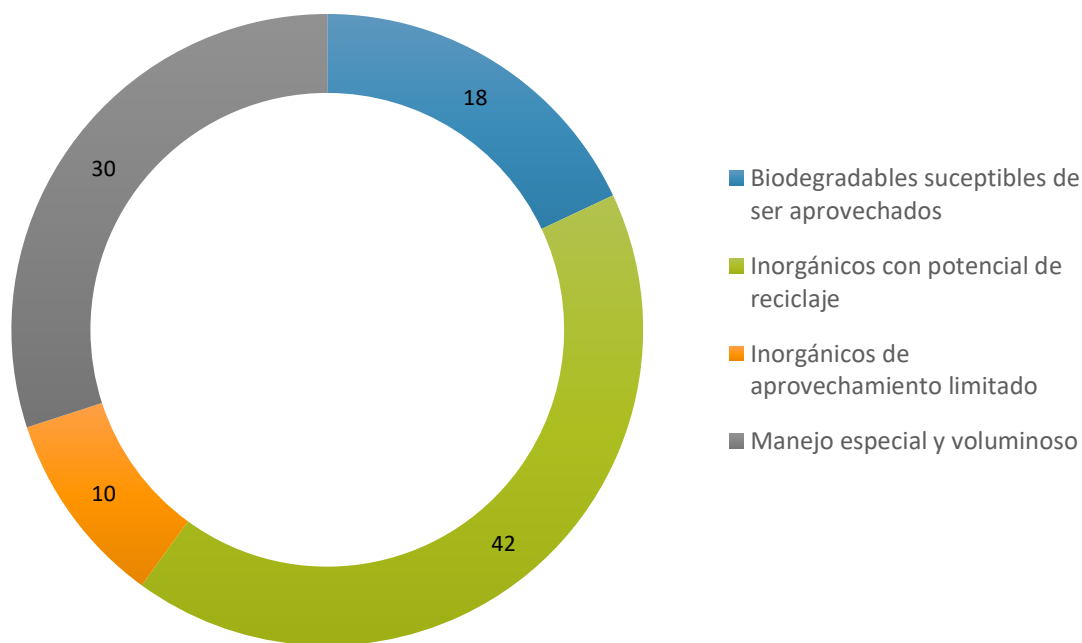
Fuente: Elaboración propia con base a NADF-024-AMBT-2013.

La generación de residuos de tipo biodegradable<sup>4</sup> con potencial de ser aprovechados como lo son:

<sup>4</sup> Para la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, se entiende residuo orgánico como todo residuo sólido biodegradable.

residuos de jardinería y residuos de alimentos generados en casas y en mercados alcanzan el 10%; los residuos inorgánicos con potencial de reciclaje (42%) son la mayor cantidad generada, afortunadamente para una cantidad importante existe un mercado de valorización. Los residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado como plásticos de varios tipos, residuos sanitarios, entre otros suman 10%. Finalmente, los residuos voluminosos son aquellos enseres domésticos, juguetes y muebles inutilizables; los residuos de manejo especial son todos aquellos residuos considerados peligrosos, restos de construcción y residuos de hospitales y laboratorios, manejo especial y voluminosos suman 30% de lo generado. Véase en la Gráfica 2.2.

Gráfica 2.2. Clasificación de subproductos identificados de RSU



Fuente: Elaboración propia con base al Inventario de Residuos Sólidos CDMX, 2014

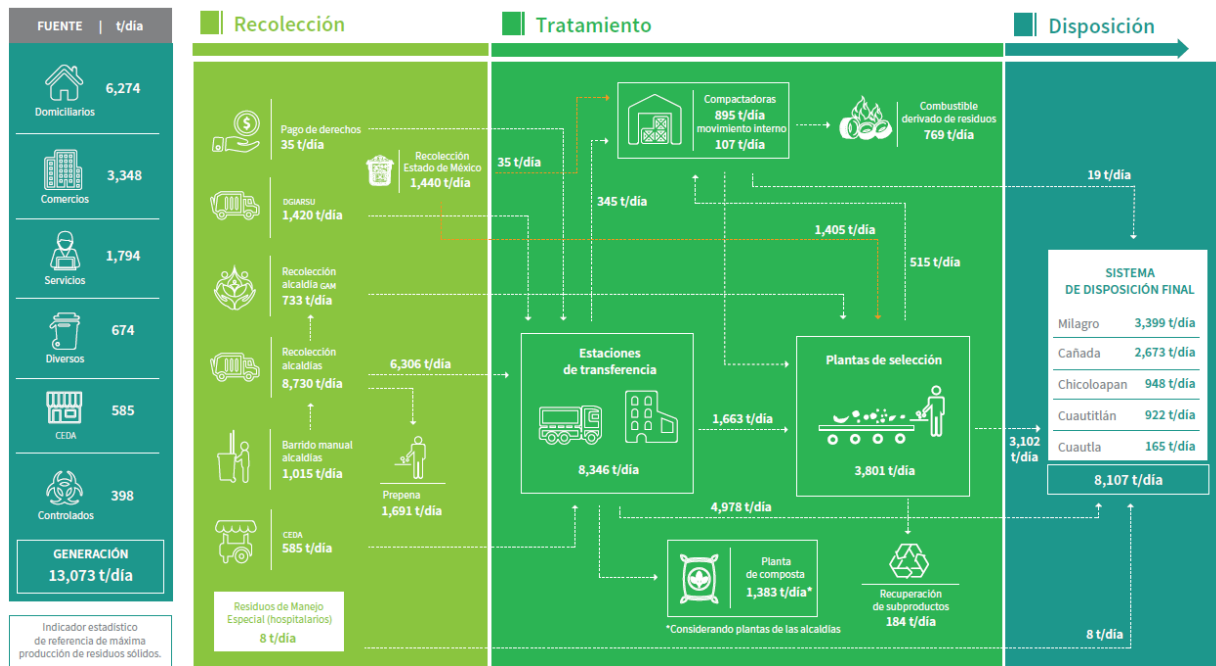
Nota: Agrupando los distintos subproductos de acuerdo a la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013.

## 2.2 Gestión de los residuos Sólidos

La Figura 2.3. nos deja ver que el proceso de GRSU puede dividirse en tres partes; 1) la recolección, 2) el tratamiento y 3) la disposición final. La recolección es el primer punto del proceso, es la recaudación en los domicilios, comercios, mercados, supermercados, tirados clandestinos, hospitales, etc. además del barrido de las calles de la ciudad; el segundo proceso, es el tratamiento de los residuos recolectados que incluyen las estaciones de transferencia, el compostaje, la selección y la compactación; el último punto es el tratamiento de los desechos enterrándolos en rellenos sanitarios, la disposición final.



Figura 2.3. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en la CDMX



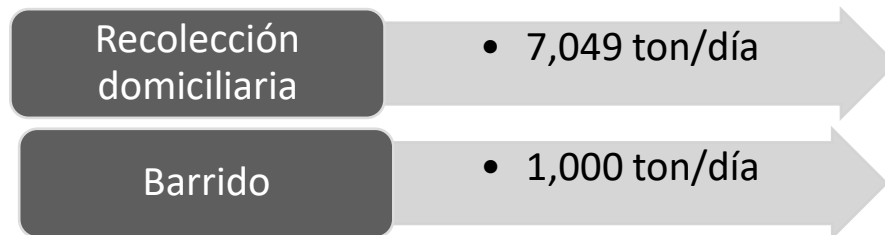
Fuente: SEDEMA, 2018

### 2.2.1 Barrido manual y mecánico

El barrido es definido como la actividad de recolección manual o mecánica de los residuos sólidos en la vía pública cuya finalidad principal es dejar el área pública libre de todo residuo sólido, se puede realizar en las dos direcciones mostradas en la Figura 2.4.

1. La recolección domiciliaria, que es responsabilidad y atribución de la administración pública de las demarcaciones de la CDMX.
2. El barrido, que es la recolección manual o mecánica de vialidades, calles, avenidas, etc., la atribución es de las demarcaciones para vialidades secundarias.

Figura 2.4. Tipos de recolección de los residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2014

## Barrido de la red vial primaria

El barrido y recolección de residuos en la red vial primaria es competencia y responsabilidad de la Secretaría de Obras y Servicios, SOBSE, a través de la Dirección General de Servicios Urbanos, DGSU. La actividad abarca una longitud de 2,414.58 km, atiende 9 vías rápidas, 29 ejes viales y 37 avenidas principales.

## Barrido de la red vial secundaria

El barrido en la red vial secundaria está a cargo de las demarcaciones, por lo que no se tiene una cifra puntual, se estima que la suma del barrido de las 16 demarcaciones es de 1,000 toneladas diarias. Se desconoce la información del total de km barridos, sin embargo, se pudo tener información sobre la cobertura del barrido manual en seis demarcaciones, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco, y en total reportaron una cobertura 3,044.9 km de vialidades secundarias con barrido manual.

### 2.2.2 Recolección

Esta actividad consiste en recoger los residuos de domicilios, de pequeños establecimientos mercantiles y de los barrenderos que hacen servicio de limpia en las calles, la suma de los tres es agregada para después ser trasladada a las Estaciones de Transferencia (ET).

La recolección domiciliar, el barrido de las calles y la gestión de los residuos derivados de estas actividades son responsabilidad y atribución de la administración pública de cada una de las 16 demarcaciones para la CDMX.

## Rutas y distancias en la recolección

El servicio público de limpia en la recolección de los residuos atiende a la población en la puerta de sus hogares pasando a recolectar los residuos en días y horarios establecidos. La recolección se realiza con ayuda de camiones recolectores de basura que pasan por trayectos o rutas establecidas; 1,836 rutas distribuidas a lo largo de la CDMX en 1,822 colonias de la ciudad, haciendo uso de 2,652 vehículos recolectores para tal tarea recorren 13,448 km. Véase Tabla 2.1

Tabla 2.1. Características del servicio de recolección de residuos en las delegaciones

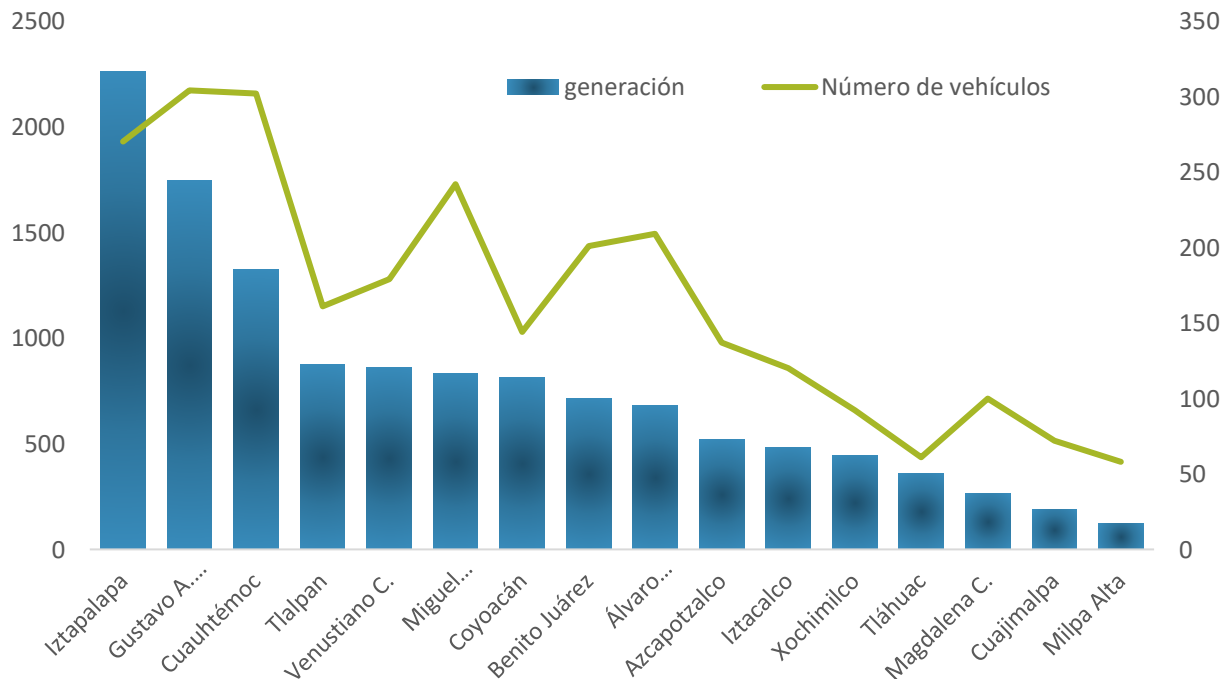
Alcaldía	Número de vehículos	Número de rutas	Número de colonias	Número de km
Álvaro Obregón	209	147	246	985
Azcapotzalco	137	78	111	578
Benito Juárez	201	87	56	1324
Coyoacán	144	71	140	701
Cuajimalpa	72	67	41 colonias/4 pueblos	393
Cuauhtémoc	302	196	33	684

Gustavo A. Madero	304	225	228	399
Iztacalco	120	61	38	2244
Iztapalapa	270	270	293	470
Magdalena Contreras	100	53	40	1617
Miguel Hidalgo	242	175	53	595
Milpa Alta	58	86	12	430
Tláhuac	61	52	98	900
Tlalpan	161	133	266	528
Venustiano Carranza	179	91	80	532
Xochimilco	92	44	128	1069
Total	2,652	1,836	1,822	13,448

Fuente: Elaboración propia con base a Gaceta oficial de la CDMX, Cartografía urbana INEGI 2014 y Marco geo estadístico municipal 2016, INEGI

Es de esperar que la flota vehicular de recolección se encuentre relacionada con la generación de residuos sólidos de la demarcación, sin embargo, se observa en la Gráfica 2.3 que para algunas demarcaciones hay un mayor número de camiones en relación con la cantidad de residuos generada, es el caso de Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Gustavo A. Madero. Por el contrario, en Iztapalapa, se genera una gran cantidad de residuos sólidos, sin embargo, no hay correspondencia en el número de camiones recolectores, lo que podría explicarse por la densidad poblacional, como se observa en la Tabla 2.1. en el número de kilómetros recorridos.

Gráfica 2.3. Flota vehicular y generación de residuos sólidos

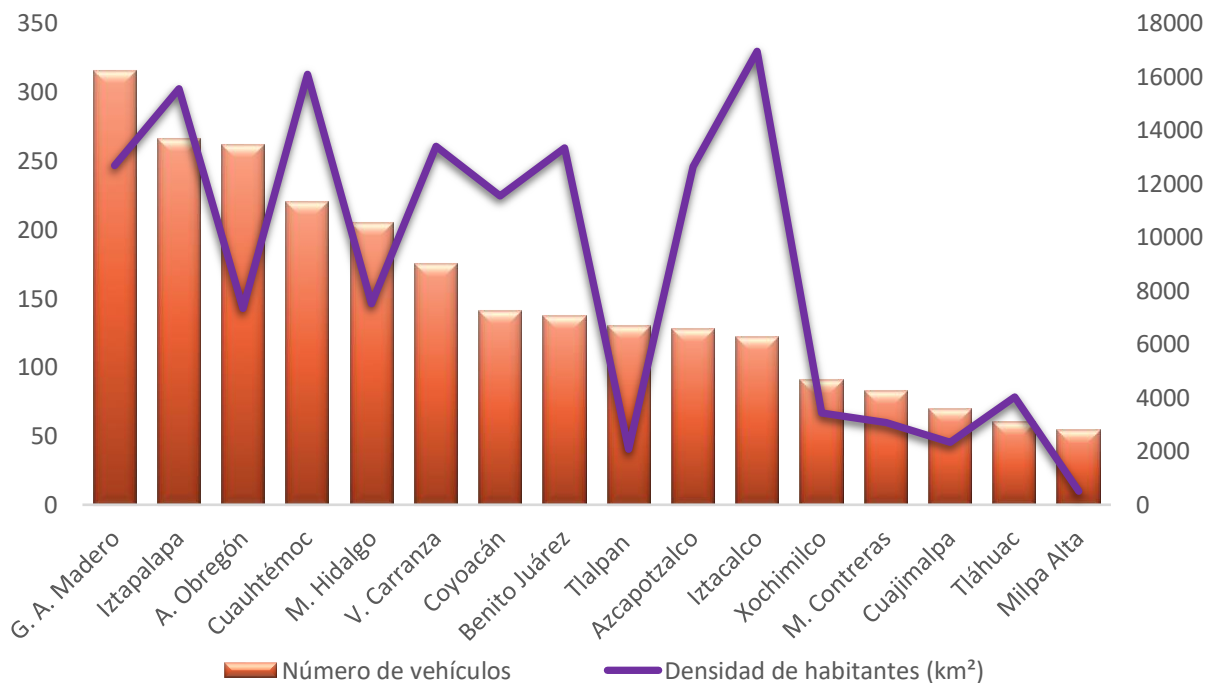


Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2018

Un análisis complementario relaciona el número de camiones recolectores y la densidad poblacional de la demarcación que en teoría deberían de tener la misma tendencia; sin embargo, existen saltos importantes. En la Gráfica 2.4. se observa que las demarcaciones Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo y Tlalpan tienen más vehículos recolectores en proporción a la densidad poblacional; cabe destacar que las primeras tres demarcaciones también sobrepasan el número de unidades en relación a la generación de residuos. En contraste, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Coyoacán, Benito Juárez, Azcapotzalco e Iztacalco tienen una relación inversa entre el número de vehículos de limpia y la densidad poblacional en esas demarcaciones.

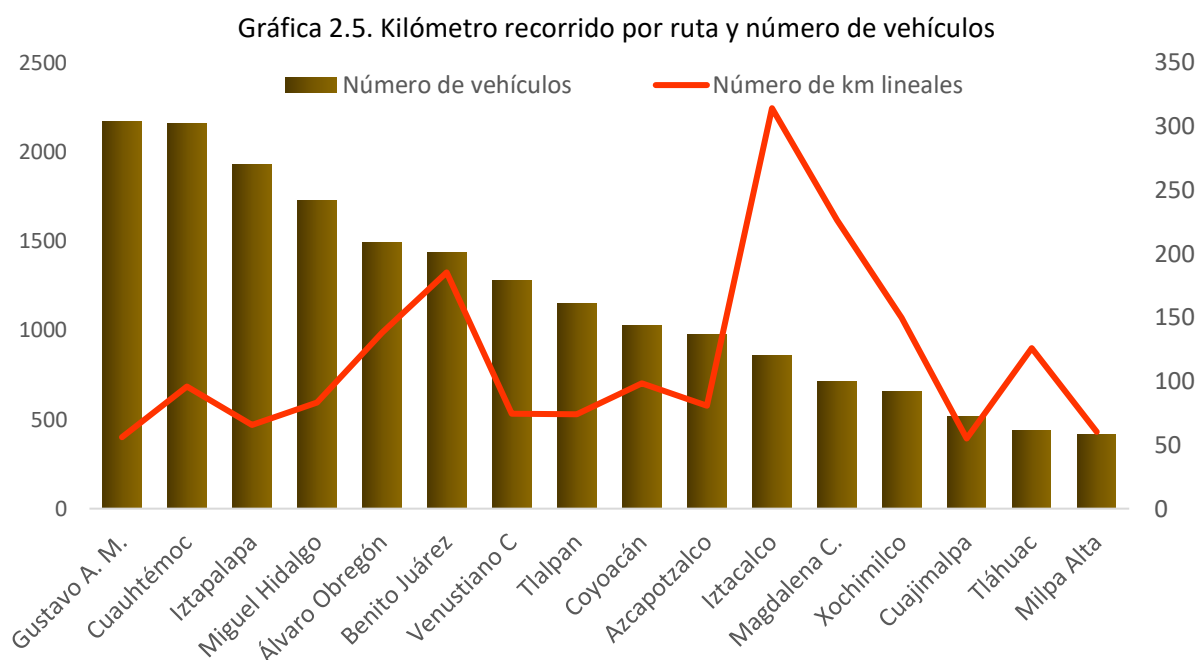
Lo anterior, se puede explicar con el siguiente razonamiento; la urbanización planeada puede soportar grandes densidades de población, en donde, el servicio de recolección de residuos se vuelve más eficiente se requiere menor número de rutas, menor número de vehículos utilizados y menor número de paradas. Es el caso de las delegaciones de Venustiano Carranza, Coyoacán, Benito Juárez, Azcapotzalco e Iztacalco, en donde, la densidad poblacional es mayor en relación a la tendencia que llevan el número de camiones recolectores.

Gráfica 2.4. Número de vehículos y densidad población



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA e INEGI

Un análisis complementario para comparar el kilometraje promedio recorrido por una unidad vehicular recolectora nos muestra que los recorridos más largos son aquellos que se realizan en las demarcaciones más grandes, excepto por Coyoacán. A partir de Iztapalapa la relación que existe entre el número de vehículos recolectores y el kilometraje promedio cambia, el número de vehículos será superior en proporción al kilometraje recorrido. Véase Gráfica 2.5



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2018

### Parque vehicular utilizado en la recolección

Conocer las características del parque vehicular que realiza la recolección es importante porque relaciona la eficiencia del consumo de combustible y a su vez en la generación de emisiones contaminantes en el transporte que realiza la recolección de residuos. En la Tabla 2.2 se observa la distribución del parque vehicular que circula por la CDMX; 44% de los camiones son de carga trasera, 24% son de doble compartimiento, 6% son camiones llamados rectangulares, 1% son recolectores tubulares, 10% son camiones de volteo, 1% es de carga frontal y 14% son de otro tipo.

Tabla 2.2. Cantidad de vehículos utilizados en la recolección por tipo

Demarcación	CCT	CDC	R	T	V	CF	OT	Total
Álvaro Obregón	87	40	7	1	55	0	19	209
Azcapotzalco	77	53	4	0	3	0	0	137
Benito Juárez	60	27	29	6	5	10	64	201
Coyoacán	97	16	1	1	10	0	19	144
Cuajimalpa	25	35	1	1	1	0	9	72
Cuauhtémoc	128	71	12	0	18	2	71	302
Gustavo A. Madero	168	49	19	12	43	0	13	304
Iztacalco	67	31	0	0	15	0	7	120
Iztapalapa	107	110	48	0	5	0	0	270
Magdalena Contreras	41	21	0	0	3	20	15	100
Miguel Hidalgo	114	27	15	0	20	0	66	242
Milpa Alta	14	12	0	0	21	0	11	58

Tláhuac	30	25	0	0	0	0	6	61
Tlalpan	63	41	0	3	16	0	38	161
Venustiano Carranza	49	51	21	1	33	0	24	179
Xochimilco	41	35	0	1	12	0	3	92
Total	1,168	644	157	26	260	32	365	2,652
Total %	44%	24%	6%	1%	10%	1%	14%	100%

Fuente: SEDEMA, 2018

Nota: CCT= Compactador carga trasera; CDC= Compactador doble compartimiento;

R=Rectangular; T=Tabular; V=Volteo; CF=Carga frontal; OT=Otro tipo.

En la Tabla 2.3 se observa la distribución del parque vehicular de recolección por edad del camión; característica necesaria para estimar las emisiones contaminantes, 18% del parque vehicular tienen una antigüedad entre 30 y 50 años, 36% de los camiones tienen entre 18 y 28 años y 26% son entre 7 y 17 años, finalmente, el 20% restante es un parque nuevo de 2 a 6 años de edad.

Haciendo un corte por demarcación, llama la atención que las alcaldías Benito Juárez y Venustiano Carranza tienen 40% su parque vehicular recolector con más de 30 años de edad, por lo que con seguridad las emisiones en la recolección en estos lugares son altas; entre 18 y 28 años de antigüedad se encuentra más del 50% de los recolectores en la alcaldía Xochimilco, y más del 44% de los carros recolectores en Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Coyoacán, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan están en las mismas condiciones con rezagos importantes y emisiones considerables en el transporte de los residuos; los carros recolectores con una vida útil óptima suman 20% están en las alcaldías: Miguel Hidalgo, Iztapalapa y Gustavo A. Madero tienen entre 10% y 13% de su parque vehicular con una vida útil óptima; Finalmente los carros recolectores nuevos representan 20% del total, la alcaldía Cuauhtémoc alcanza 21% en la renovación de sus carros, seguida de Miguel Hidalgo con 11%, el resto de las alcaldías solo tienen entre 3% y 8% en la renovación. Véase Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Vehículos de recolección por modelo 1970-2018

Alcaldía	1970-1980	1981-1991	1992-2002	2003-2013	2014-2018	Total
Álvaro Obregón	2	21	92	63	31	209
Azcapotzalco	4	11	63	29	30	137
Benito Juárez	20	63	53	38	27	201
Coyoacán	1	8	66	41	28	144
Cuajimalpa	0	1	30	25	16	72
Cuauhtémoc	13	55	99	25	110	302
Gustavo A. M.	37	40	112	73	42	304
Iztacalco	0	9	38	50	23	120
Iztapalapa	6	68	79	82	35	270
Magdalena C	0	2	42	29	27	100
Miguel Hidalgo	2	29	66	88	57	242
Milpa Alta	0	6	22	22	8	58
Tláhuac	0	0	19	20	22	61

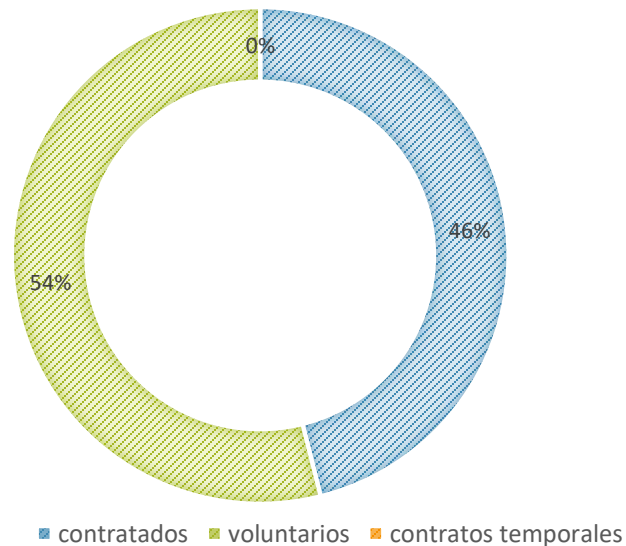
Tlalpan	0	3	72	62	24	161
Venustiano C.	7	65	42	23	42	179
Xochimilco	0	3	49	29	11	92
Total	92	384	944	699	533	2,652
%	3.5%	14.5%	36%	26%	20%	100%

Fuente: SEDEMA, 2018

## Operadores del servicio de limpia

La operación del servicio de limpia se realiza a través de tres tipos de contratos para sus trabajadores: 1) los trabajadores contratados con base que suman 46% y que son los únicos que pueden conducir los camiones de recolección, 2) los contratados de forma temporal que se encuentran dentro de la nómina pero no cuentan con la seguridad social completa como la antigüedad, los préstamos, entre otros beneficios y 3) y los trabajadores con contratos informales o voluntarios que son personal no contratado legalmente, que se sube al camión para ayudar en las labores de recolección, desafortunadamente los trabajadores en esta condición son la mayoría de los operadores, 54%, no gozan de ninguna seguridad social ni un salario fijo. Véase en la Gráfica 2.6

Gráfico 2.6. Tipo de Operadores del servicio de limpia



Fuente: SEDEMA, 2018

Es de resaltar que el servicio de limpia de cuatro alcaldías: Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Tláhuac y Venustiano Carranza cuenta con más trabajadores voluntarios que trabajadores de plantilla, el caso específico de Iztapalapa es alarmante, por cada cinco trabajadores del servicio de limpia cuatro no tienen un contrato formal, seguido de Venustiano Carranza que de cinco operadores tres son voluntarios.

Para el resto de las alcaldías que tiene un ND, significa que no se tiene la información porque no otorgaron los datos del número de voluntarios, no implica que no tengan voluntarios en su plantilla

de trabajadores, solo que la alcaldía no declaró la información y como no hay manera de rastrearlos, debemos dudar de los registros oficiales de SEDEMA. Véase Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Cantidad de choferes y operadores de vehículos recolectores, 2018

Alcaldía	Choferes	Masculino	Femenino	Temporales
Álvaro Obregón	377	368	9	630
Azcapotzalco	195	195	0	ND
Benito Juárez	274	274	0	ND
Coyoacán	156	156	0	ND
Cuajimalpa	77	77	0	ND
Cuauhtémoc	284	282	2	ND
Gustavo A. M.	310	310	0	385
Iztacalco	139	139	0	ND
Iztapalapa	399	398	1	2150
Magdalena Contreras	98	98	0	ND
Miguel Hidalgo	245	245	0	ND
Milpa Alta	58	58	0	ND
Tláhuac	104	104	0	104
Tlalpan	274	273	1	70
Venustiano C.	194	194	0	495
Xochimilco	93	93	0	ND
Total	3,277	3,264	13	3339

Fuente: SEDEMA, 2018

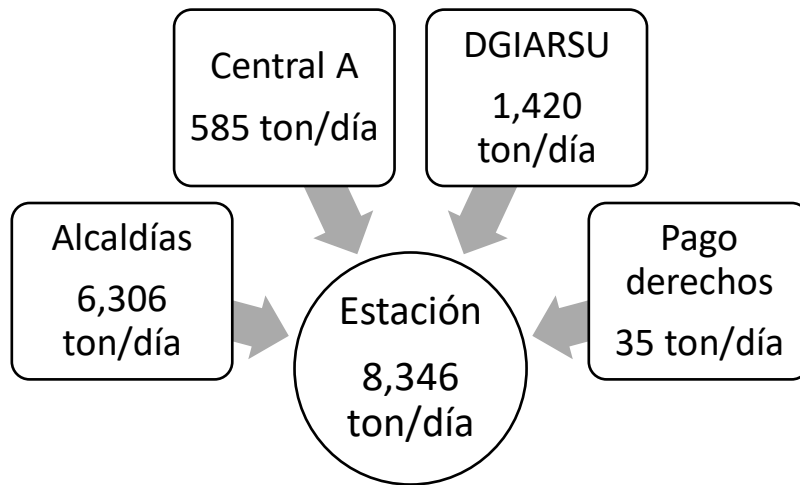
### 2.2.3 Estaciones de transferencia (ET) y transporte

El objetivo de las ET es reunir en un solo lugar los residuos recolectados por la alcaldía para incrementar la eficiencia del servicio de traslado, aprovechamiento y disposición final, con este proceso se ahorra tiempo de traslado de los vehículos recolectores al sitio de disposición final, se disminuye el tiempo de descarga de los residuos, también se disminuye el número de recorridos y de viajes que realizan los camiones recolectores y en consecuencia también disminuye la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera durante esta etapa.

En 2018 se recibieron 8,346 ton/día en las ET, 6,306 ton surgen de la recolección y barrido de las calles, 1,420 ton pertenecen a la Dirección General de Imagen, Alumbrado Público y Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (DGIARSU), 585 ton pertenecen a la Central de Abastos y 35 ton al pago por derechos. Véase Figura 2.5.



Figura 2.5. Proveedores de residuos a las estaciones de transferencia, 2018

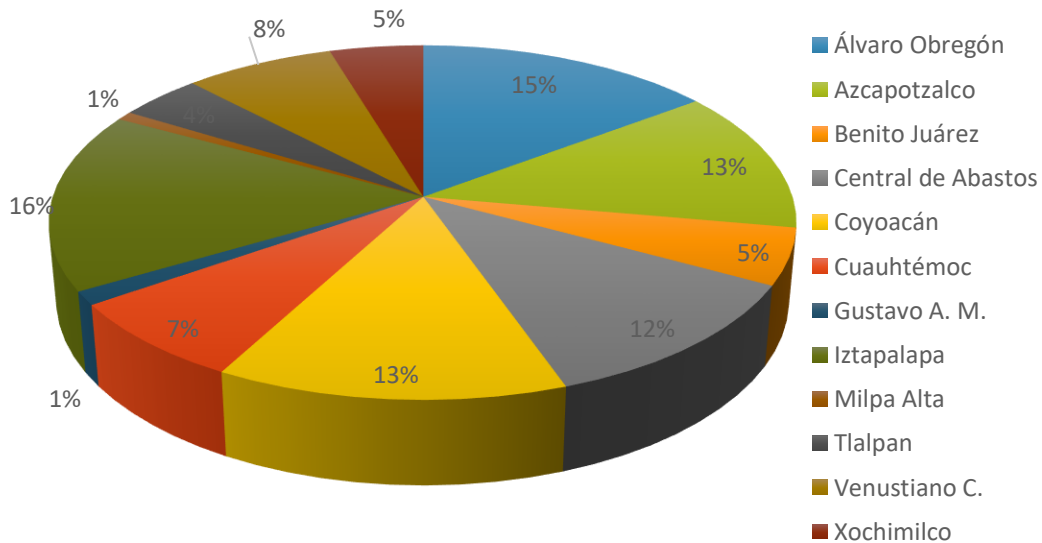


Fuente: Elaboración propia con base a Gaceta oficial de la CDMX

El total de residuos sólidos que ingresa a las ET asciende a 8,346 toneladas diarias provenientes en su mayoría de la recolección residuos de las alcaldías, aportan 87% del total recibido, también ingresa una cantidad menor de la Central de Abasto, la Secretaría de Obras y Servicios y del servicio particular de limpia o pago por derechos, que juntos suman 13%.

Las ET están distribuidas a lo largo de la CDMX; la recepción de los residuos no es exclusiva de la alcaldía en donde se encuentra la estación, por lo tanto, hay ET con mayor recepción que otras como: Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Coyoacán, en estas cuatro ET se concentra 60% del total de los residuos recolectados en las 13 ET. La distribución se observa en la Gráfica 2.7.

Gráfica 2.7. Porcentaje de toneladas recibidas al día, por estación



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2018

El sistema de operación en las ET consiste en lo siguiente; los vehículos recolectores asciendan a la planta alta de la instalación por una rampa y descarguen los residuos por las tolvas hacia las cajas de los vehículos, con capacidad de 70 m<sup>3</sup>, colocadas en el piso inferior. Una vez que la caja de transferencia se encuentra llena, se realiza el “despunte de los residuos” y se cubre la caja con una lona para evitar la dispersión de los residuos durante el transporte a su destino.

Una vez que los residuos se encuentran en las ET, los residuos son nuevamente transportados a alguno de los cuatro destinos posibles: 1) plantas de selección, 2) plantas compactadoras, 3) plantas de composta o 4) sitio de disposición final.

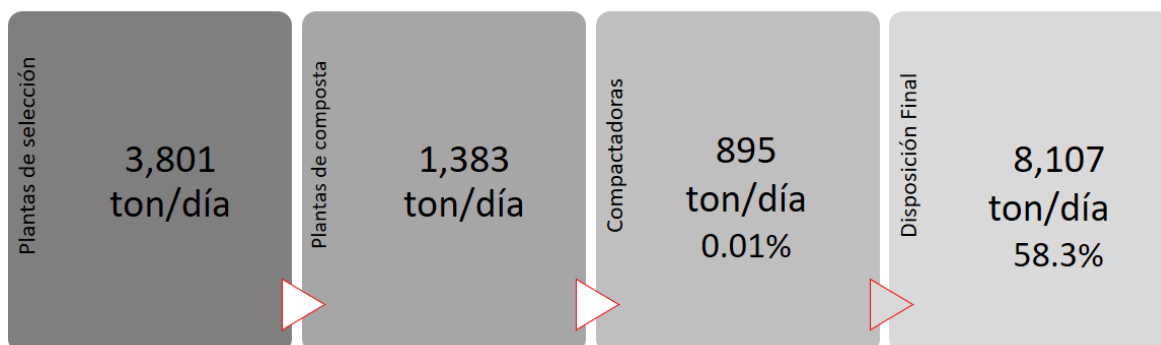
El transporte de los residuos desde las ET hacia a su destino, se utiliza cerca de 250 tracto camiones con cajas de transferencia de caja abierta, equipadas con sistemas de descarga mediante tablillas, también conocido como de “piso vivo” (SEDEMA, 2014). La ruta, distancia recorrida y consumo de combustible gastado en este traslado se revisará en el cuarto capítulo.

## 2.2.4 Valorización de residuos sólidos

La valorización de los residuos es el proceso que utilizan las autoridades responsables para obtener un beneficio económico delo que se consideraba basura, dicho proceso implica la selección de residuos con valor en el mercado y la separación de residuos orgánicos materia prima indispensable para la producción de composta.

En la Figura 2.6 se observa el destino de los residuos, según el tratamiento que recibe, sin embargo, existen residuos que no son evaluados y van directamente a la disposición final; todo aquello que no encuentra valor económico tiene el mismo desenlace, el relleno sanitario, los residuos voluminosos o de difícil comprensión pasan antes por un proceso de compactación.

Figura 2.6. Destino de los residuos



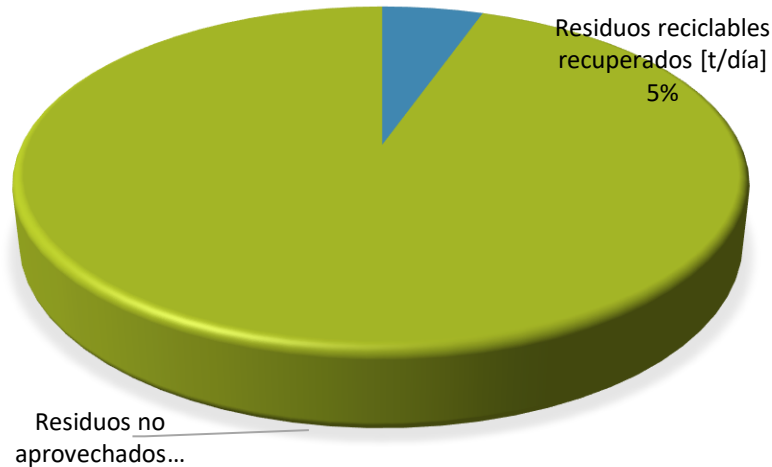
Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2018

### 2.2.4.1 Plantas de selección (PS)

En las PS se concentra 3,801 toneladas de los residuos diarios, éstas se desagregan en dos grupos: residuos recuperados por su valor en el mercado, aluminio, fierro, lámina metálica, cobre, alambre, botellas de refresco y cerveza, vidrio, cartón, papel, periódico, PVC, PET, plástico rígido o nylon y vinil, entre otros. El segundo grupo es de residuos que no fueron no tienen un valor en el mercado, ni se les ha encontrado un uso, a este tipo de residuo se le conoce como rechazo y se enviarán al siguiente

tratamiento de la cadena de gestión, la disposición final. Véase Grafica 2.8.

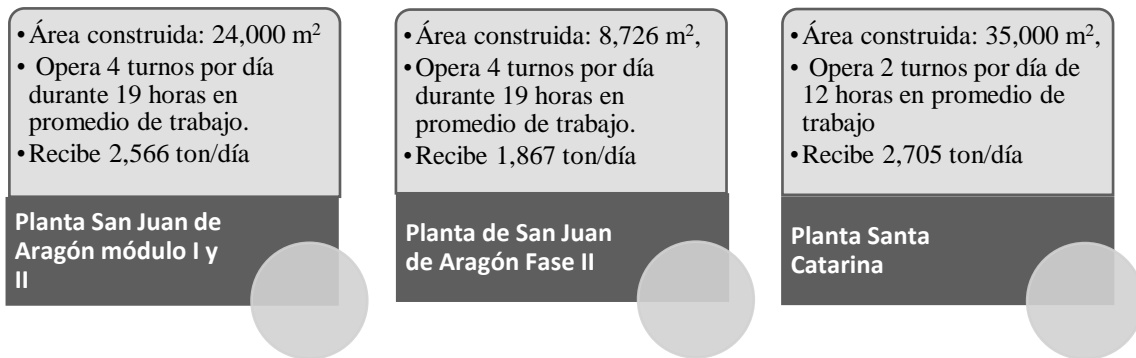
Gráfica 2.8. Residuos ingresados, recuperados y no aprovechados en las plantas de selección



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2020

Hay tres plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos para clasificar en subproductos con potencial de reúso, con valor en el mercado o reciclables por las autoridades de, CDMX (Figura 2.7); una se construyó en 1985, ubicada en San Juan de Aragón. Posteriormente en 1996 se construyó otra planta en el cerro de Santa Catarina, por último, en 2012 se construyó la Planta de Selección y Compactación de Residuos Sólidos Fase II, ubicada también en el complejo San Juan de Aragón.

Figura 2.7. Características de las plantas de selección



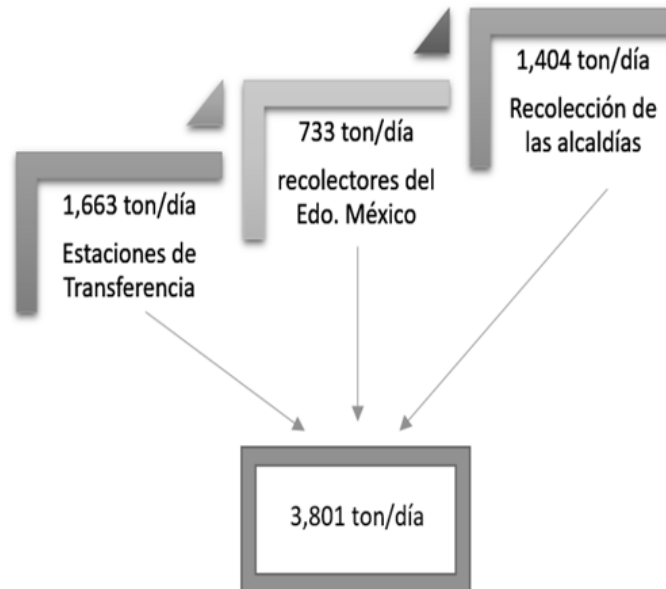
Fuente: Elaboración propia con base a Gaceta oficial de la CDMX

Por otro lado, las PS reciben residuos de diversos puntos: 1) de las ET, 2) de los vehículos recolectores de la alcaldía Gustavo A. Madero, 3) de residuos recolectados en la red val primaria por la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno de la CDMX y 4) de recolectores de residuos del Estado de México.

La proporción de los residuos que se reciben en las PS es la siguiente; 44% son residuos

transportados de las ET, 28% son recolectores del Estado de México, 27% son residuos derivados de la recolección de la alcaldía Gustavo A. Madero y solo 0.3% son residuos recolectados en vías primarias, el desglose por planta y origen se observa en la Figura 2.8.

Figura 2.8. Origen de los residuos ingresados en las plantas de selección, 2018



Fuente: SEDEMA, 2018

#### 2.2.4.2 Plantas de composta (PC)

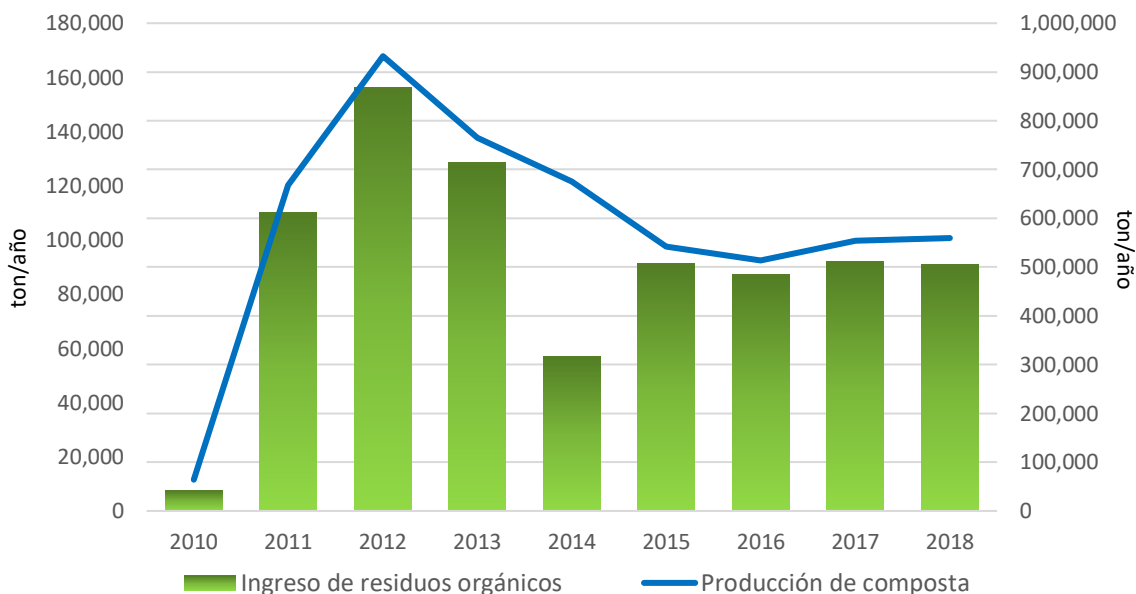
La separación de residuos orgánicos se estableció en 2003 en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, sin embargo, fue hasta 2011 a raíz del cierre de operaciones de la IV etapa del Sitio de Disposición final del Bordo Poniente, que se establecieron las condiciones para generalizar la separación de residuos orgánicos, así como su recolección separada en días alternados. Por esta razón, se tuvo disponible una gran cantidad de residuos orgánicos que requerían tratamiento. Para ello fue necesario realizar la ampliación de las instalaciones y de la capacidad de operación de la Planta de Composta de Bordo Poniente, la cual creció en instalaciones, personal, maquinaria y equipos, incrementando su capacidad de producción de composta.

El proceso de tratamiento de los residuos biodegradables es la llamada digestión aerobia en pilas, que consta básicamente en ingresar, pesar, recibir y acomodar los residuos en el patio de proceso, según el tipo de residuos para conformar pilas de degradación; tomar parámetros del proceso como humedad y temperatura para determinar el volteo y humectación. El proceso tarda entre 45 y 60 días antes de que el material sea cribado previo a la maduración.

La composta producida en la planta ubicada en el Bordo Poniente se entrega a la Dirección de Limpia e Imagen Urbana de la DGSU para ser colocada en las áreas verdes de la ciudad, instituciones públicas o bien se deposita en el acotamiento del camino de acceso a la planta de composta.

Los residuos orgánicos ingresados al proceso de compostaje, si bien han crecido considerablemente, a partir de 2011, también es cierto que han fluctuado negativamente a partir de 2013 y hasta 2014, en 2015 se estabiliza la cantidad de residuos orgánicos ingresados, pero no vuelve a crecer hasta la fecha. Por otro lado, la relación que existe entre los residuos que ingresan al procesamiento y la composta producida oscila entre 19 y 20% de eficiencia durante el periodo de 2010 y 2018, excepto por 2014 que a pesar de que se inyecta la cantidad más pequeña de orgánicos, se obtiene una producción mayor a los años subsecuentes. Véase Gráfica 2.9.

Gráfica 2.9. Residuos ingresados a proceso y composta producida, 2010-2018



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA de 2010 a 2018

A partir de 2012 el número de PC ha crecido a ocho, debido a que algunas demarcaciones han puesto en operación plantas con capacidades reducidas, pero con el objetivo de procesar los residuos orgánicos de poda y jardinería, generados en su propia demarcación como se observa en la Tabla 2.5. Llama la atención, que en contraste al resto de las plantas las que se encuentran en las alcaldías de Xochimilco y Milpa Alta tienen una eficiencia, ambas de 100%.

Tabla 2.5. Características de las plantas de composta de las alcaldías, 2018

# Plantas	Planta de Composta	Residuos procesados, [t/año]	Composta producida, [t/año]	Tipo de residuos procesados
1	Álvaro Obregón	2,100	934.8	Poda y jardines
1	Cuajimalpa	2,982	487.82	Poda, excretas, flores, otros.
1	Iztapalapa	N/D	N/D	N/D
2	Milpa Alta	1,600	1,600	Agricultura
1	Xochimilco	1,393	1,393	Poda de árboles y flores
1	San Juan de Aragón	941	549.05	Poda, flores, residuos domiciliarios
1	Bordo Poniente	496,304	95,290	Estaciones de transferencia

Fuente: SEDEMA, 2019

## 2.2.5. Disposición final

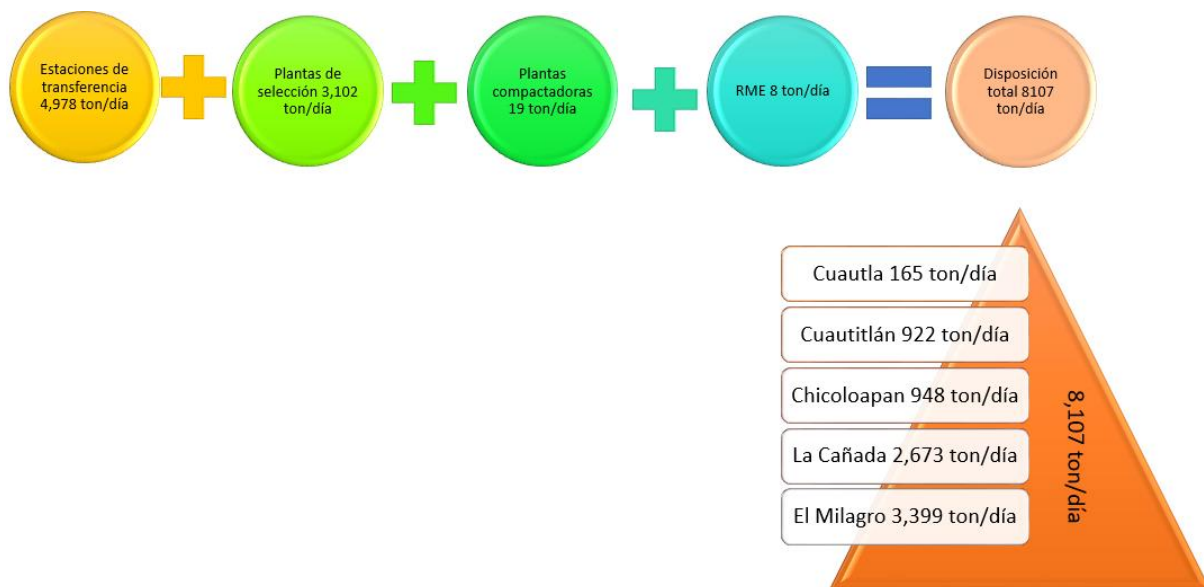
La CDMX no cuenta con un sitio de disposición final propio, el servicio de limpia de la ciudad se encarga de trasladar los residuos a alguno de los sitios en el Estado de México o en Morelos desde el 22 de noviembre de 2010, que se firmó el convenio entre la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno de la CDMX para el cierre de la IV Etapa del Sitio de Disposición Final llamado el Bordo Poniente, siendo el 19 de diciembre de 2011 el anuncio del cierre definitivo de dicho sitio de disposición final y el día en que se dejaron de recibir residuos.

Previo al cierre de la IV Etapa del Sitio de Disposición final del Bordo Poniente, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, otorgó en diciembre de 2011, autorizaciones a favor de dos empresas privadas que operan rellenos sanitarios en el municipio de Ixtapaluca, para la recepción y disposición final de residuos sólidos urbanos provenientes de la CDMX hasta por 6 mil toneladas diarias.

Los residuos dispuestos en rellenos sanitarios pueden venir de dos tramos del proceso de la GRSU, 58% de los residuos confinados viene de las ET y 42% viene de los residuos rechazados en alguno de los procesos de valorización en las plantas de selección (PS) o en las plantas compactadoras (C), sumando 8, 107 toneladas diarias.

En 2018, los residuos de la CDMX se enviaron a cinco sitios de disposición final ubicados en las entidades vecinas del Estado de México y de Morelos. Los sitios de disposición más importantes, por la cantidad de residuos enviados, son “el Milagro” y “la Cañada” la disposición en estos dos sitios suma 75% de todos los residuos confinados; ambos sitios se encuentran en el Estado de México, Véase Figura 2.9.

Figura 2.9. Sitios de Disposición final



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2018

La cantidad de residuos confinada ha disminuido de 12, 004 a 8, 107 toneladas diarias en el periodo (2010-2018), lo que significa una disminución de 32.5%. Es un importante esfuerzo por recuperar residuos valorizables, compostar y reutilizar, sin embargo, aún no es suficiente.

Es necesario mencionar que la suma de 8,107 toneladas de residuos que se envía a disposición final diariamente, no todo es generado por la CDMX, también incluye 1,071 toneladas de residuos que provienen de diversos municipios del Estado de México y que se tratan en las PS de la CDMX para ser enviadas a disposición final junto con los residuos que se generan en la entidad.

### 2.3 Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la GRSU

Las emisiones generadas en la GRSU surgen de dos momentos en el proceso de la gestión; por un lado, las emisiones generadas en el proceso de putrefacción de los residuos calculados en el punto final de la cadena de gestión o disposición final; por otro lado, las emisiones generadas en el transporte de los residuos desde la recolección hasta la disposición final.

La generación de emisiones por la disposición de residuos concibe 180 mil toneladas de metano (t CH<sub>4</sub>) y 493 mil toneladas de dióxido de carbono (t CO<sub>2</sub>) al año, esto es 5 millones de t CO<sub>2</sub> equivalente (e). Según datos de INEGI, el costo por degradación y agotamiento derivada de los rellenos sanitarios asciende a \$65,595 millones de pesos en 2016.

Para calcular las emisiones por el transporte, se identificarán los puntos o escalas en la GRSU que recorren los camiones en el transporte de los residuos antes de llegar a su destino final y se calcularán las emisiones derivadas del transporte.

El objetivo de este apartado es revisar las emisiones generadas por la disposición de los residuos sólidos y dejar asentados los pasos a seguir para obtener una estimación de las emisiones generadas en el transporte de los desechos.

#### 2.3.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por descomposición

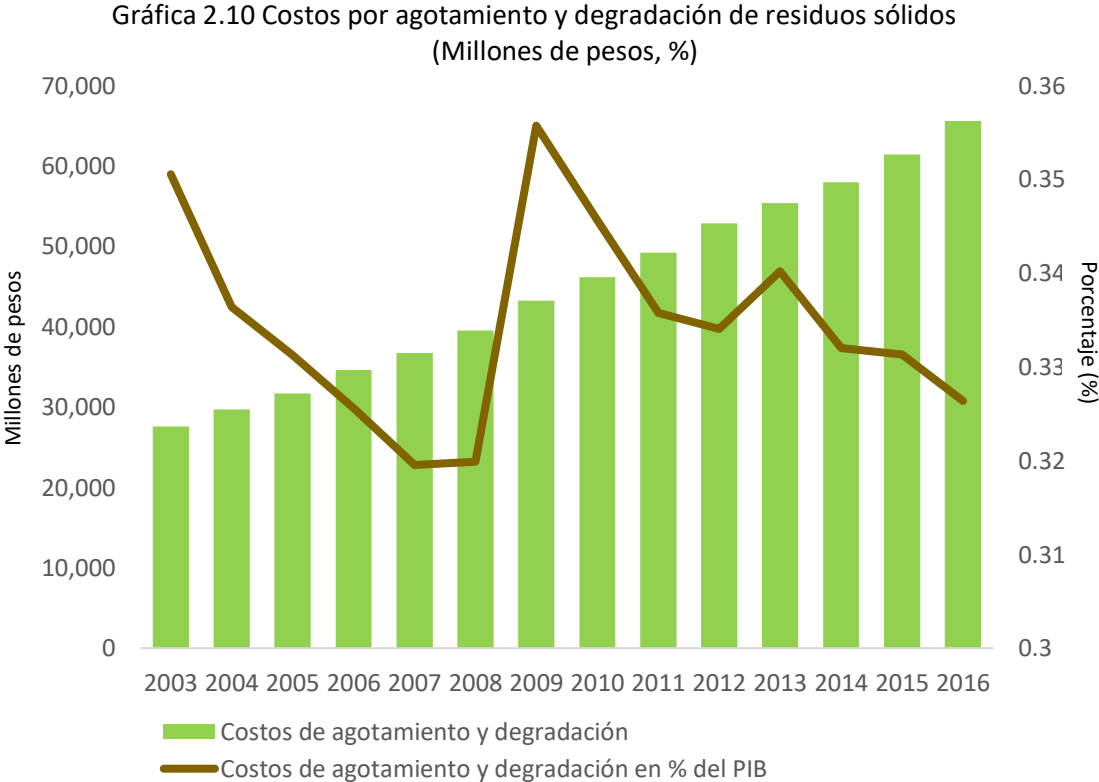
En 2012, la SEDEMA publicó el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México en donde estimó la generación de emisiones derivada de la disposición final de los residuos confinados, en el ya clausurado Bordo Poniente, sumando anualmente 180 mil ton de CH<sub>4</sub> y 500 mil ton CO<sub>2</sub>. Esto representa 10% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>e generadas en un año en la CDMX (Tabla 2.6), cabe resaltar que esta estimación solo es de la generación de gases contaminantes en el sitio de disposición final.

Tabla 2.6. Emisiones contaminantes generadas por residuos sólidos

Gas	[t/año]
CO <sub>2</sub>	492,526
CH <sub>4</sub>	179,677
[tCO <sub>2</sub> eq./año]	4,984,451

Fuente: Elaboración propia con base Secretaria del Medio Ambiente, 2013

Los costos económicos derivados por agotamiento y degradación de los residuos sólidos han venido creciendo de 27,586 millones de pesos (M\$) en 2003 a 65,595 M\$ en 2016, lo que representó 0.33% del Producto Interno Bruto (PIB) generado en 2016 (Gráfica 2.10).



Fuente: Elaboración propia con base INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México, 2018.

Nota: A precios corrientes y base 2013



## Conclusión C2

En este capítulo se realizó un diagnóstico de la gestión de residuos sólidos (GRSU) en donde se revisó la cadena de gestión desde que es conceptualizada como residuo hasta el momento en que se le otorga un espacio físico de disposición final, de lo que se puede afirmar que la CDMX aplica un sistema de GRSU que involucra; recolectar, seleccionar, transportar y tratar los residuos generados en la ciudad. La administración de la cadena involucra grandes retos tecnológicos, logísticos y económicos, sobre todo, por el rápido crecimiento poblacional, el nivel de ingresos y el tipo de consumo que convergen en el ascenso de su generación.

Los retos son muchos, se necesita infraestructura moderna en la ciudad, la CDMX no invierte lo suficiente en tecnología y logística, sin embargo, se tienen numerosos avances en comparación con el pasado, desde renovar el anticuado parque vehicular, regularizar a los trabajadores voluntarios de la recolección, optimizar las rutas de recolección, recuperar residuos valorizables y aprovecharlo, mejorar la eficiencia de reciclaje, minimizar la cantidad de residuos confinados.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el proceso de gestión, ascienden a 180 mil toneladas de metano y 493 mil toneladas de dióxido de carbono al año, esto es 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Según datos de INEGI en 2016 el costo por degradación y agotamiento derivada de los rellenos sanitarios asciende a \$65,595 millones de pesos.

# Capítulo 3 La Curva de Kuznets de la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)

## Resumen

El objetivo de este capítulo es examinar la relación entre el desarrollo económico y la generación de residuos sólidos en 104 demarcaciones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) con información de 2010. Para ello, se realizó el ejercicio empírico de la hipótesis de la curva de Kuznets (WKC) para probar la relación entre residuos e ingreso de acuerdo con la forma de U invertida. Para mostrar lo anterior, se utilizaron algunos métodos econométricos (IV, 2OLS, OLS) y para explicar la generación de residuos de la zona se utilizaron algunas variables socioeconómicas usando técnicas multivariadas como componentes principales y análisis de cluster.

## Introducción

Comprobar la relación de la Curva de Kuznets con la variable generación de residuos sólidos implica probar la hipótesis de que la tasa de generación de residuos sólidos municipales depende del aumento de los niveles de población, del auge de la economía, de la rápida urbanización y del aumento de nivel de vida de la entidad (Guerrero, 2013).

En México, los residuos<sup>5</sup> generados postconsumo se convierten en desecho o *basura* con una rapidez de 102 895 toneladas diarias (Semarnat, 2012); estos desechos contribuyeron a las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) en 9%. Por tipo de emisión contaminante, los residuos generan 30% del metano (CH<sub>4</sub>), 5% del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y 0.2% del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del total generado en el país (INECC, 2015).

En 2012 la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), esta pequeña área geográfica, generó más de 25% del total de residuos del país: 27 120 ton/día (Inegi, 2014). Los residuos en descomposición, que llegan a los rellenos sanitarios ubicados dentro de la zona, generan 10% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, equivalente generado por la actividad económica total de la región. De ahí la importancia de estudiar el tema en esta zona geográfica.

La base de datos con la cual se trabajó fue construida con fuentes oficiales; se obtuvo un corte transversal con 104 observaciones de la ZMVM, el cual incluye alcaldías de la Ciudad de México y municipios de los estados del Estado de México, Hidalgo y Morelos para el año 2010.

Este capítulo se integró por dos secciones. En la primera parte se reporta un análisis estadístico que nos ayuda a conocer las variables utilizadas y a sistematizar la información. Además, se realizó un análisis multivariado con el uso de dos técnicas, componentes principales y análisis de cluster, que

---

<sup>5</sup> Entendiéndose como residuo el “material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven” (LGPGIR).

nos ayudó a agrupar las demarcaciones según su monto de generación, y también ayudó a puntualizar las variables más representativas de la base de datos en la generación de residuos sólidos.

En la segunda sección del capítulo se realizó un análisis econométrico que se basó en el ejercicio empírico de la curva de Kuznets. Para esto se hicieron tres modelos econométricos: el primero es un modelo de variables instrumentales (VI); después, un modelo de mínimos cuadrados en dos etapas (2OLS); y, sólo como punto de comparación, se efectuó un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS).

Finalmente, los resultados del ejercicio de la Curva Kuznets serán insumo para elegir la demarcación que será el caso de estudio del capítulo 4 del presente trabajo.

### 3.1 Análisis estadístico de los 104 municipios por características

Se construyó una base de datos de sección cruzada con temporalidad de 2010, los datos que fueron utilizados en la elaboración del análisis se obtuvieron de las siguientes fuentes: Censo Económico, Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, Censo de Población y Vivienda, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares y los cuadernos estadísticos y geográficos de la ZMVM; las variables, unidades y observaciones de la base se pueden ver en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Descripción de las variables utilizadas en el ejercicio

Nombre	Descripción	Unidad	Observaciones
<b>basura</b>	Generación de residuos sólidos urbanos	toneladas/trimestre	Se tomó como <i>proxy</i> la recolección municipal 2010.
<b>pob</b>	Población en el municipio	Cantidad	Número de habitantes en 2010.
<b>dens</b>	Densidad poblacional	Número de habitantes/km <sup>2</sup>	Información de 2010.
<b>auto</b>	Automóvil	Cantidad	Número de hogares con al menos un auto.
<b>y</b>	Ingreso	pesos (\$)	Ingreso promedio trimestral.
<b>refri</b>	Refrigerador	Cantidad	Número de hogares con al menos un refrigerador.
<b>ue_t</b>	Unidades económicas totales	Cantidad	Número de negocios en la demarcación.
<b>mdo</b>	Mercado	Cantidad	Número de mercados que hay en el municipio.
<b>g_en</b>	Gastos en energía	Pesos (\$)	Cantidad del ingreso trimestral gastada en el pago de energía eléctrica.

Fuente: elaboración propia, 2019

*res.* Generación de residuos sólidos urbanos. Es la variable central del estudio. Se realizarán estimaciones y correlaciones sobre la generación de residuos. Esta variable se transformó de kg/día a ton/trimestre para mantener la concordancia con la variable ingreso (*y*).

*pob.* Población. Es una variable indispensable para entender la generación de residuos sólidos; se espera que, a mayor población, mayor generación de residuos. Los datos se obtienen del censo poblacional del año 2010.

*dens.* Densidad poblacional. Es utilizada solo como *proxy* de la variable *pob* y los datos utilizados corresponden al año 2010.

*auto.* Automóvil. Ésta variable fue tomada de una pregunta del Censo de Población y Vivienda. La hipótesis de usar esta variable es aceptar la relación positiva que existe entre la generación de los residuos y la disminución de las distancias que ofrece un automóvil.

*y.* Ingreso promedio por hogar. Es la segunda variable en importancia y el objeto central del ejercicio teórico de Kuznets. Es una variable trimestral obtenida de la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto en los Hogares, ENIGH, para 2010.

*refri.* Refrigerador. Se toma como la capacidad que existe en un hogar de generar residuos sólidos orgánicos y tiene como hipótesis una relación positiva. La información viene del Censo de Población y vivienda 2010.

*ue\_t.* Unidades económicas totales. Es la variable *proxy* del tamaño de la economía en la demarcación. Los datos son de 2010 y se obtuvieron de los cuadernos estadísticos y geográficos del estado correspondiente.

*mdo.* Mercado. Es otra variable que mide el tamaño de la economía, dado el número de establecimientos mercantiles que se encuentran en la demarcación. Los datos también son de los cuadernos estadísticos y geográficos del estado correspondiente.

*g\_en.* Gasto en energía eléctrica. Es una variable utilizada como indicador de capacidad de ingreso. Los datos son trimestrales y corresponden al año 2010.

En la tabla 3.2 se observan los 104 municipios que están incluidos en base de datos utilizada. Como proporción de las demarcaciones por estado, la Ciudad de México tiene 15%; Hidalgo, 13%; Morelos, 15%; y el estado de México, 56%. La selección de los municipios utilizados quedó en función de la información disponible en la ENIGH.

Tabla 3.2. Municipios de la ZMVM utilizados en el estudio

Estado	Municipio	Estado	Municipio	Estado	Municipio
Ciudad de México	Azcapotzalco	Morelos	Emiliano Zapata	Estado de México (cont.)	Lerma
	Coyoacán		Jantetelco		Melchor Ocampo
	Cuajimalpa de Morelos		Jiutepec		Meteppec
	Gustavo A. Madero		Miacatlán		Morelos
	Iztacalco		Puente de Ixtla		Naucalpan de Juárez
	Iztapalapa		Temixco		Nezahualcóyotl
	La Magdalena Contreras		Tepalcingo		Nicolás Romero
	Milpa Alta		Tlaquiltenango		Nopaltepec
	Álvaro Obregón		Tlayacapan		Ocoyoacac
	Tláhuac		Xochitepec		El Oro

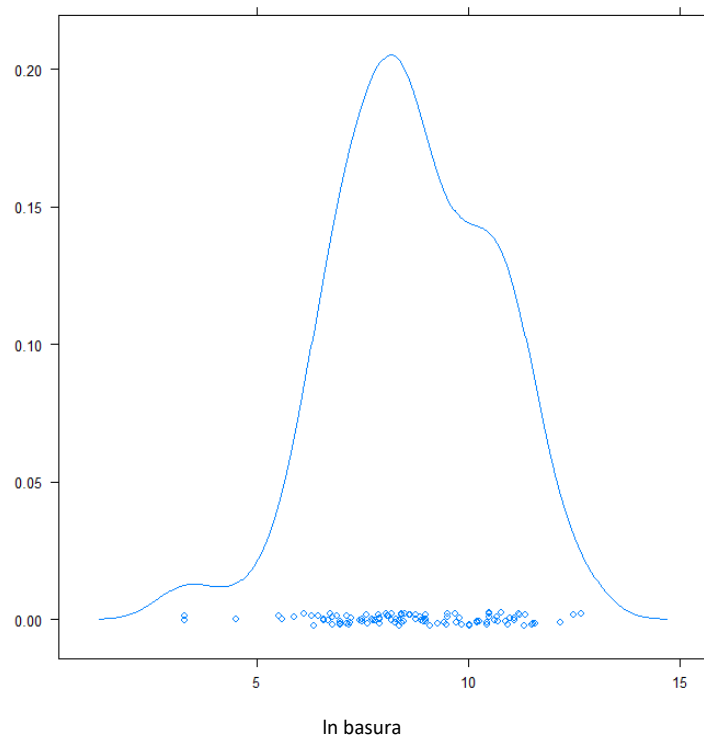
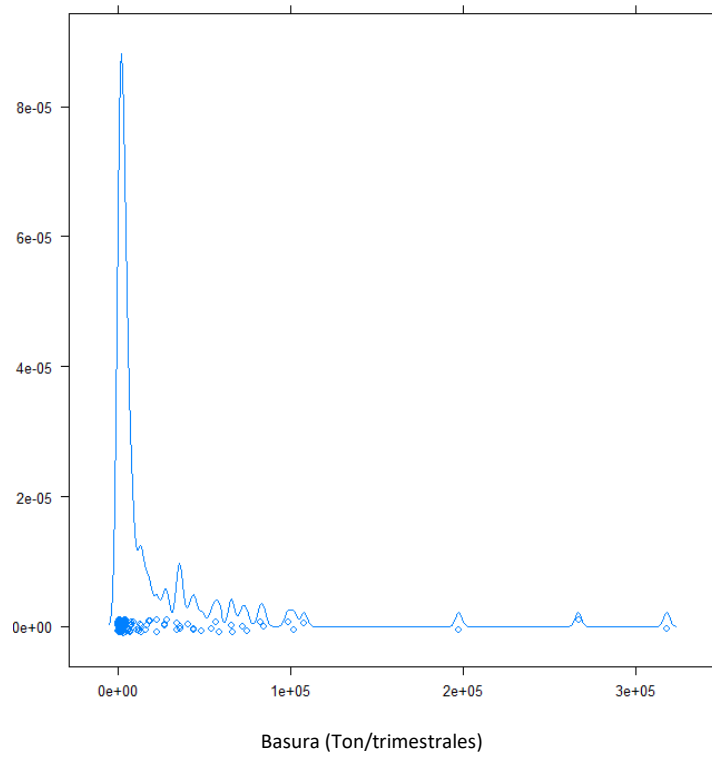
	Tlalpan		Yautepec		Ozumba
	Xochimilco	Estado de México	Amatepec		La Paz
	Benito Juárez		Amecameca		Polotitlán
	Cuauhtémoc		Apaxco		San Mateo Atenco
	Miguel Hidalgo		Atenco		Sultepec
	Venustiano Carranza		Atizapán de Zaragoza		Tecámac
<b>Hidalgo</b>	Almoloya		Atlacomulco		Temascalapa
	Huejutla de Reyes		Calimaya		Teoloyucan
	Ixmiquilpan		Coacalco de B.		Tepetlixpa
	Juárez Hidalgo		Coyotepec		Tepotztlán
	La Misión		Cuautitlán		Tequixquiac
	Pachuca de Soto		Chalco		Texcoco
	Mineral de la Reforma		Chicoloapan		Tlamanalco
	San Bartolo Tutotepec		Chiconcuac		Tlalnepantla de Baz
	Tepeji del Río de Ocampo		Chimalhuacán		Toluca
	Tezontepec de Aldama		Almoloya de Juárez		Tultepec
	Tizayuca		Ecatepec de Morelos		Tultitlán
	Tulancingo de Bravo	Huehuetoca		Villa del Carbón	
	Yahualica	Huixquilucan		Villa Victoria	
	Zacualtipán de Ángeles	Ixtapaluca		Zinacantepec	
<b>Morelos</b>	Atlatlahucan	Ixtapan de la Sal		Zumpahuacán	
	Axochiapan	Jaltenco		Zumpango	
	Ayala	Jilotepec		Cuautitlán Izcalli	
	Cuautla	Jilotzingo		Valle de Chalco Solidaridad	
	Cuernavaca	Juchitepec			

Fuente: elaboración propia, 2019.

### 3.1.1 Análisis descriptivo

Los datos de residuos sólidos son resultado de la recolección municipal, la cual consta en la información reportada por cada municipio. Como se observa en la gráfica 3.1., el mínimo de residuos recolectados trimestralmente es de 27 toneladas y el máximo llega hasta 317 970 toneladas. Por otro lado, la distribución en el ingreso promedio trimestral por hogar relévela la disparidad de ingresos por municipio; el dato mínimo del ingreso promedio trimestral por hogar es de \$10 644 pesos y el máximo es de \$208 883. También se deja ver, la distribución de la variable dependiente en sus dos versiones: generación de basura y el logaritmo natural del mismo.

Grafica 3.1. Distribución de la generación de residuos sólidos municipales, 2010



Fuente: elaboración propia

La estadística descriptiva de las variables utilizadas en el modelo se describe brevemente en la tabla 3.3, comenzando por la variable generación de residuos sólidos *basura*; también se utilizaron dos variables de control demográfico, *pob* y *dens*; tres variables que reflejan el nivel de vida de los hogares son *refri*, *auto* y *g\_en*; además se agregaron dos variables que muestran el tamaño de la economía del municipio: *mdo* y *ue\_t*.

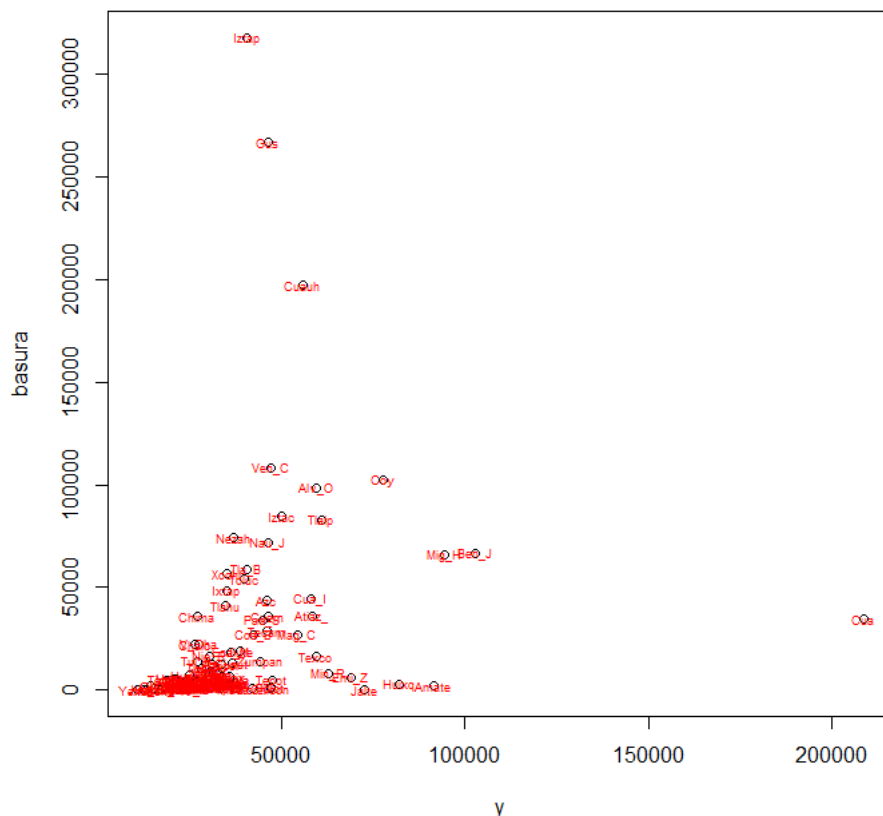
Tabla 3.3. Medidas de tendencia de las variables utilizadas

Variable	Mínimo	Mediana	Media	Máximo	Desviación estándar
<i>basura</i>	27	4635	24270	317970	48802.47
<i>ibas</i>	3.296	8.441	8.662	12.67	1.873921
<i>pob</i>	3193	97644	231476	1815786	319493.2
<i>lpob</i>	8.069	11.489	11.548	14.412	1.3
<i>dens</i>	28.77	712.43	2993.45	17352.58	4410.7
<i>ldens</i>	3.359	6.569	6.788	9.761	1.7
<i>lauto</i>	6.663	10.413	10.387	13.488	1.6
<i>y</i>	10644	33332	38296	208883	24253.8
<i>ly</i>	9.273	10.414	10.429	12.25	0.5
<i>refri</i>	1583	61396	187846	1588583	284558.3
<i>lrefri</i>	7.367	11.023	11.059	14.278	1.6
<i>ue_t</i>	0.003253	0.016697	0.017537	0.108331	0.01
<i>lue_t</i>	-5.728	-4.093	-4.165	-2.223	0.5
<i>mdo</i>	0	2.5	10.18	136	18.6
<i>g_en</i>	64.27	932.48	964.19	2552.58	367.9
<i>area</i>	5	124.5	169.65	639	142.18
<i>tianguis</i>	0	6	24.55	343	48.09

Fuente: elaboración propia

En la gráfica 3.2. se observa un diagrama de dispersión entre la generación de residuos y el ingreso. Se puede notar que existe una fuerte correlación entre el nivel de ingresos y la generación de residuos sólidos municipales. El diagrama sugiere que la mayoría de las demarcaciones tienen un ingreso promedio por hogar menor a \$50 000 trimestrales, mientras que Cuajimalpa es la delegación con mayores ingresos promedio \$ 208 883 y es el punto más alejado a la derecha, seguido por Benito Juárez, con \$102 634, y Miguel Hidalgo, con \$94 374. Por otro lado, la generación promedio de residuos sólidos de las demarcaciones estudiadas es menor a 25 000 toneladas por trimestre; sin embargo, Iztapalapa es la delegación con mayor generación de residuos, que por mucho sobrepasa el promedio de 317 970 ton/trimestre y es el punto más alto en la gráfica, seguido de la delegación Gustavo A. Madero, con 266 850 y Cuauhtémoc, con 197,280 toneladas/trimestre.

Gráfica 3.2. Diagrama de dispersión de la generación de basura y el ingreso, 2010



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2 Análisis multivariado

El análisis multivariado comprende el estudio estadístico de varias variables medidas en elementos de una población con los objetivos de 1) disminuir el número de variables utilizadas, 2) encontrar grupos en los datos, 3) clasificar nuevas observaciones en grupos definidos y 4) relacionar dos conjuntos de variables (Peña, 2002).

En este capítulo se utilizó el análisis multivariante con dos de estos objetivos: relacionar dos conjuntos de variables para conocer la importancia de las variables usadas para explicar el fenómeno de la generación de residuos sólidos (análisis de componentes principales) y encontrar grupos en los datos para conocer el comportamiento grupal, por municipio, de la generación de residuos sólidos (análisis de *cluster*).

#### 3.1.2.1 Componentes principales

El análisis de componentes principales es una herramienta exploratoria que tiene por objeto reducir el número de variables, como combinaciones lineales de las originales. Esta técnica se puede utilizar



para representar óptimamente en un espacio general p-dimensional y para transformar las variables originales, correlacionadas, en variables no correlacionadas.

En el análisis de componentes principales aquí realizado se utilizaron ocho variables: tres de ellas que representan la capacidad de compra (*ingtot*, *g\_energia* y *v\_aut*) en el municipio estudiado, dos variables demográficas (*pob\_10* y *area*) y dos variables más que reflejan el tamaño de la economía (*ue\_t*, *tianguis*) y la variable principal generación de basura (*basura*).

La combinación lineal del análisis de componentes principales nos arroja los resultados de la tabla 3.4, en la cual se observa que el primer componente explica 98% de la varianza de los ocho componentes principales, con los primeros dos componentes se puede explicar prácticamente toda la variabilidad (99%).

Tabla 3.4. Varianza explicada y proporción acumulada por componente principal

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Desviación estándar	3.49E+05	3.12E+04	2.86E+04	1.95E+04	2.25E+03	2.57E+02	1.36E+02	1.84E+01
Proporción de varianza	9.82E-01	7.87E-03	6.59E-03	3.09E-03	4.08E-05	5.32E-07	1.50E-07	2.73E-09
Proporción acumulada	9.82E-01	9.90E-01	9.97E-01	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

Fuente: elaboración propia, 2019.

En la tabla 3.5 se reportan los vectores propios y se observa que el primer componente principal está compuesto de las variables población, pertenencia de auto en el hogar y generación de basura.

Llama la atención que todas las variables son negativas, por lo que el resultado del componente será negativo en su totalidad, lo cual implica que los municipios con mayor población tendrán valores negativos altos. Por otro lado, la variable que tiene mayor peso, es decir, que explica más la variabilidad en el primer componente es población (*pob\_10*). Esta variable explica el doble de la variabilidad del componente que las variables generación de basura y auto. Por otro lado, el segundo componente, además de tener la misma combinación de variables del componente primero, contiene la variable ingreso (*ingtot*). La variable que explica este segundo componente es basura; el signo predominante de este componente es negativo, ya que todas las variables son negativas excepto *pob\_10*.

Tabla 3.5. Cargas por componente principal

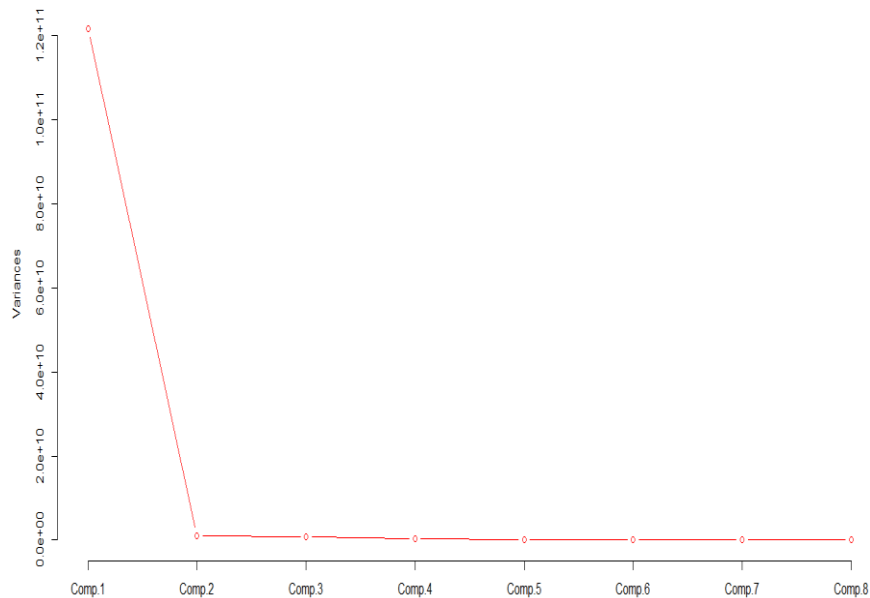
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
<i>IngTot</i>		-0.349	-0.482	0.803				
<i>pob_10</i>	-0.911	0.196	0.275	0.233				
<i>g_energia</i>						-0.996		
<i>v_aut</i>	-0.396	-0.19	-0.727	-0.526				
<i>ue_t</i>					-0.998			
<i>Bas</i>	-0.109	-0.896	0.401	-0.151				
<i>Área</i>							-0.996	
<i>tianguis</i>								1
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
SS loadings	1	1	1	1	1	1	1	1
Proporción varianza	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
Varianza acumulativa	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1

Fuente: elaboración propia, 2019.

Nota: los números que no aparecen en la tabla 3.5 son tan pequeños que no figuran; sin embargo, no pueden ser tomados como ceros.

El *scree plot* sugiere el número de componentes que hay que considerar. En la gráfica 3.3 se confirma lo que se analizó en las cargas: el primer componente principal es suficiente para explicar la variabilidad de la información. Como se observa en la gráfica, existe una súbita caída en la aportación de la varianza desde el primer componente. Las pendientes de los subsecuentes componentes son tan pequeñas que parecen líneas horizontales.

Gráfica 3.3. Variabilidad explicada por componente principal

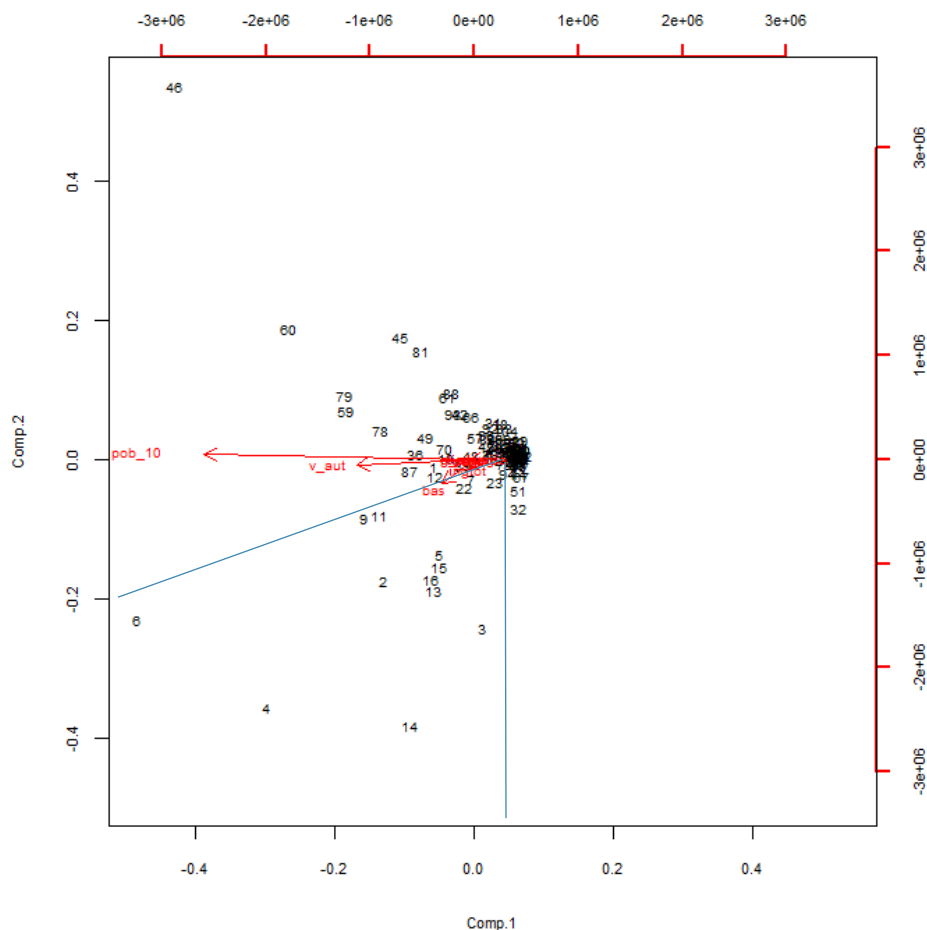


Fuente: elaboración propia, 2019.

En el biplot mostrado en la gráfica 3.4 se observan unas flechas de color rojo, cada una representa una variable; la longitud de la flecha representa la importancia de cada carga y la dirección de la flecha marca el espacio de importancia de esa variable. Las demarcaciones que se encuentren en la dirección que marca la flecha serán los de mayor carga. La variable *pob\_10* tiene la mayor longitud y apunta a la izquierda, por tratarse de cargas negativas. Las demarcaciones más pobladas son (6) Iztapalapa, (46) Ecatepec de Morelos, (4) Gustavo A Madero. Por otro lado, las demarcaciones con mayor generación de basura son (6) Iztapalapa, (4) Gustavo A Madero, (9) Álvaro Obregón, (11) Tlalpan y (2) Coyoacán.

Una parte importante es la dispersión de los datos. Puede observarse que existe un pelotón de datos al centro del biplot: son demarcaciones con población, generación de basura, tenencia de autos e ingresos promedio; después se van dispersando en diferentes radios, dependiendo de la variable analizada. La importancia de este análisis consiste en vislumbrar las demarcaciones con mayor generación de basura y mayores ingresos. Para ello se generó un espacio, con líneas azules, marcado por las variables de nuestro interés: ingreso y basura. Algunas de las demarcaciones que se encuentren entre estas dos líneas serán estudiadas en siguientes secciones; es decir, Coyoacán, Cuajimalpa, Gustavo A Madero, Iztacalco, Magdalena Contreras, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Pachuca.

Gráfica 3.4. Cruce del primer y segundo componente



Fuente: elaboración propia, 2019.



En el caso del segundo ejercicio, el dendograma y la estadística por grupo se puede revisar en el anexo 3, se utilizó como variable de control el primer componente principal del análisis de la sección anterior (CP1), para realizar el ejercicio y comparar los resultados. Sin embargo, no se consideró porque el resultado de los conglomerados del grupo 2 y grupo 3 no es muy claro y existen inconsistencias en la estadística de grupos. Por lo tanto, se le dio importancia al primer ejercicio que tiene como variable de control el ingreso promedio.

### 3.1.2.3 Clasificación de los municipios

En la tabla 3.6 se observa la estadística descriptiva por grupo. En el grupo 1 se encuentra 26% de las demarcaciones, en las cuales los hogares tienen en promedio los menores ingresos (\$20 392 al mes); el grupo 2 está conformado por 41% de las demarcaciones en donde los ingresos mensuales por hogar van de \$25 683 a \$37 047; el grupo 3 representa 25% de las demarcaciones, cuyos hogares tienen ingresos mensuales promedio de \$48 876; finalmente, el grupo 4 está formado por 7% de las observaciones y es en donde se encuentran los hogares que en promedio tienen los mayores ingresos, que van desde \$68 958 hasta \$208 883 y el hogar promedio tiene cuenta con \$99 815 mensuales.

Tabla 3.6. Estadística del ingreso por grupo

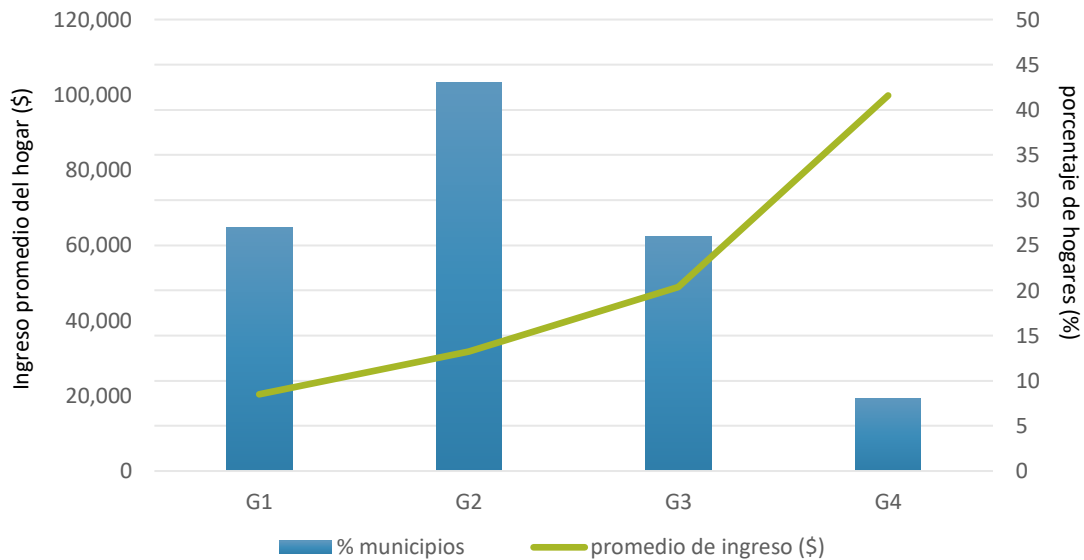
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Número de observaciones	27	43	26	8
Mínimo	\$10,644	\$25,683	\$38,739	\$68,958
Mediana	\$21,925	\$31,954	\$46,697	\$86,834
Promedio	\$20,392	\$31,696	\$48,876	\$99,815
Máximo	\$24,721	\$37,047	\$62,691	\$208,883
Desviación estándar	\$4,149	\$3,781	\$7,249	\$45,533

Fuente: elaboración propia, 2019

En la gráfica 3.6 se observa la distribución del ingreso en los grupos generados por el análisis de *cluster*. Se puede ver que 70% de las demarcaciones estudiadas tiene un ingreso promedio de menos de \$40 000 por hogar al mes, mientras que el ingreso del 30% restante se encuentra entre los \$49 000 y los \$100 000 mensuales.

Consideremos el grupo 4. A pesar de ser el más pequeño, será el más importante en nuestro análisis debido a que en él encontraremos las ocho demarcaciones en donde los hogares cuentan con mayores ingresos. En la siguiente sección se revisará la correlación que existe entre el nivel de ingresos y la generación de basura para conocer el comportamiento de las demarcaciones ante las dos variables y elegir la demarcación que se utilizará como caso de estudio en el capítulo 4.

Gráfica 3.6. Ingresos promedio por grupo



Fuente: elaboración propia.

### 3.2 Estimación de la generación de residuos sólidos en la ZMVM: ejercicio teórico de la curva de Kuznets

El estudio de la hipótesis curva de Kuznets aplicado a temas de deterioro ambiental es relativamente nuevo. Surgió en la década de los años noventa (Grossman y Krueger, 1991; Banco Mundial, 1992; Panayotou, 1993) con variables como contaminación del aire y contaminación del agua. La incorporación del tema de residuos sólidos ha sido lenta, ya que por mucho tiempo la falta de datos impidió que se vislumbrara la magnitud del problema. En algunos países, como Estados Unidos y algunos de Europa, la administración del recurso o desecho ha tenido continuidad, por lo que se ha logrado crear estimaciones y cuantificaciones de la generación de residuos. Precisamente en estos países es en donde surgen los primeros estudios de la curva de Kuznets que incorpora el tema de los residuos sólidos (WKC).

En esta sección del capítulo se aplicó la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets a la generación de residuos sólidos municipales en la ZMVM. Se hicieron tres modelos econométricos: el primero es un modelo de variables instrumentales (VI); después se hizo un modelo de mínimos cuadrados en dos etapas (2OLS); y, sólo como punto de comparación se efectuó un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

En esta sección se mostrarán los resultados de la aplicación del trabajo teórico de la curva de Kuznets al tema de los residuos sólidos municipales en la ZMVM, utilizando el ingreso promedio en los hogares y el promedio de residuos recolectados según la demarcación. Se utilizó información del año 2010 de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) y del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales.

### 3.2.1 Definición de Curva de Kuznets

A partir del *Informe sobre el Desarrollo Mundial*, publicado por el Banco Mundial en 1992, se adoptó como válida la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets (CAK). La hipótesis sostiene que el tamaño de la economía, los cambios en la estructura económica, los rezagos tecnológicos y el nivel de gasto son indicadores de desarrollo económico (PIB) y están relacionados con la degradación o presión ambiental (deforestación, erosión y contaminación) (Panayotou, 1993).

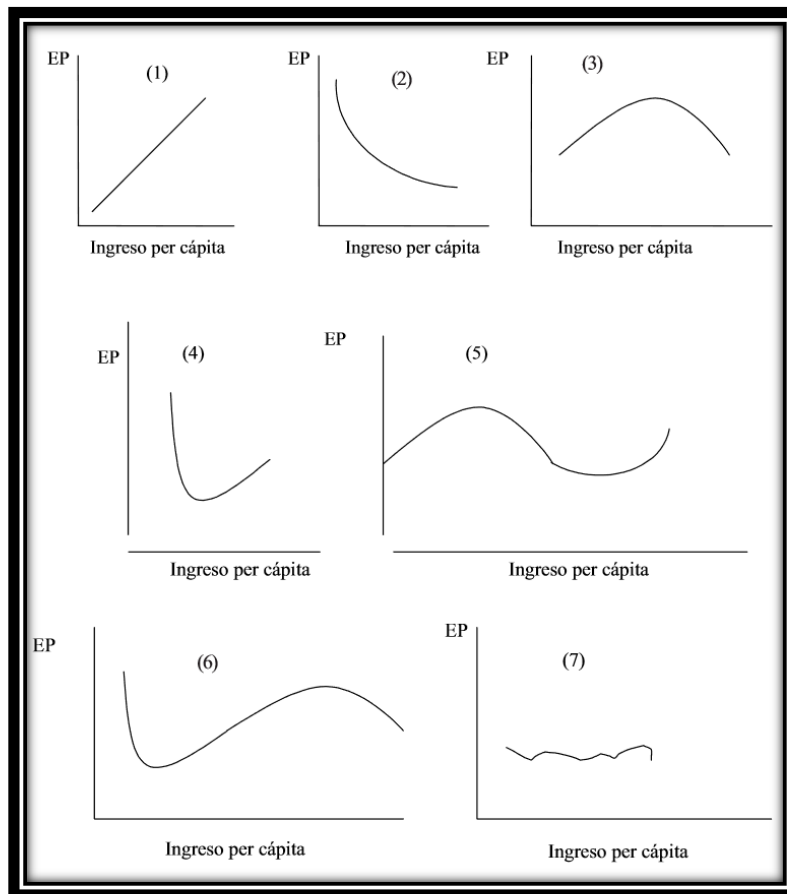
El método más común para examinar la posible relación entre presión ambiental e ingreso es la que se estima con el siguiente modelo de forma reducida (Correa, 2004):

$$EP = \alpha_0 + \beta_1 y + \beta_2 y^2 + \beta_3 y^3 + \beta_4 Z + \varepsilon_i \quad (i)$$

En donde  $EP$  es presión ambiental, entendida para nuestro problema como la generación de residuos sólidos;  $y$  es el ingreso; y  $Z$  es otras variables de influencia sobre la presión ambiental.

La ecuación (i) se puede expresar gráficamente de siete formas diferentes que se muestran en la figura 3.1. La relación de la Curva de Kuznets que se busca, en forma de U invertida, es sólo uno de los posibles resultados de la ecuación (i).

Figura 3.1. Posibles comportamientos entre la presión ambiental (EP) y el PIB per cápita.



Fuente: Correa (2004).

La hipótesis del capítulo a comprobar es la (3).

- (1)  $\alpha_1 > 0$ ,  $\beta_2 = 0$ , and  $\beta_3 = 0$  *implica relación lineal con pendiente decreciente*
- (2)  $\alpha_1 < 0$ ,  $\beta_2 = 0$ , and  $\beta_3 = 0$  *implica relación lineal con pendiente creciente*
- (3)  $\alpha_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  and  $\beta_3 = 0$  *implica una relación de forma U invertida. Hipótesis de EKC*
- (4)  $\alpha_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  and  $\beta_3 = 0$  *implica una relación de forma U*
- (5)  $\alpha_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  and  $\beta_3 > 0$  *implica una relación cúbica de forma N*
- (6)  $\alpha_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  and  $\beta_3 < 0$  *implica una relación de forma inversa a la N*
- (7)  $\alpha_1 = 0$ ,  $\beta_2 = 0$ , and  $\beta_3 = 0$  *implica que no hay relación entre la degradación ambiental y el ingreso*

### 3.2.2 Literatura revisada: La curva ambiental de Kuznets y los residuos sólidos

La hipótesis de la curva de Kuznets tendrá el siguiente recorrido, en un primer momento el incremento en el PIB per cápita registra un incremento en la generación de residuos; en un segundo punto se da un desacoplamiento y el incremento del PIB se puede reflejar en un decremento de la generación de residuos (Kinnaman, 2009) debido al aumento en la producción de tecnologías limpias, lo que dibujará una curva en forma de U invertida.

De los primeros trabajos que relacionan el ingreso y los residuos publicados en 1995 son Beede, Beede y Bloon, quienes utilizan una base de datos de sección cruzada para Estados Unidos y un panel de datos para diversos países. Llegan a la conclusión de que existe una relación positiva entre las variables estudiadas, pero el ingreso per cápita es inelástico a la generación de residuos sólidos.

Otros trabajos pioneros que tienen por objetivo encontrar la relación entre el concepto de residuos sólidos y la curva de Kuznets son: Cole (1997), quien no encontró evidencia de U invertida; Berrens (1998) y Wang (1998) encontraron evidencia de U invertida y de elasticidad negativa.

Trabajos más recientes muestran que el desarrollo de la trayectoria de la curva de Kuznets se puede observar con datos de sección cruzada de un país o de un grupo de países (Dinda, 2004), en los últimos años, los trabajos al respecto han utilizado modelos con panel de datos. Existe más bibliografía: Andreoni (2000) Chavas (2004), Raymond (2004), Grijalva (2007), Lipford (2011), Teie (2011) y Catalán (2014). Los últimos trabajos se publicaron recientemente, por lo que se considera una preocupación real y actual en la investigación de economía ambiental.

En la tabla 3.7 se resumen 10 trabajos de investigación que utilizan la curva de Kuznets aplicada a residuos de 2000 al 2013; la mayoría de los trabajos han utilizado los datos de residuos que administra la OCDE y otros trabajos son de la Unión Europea. En cuanto a las metodologías utilizadas se encuentran principalmente panel de datos y sección cruzada. De los diez estudios revisados, en



ocho de ellos se encontraron pruebas suficientes de la existencia de la función de la curva de Kuznets entre el ingreso y el indicador de residuos utilizado.

Tabla 3.7. Bibliografía de trabajos de la curva de Kuznets y residuos sólidos.

Autor (año de publicación)	País /área geográfica	Periodo de tiempo	Tipología de residuo	Panel / sección cruzada	Evidencia EKC
Anderson, 2007	Países de EU25 y EU10	Antes de 2000	Residuos y material flotante	Panel	Generación de residuos está vinculada a las actividades económicas, causando una curva de Kuznets de residuos.
Fischer-Kowalski y Amann, 2001	Países de la OECD	1975-1995	Relleno sanitario y generación de residuos	Panel	Absoluta desvinculación para rellenos sanitario pero no para la generación de residuos.
Johnstone y Laborne, 2004	Países de la OECD	1980-2000	Residuos sólidos municipales	Panel	Elasticidad positiva, pero más baja que 1.
Karousakis, 2009	Países de la OECD	1980-2000 (4 años)	Residuos sólidos municipales	Panel	MSW función monótona con el ingreso con una elasticidad alrededor de 0.42-0.45.
Mazzanti y Zoboli, 2005 Mazzanti, 2008	Países europeos	1995-2000	Residuos municipales y de embalaje	Panel	Ni absoluta ni relativa vinculación (elasticidad igual a 1).
Mazzanti, 2008	Italia	1999-2005	MSW	Panel	Vinculación relativa; señales débiles de vinculación absoluta (algunas provincias ricas).
Raymond, 2004	Varios países	2001-2002	Residuos/ indicador de consumo	Sección cruzada	Evidencia de EKC.
Seppala, 2001	Cinco países industriales	1975-1994	Materia directa flotante	Panel	No hay evidencia de vinculación.
Trujillo, 2013	Colombia	2008-2011	Disposición de residuos	Panel	Evidencia de EKC.
Graciano, 2010	Italia	2004-2006	Generación de residuos sólidos de hogares	Panel	Encuentra evidencia que soporta la existencia de la EKC.

Fuente: elaboración propia con base en Mazzanti (2009) e investigación propia.

En la revisión bibliográfica también se encuentran documentos que hacen críticas al modelo de la curva de Kuznets. Estas críticas pueden agruparse en tres aspectos: la crítica conceptual, la crítica metodológica (Dinda, 2004) y, recientemente, se agregó una tercera crítica por Stern. La primera enfatiza que el concepto de la EKC no puede aplicarse con éxito a todos los factores ambientales (uso de tierra y pérdida de biodiversidad), sobre todo a aquellos factores con dificultades para ser medibles. La segunda crítica es el uso de un panel de datos en la modelación, dada la heterogeneidad de los países; supone que los países utilizados llevan la misma tendencia dado la utilización de los mismos factores productivos (Stern, 1998), bajo iguales sistemas económicos y sociales y con factores biofísicos y medioambientales similares. La tercera crítica es la econométrica (Stern, 2004), que deja ver cuatro puntos que hay que resolver en las funciones que utilizan panel

de datos y series de tiempo: 1) problemas de heteroscedasticidad, 2) problemas de simultaneidad, 3) problemas de omisión de variables y 4) problemas de cointegración.

### 3.2.3. Especificaciones de los modelos

Para la comprobación de la hipótesis de la EKC, usualmente se utiliza un panel de datos (Stern, 2004); sin embargo, también hay trabajos de sección cruzada, es el caso que se mostrará en este documento. Por otro lado, como se observa en la figura 2, es evidente que se utilizará una transformación monótonica de la variable *res*, ya que, al hacerla logarítmica, *lres* se produce una distribución mucho más normal. Entonces, la especificación que se utilizará será logarítmica – nivel.

Adicionalmente, en este documento se modelará de cuatro formas: 1) Forma reducida de una función cuadrática del ingreso, 2) agregando otros factores a la ecuación cuadrática, 3) función cubica del ingreso más otros factores y 4) función cuadrática del ingreso más otras variables instrumentales.

$$lbas = \beta_0 + \beta_1Y + \beta_2Y^2 + \epsilon_i, \quad (1)$$

$$lbas = \beta_0 + \beta_1Y + \beta_2Y^2 + \beta_3Y^3 + \epsilon_i, \quad (2)$$

$$lbas = \beta_0 + \beta_1Y + \beta_2Y^2 + \beta_3Y^3 + \beta_4pob + \epsilon_i \quad (3)$$

$$lbas = \beta_0 + \beta_1Y + \beta_2Y^2 + \beta_3Y^3 + Z'\gamma + \epsilon_i \quad (4)$$

donde  $Z'\gamma = \gamma_4pob + \gamma_5ue\_t + \gamma_6mdo + \gamma_7auto \dots$  (4.1)

En las primeras tres funciones se propone un método de mínimos cuadrados ordinarios, y en la cuarta función se estimará con dos métodos diferentes: con variables instrumentales y con un modelo bietápico de mínimos cuadrados ordinarios.

### 3.2.4 Resultados de los modelos [OLS, IV, 2OLS]

En la tabla 3.8 se observan los resultados de las funciones estimadas con mínimos cuadrados ordinarios. Los cinco modelos cumplen con los signos esperados y son estadísticamente significativos. En estos modelos, el coeficiente de la pendiente mide el cambio proporcional en el logaritmo de basura (*lbas*) y se pueden interpretar como semielasticidades.

En el caso del modelo 1, la interpretación es que la generación de basura se incrementa a una tasa trimestral de 0.01% por cada peso que aumenta el ingreso en los hogares. El modelo 2 incorpora la variable del ingreso al cubo  $Y^3$ , cumple con los signos esperados y tiene una semielasticidad que se puede interpretar como un incremento de 0.02% en la generación de residuos resultado del aumento en una unidad de ingreso. El modelo 2.1 es una función cuadrática que incorpora la

variable exógena *población*, el cambio proporcional es menor (0.005%) a los modelos anteriores, pero mejora considerablemente la proporción de la variación ( $R^2$ ) explicada por las variables.

Por otro lado, los modelos (3) y (3.1) son pequeñas modificaciones de los modelos anteriores, meramente comparativos y que como se observa tienen una tasa de crecimiento muy parecida (0.02%) a los ejercicios anteriores.

Tabla 3.8. Resultados de los modelos de Mínimos Cuadrados Ordinarios

Modelo	Variable dependiente: <i>lbas</i>						$R^2$
	Constante	$Y$	$y^2$	$y^3$	Población	Densidad	
(1)	5.802e+00	9.455e-05	-3.710e-10				0.294
(2)	2.446e+00	2.909e-04	-3.250e-09	9.782e-15			0.413
(2.1)	6.133e+00	5.584e-05	-1.976e-10		3.437e-06		0.595
(3)	3.414e+00	2.266e-04	-2.733e-09	8.612e-15		2.148e-04	0.617
(3.1)	3.907e+00	1.880e-04	-2.097e-09	6.393e-15	3.097e-06		0.643

Fuente: elaboración propia con base a las estimaciones reportadas.

Nota: esta tabla reporta estimadores de cinco regresiones separadas, que corresponden a las ecuaciones de la sección 3.2.3.

En la tabla 3.9 se observan los resultados del modelo estimado por el método de variables instrumentales (IV), mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas (2OLS) y el comparativo OLS. También se observa que los coeficientes estimados muestran los signos según el marco teórico de la curva de Kuznets, son estadísticamente significativos y además son muy homogéneos entre los tres métodos (IV, OLS y 2OLS). Las pruebas de los modelos se encuentran en el anexo.

En donde el coeficiente del ingreso es positivo y va de 5.5E-05 a 1.25E-04, el coeficiente del ingreso al cuadrado tiene signo negativo, como se esperaba, con un rango de entre -5.3E-10 y -1.9E-10, y el coeficiente de población es positivo y va de 2.51 E-06 a 3.43E-06. Por otro lado, la proporción de la variación  $R^2$ , explicada por las variables  $y$ ,  $y^2$  y  $pob$ , es muy homogénea en los tres modelos; sin embargo, la más cercana a uno es la del modelo 2OLS.

Se puede observar en el modelo de variables instrumentales y en el modelo de mínimos cuadrados en dos etapas que tienen prácticamente la misma relación log-nivel; es decir que, el cambio proporcional trimestral es de 0.012% más generación de basura por cada peso aumentado en el ingreso. El caso del modelo de mínimos cuadrados está subestimado, 0.005% trimestral, seguramente por los problemas de autocorrelación que genera el modelo OLS y que son corregidos con modelos simultáneos como los utilizados IV y 2OLS.

Tabla 3.9. Resultados de los tres modelos (2OLS, OLS y IV)

Variable	IV	2OLS	OLS
<i>v_dep</i>	<i>lbas</i>	<i>lbas</i>	<i>lbas</i>
const	6.81 (1.014)***	4.47 (7.109e-01)***	6.133 (3.708e-01)***
$Y$	1.245E-04 (3.878e-05)**	1.21E-04 (2.714e-05)***	5.584E-05 (1.304e-05)***

<i>y</i> <sup>2</sup>	-5.32E-10 (2.069e-10)*	-5.175e-10 (1.351e-10)***	-1.976E-10 (6.908e-11) **
<i>Pob</i>	2.51E-06 (6.453e-07)***	2.60E-06 (4.890e-07)***	3.437E-06 (3.983e-07)***
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.4824	0.6013	0.5956

Códigos de significancia 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Fuente: elaboración propia con base a las estimaciones reportadas.

Nota: esta tabla reporta estimadores de tres regresiones por separado.

Los datos que se encuentran entre paréntesis son el error estándar.

Con la evidencia anterior se puede comprobar la hipótesis de la existencia de una curva de Kuznets entre la generación de basura municipal y el ingreso trimestral de los hogares en la ZMVM. Se encontró una relación positiva con el tamaño de la población, el tamaño de la economía y el gasto del hogar (gasto en energía eléctrica y uso de automóvil).

La metodología utilizada es la que se acostumbra en la literatura arriba citada, pero a diferencia de esos trabajos, el presente tiene como características 1) la zona geográfica, el uso de datos de la ZMVM; 2) el uso de una variable instrumental del tamaño de la economía municipal,  $ue_t$ ; y 3) el contraste entre los modelos econométricos.

### Conclusión 3

#### Criterios de elección del municipio para estudio de caso

La idea central del ejercicio estadístico y econométrico presentado en este capítulo fue encontrar la observación de la demarcación que se encuentre en el punto máximo de la curva de Kuznest, ya que ésta representa el nivel máximo de generación de residuos sólidos, dado el nivel de ingresos más alto para la ZMVM. Este punto representará un problema a futuro, al que se enfrentarán las demarcaciones en donde los hogares vayan incrementando el ingreso, por ende, su consumo y en consecuencia la generación de residuos, el problema irá creciendo hasta alcanzar 1 500 ton/día, antes de encontrar un descenso en la generación. La Gráfica 2A, del anexo, comprueba la hipótesis de una curva de Kuznest para la generación de residuos sólidos en la ZMVM.

Un análisis paralelo obtenido del análisis de multivariado, indica que: un cuarto de la muestra en los hogares de la ZMVM percibe hasta \$25 000 trimestrales, esto es, \$8 300 mensuales. En esa misma lógica, 89% de los hogares observados tienen un ingreso menor a \$55 000 trimestrales o \$18 300 mensuales. En el máximo punto de generación de basura, antes de que la pendiente sea cero, los hogares en promedio cuentan con más de \$100 000 pesos trimestrales de ingresos, finalmente, el ingreso máximo representado por una sola observación marca la longitud de la curva en \$208 000 pesos trimestrales.

Benito Juárez fue la demarcación de la ZMVM que representó la generación máxima de basura determinado por el ingreso del hogar y que se tomó como caso de estudio en el capítulo 4, siendo la demarcación en donde la elasticidad ingreso fue pequeña, pero suficientemente positiva como para darnos información valiosa en relación a la gestión de la basura, además ayudó a entender el comportamiento y la tendencia en la administración de los residuos cuando los ingresos de las demarcaciones que vienen detrás de la curva mejoren.

Por otro lado, existe la proposición para las demarcaciones más pobres que al pasar a los \$35 000 mensuales, los hogares de estos municipios pasarán de una elasticidad positiva a una negativa, cruzando al lado derecho de la curva de Kuznets, en donde se encuentra ahora Cuajimalpa, y que con el tiempo se espera que esta demarcación también pase a un nivel más bajo de generación de basura al incrementar su ingreso.

Mientras las circunstancias de desarrollo económico mejoran para todos y conciben la disminución en la generación de basura, habrá que buscar respuestas, hallar soluciones, hacer análisis y en general mejorar el método de gestión que implicará, en 2050 el reto de administrar 709 317<sup>6</sup> toneladas/mes.

---

<sup>6</sup> Según las proyecciones de Conapo, en 2050 habrá 33 777 017 habitantes, considerando como factor 0.7 kg de basura generada por habitante al día.

# Capítulo 4 Análisis cuantitativo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la GRSU de la demarcación Benito Juárez

## Resumen

El objetivo de este capítulo es cuantificar los costos privados y externos derivados del transporte en la gestión de los residuos en la alcaldía Benito Juárez de la CDMX, así como hacer evidentes las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el transporte de la GRSU. La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> se realizó con base a los cálculos del combustible consumido por los camiones en la recolección usando técnicas geoespaciales que midieron la distancia del recorrido de la gestión desde recoger, transportar, compostar, seleccionar, compactar y disponer los residuos sólidos urbanos. Además, se realizaron entrevistas a personajes clave que arrojaron datos complementarios en el uso del combustible dentro de la GRSU. Para calcular los costos externos se utilizaron los factores de costo por tonelada emitida de CO<sub>2</sub> aplicando dos metodologías: los costos ecológicos EVR y los costos sociales de carbono SCC.

Se llegó a resultados interesantes: 1) El costo de recolección es el costo más grande en toda la cadena de gestión. 2) Los costos privados por el consumo de combustible en el transporte de los residuos sólidos en 2017 para la alcaldía Benito Juárez fueron de 60.7 millones de pesos. 3) Los costos externos con la metodología EVR ascendieron a 32.5 millones de pesos. Y 4) Los costos externos con el factor SCC sumaron 4 millones pesos.

## Introducción

Los residuos sólidos afectan mantos acuíferos, calidad de suelos, genera problemas de salud, prolifera el crecimiento de plagas y es una fuente de contaminación visual, además hay varios estudios que aseguran que “los desechos sólidos son una de las principales fuentes de generación de gases de efecto invernadero que contribuyen al fenómeno del calentamiento global de la superficie del planeta” (Tzipi, 2005).

Por lo anterior, es importante realizar un estudio detallado de las emisiones de gases efecto invernadero en el recorrido que realizan los residuos sólidos a través de la gestión de los mismos y contabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por los residuos, pero sobre todo contabilizar las emisiones generadas por el transporte utilizado para trasladarlos.

Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el transporte de los residuos sólidos no han tenido cobertura en investigaciones nacionales y, apenas algunos, internacionales relacionadas con los residuos. En el caso de México, el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGYCEI) quien se encarga de calcular las emisiones contaminantes, estima que las emisiones derivadas de los residuos en 2017 fueron de 23,897 mil toneladas en CO<sub>2</sub>e, que representa el 7% de las emisiones totales (INECC, 2019), estos cálculos con seguridad están subestimados, ya que las estimaciones de las emisiones se basan en los criterios establecidos por

el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) que identifica la existencia de “... grandes incertidumbres respecto a la cantidad de emisiones directas e indirectas y al potencial de mitigación en el sector de desechos, que se puede reducir mediante la recopilación y análisis de datos de manera sistemática y coordinada a escala nacional. No existen en la actualidad métodos de inventario para la cantidad de emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de las emisiones del transporte ni para las emisiones anuales de gases fluorinados de desechos sólidos” (IPCC, 2007).

Por lo anterior, los costos privados y los costos externos de transporte en la GRSU pasan desapercibidos en la contabilidad económica y ambiental, sin embargo, los costos de transporte pueden resultar muy importantes al analizar la rentabilidad del proceso de recolección de materiales reciclables como papel (Berglund 2003) PET, vidrio, cartón, aluminio entre otros.

Dada la importancia que tiene conocer los costos de transporte en la gestión de residuos sólidos (GRS) se realizó este capítulo que tiene por objetivo estimar las emisiones generadas en el transporte de los residuos sólidos en la alcaldía Benito Juárez. La alcaldía Benito Juárez se tomará como caso de estudio, ya que representa el punto máximo de la generación de residuos sólidos correlacionado con el nivel de ingresos, ejercicio validado por la hipótesis de la Curva de Kuznets que se realizó en el capítulo anterior.

Los objetivos de este capítulo son cuantificar los costos privados y externos, evaluar la eficiencia del transporte de los residuos sólidos en la GRSU y generar un mapa de emisiones de CO<sub>2</sub> en la cadena de GRSU para la alcaldía Benito Juárez.

El trabajo se divide en cuatro partes, primero se da una descripción de la demarcación estudiada, la segunda parte se dedicó a estudiar el transporte en la recolección de los residuos sólidos (debido a la importancia de la actividad y la cantidad de información tratada), en la tercera sección se estudiará el transporte en el resto de las actividades de gestión de residuos (estaciones de transferencia, planta de composta, plantas de selección, plantas de compactación y disposición final) después se realizará el análisis completo de costos del transporte en la GRSU y finalmente se concluye.

La metodología utilizada fue:

- Para la evaluación en la logística de recolección de los residuos se utilizaron herramientas geoespaciales para estimar las distancias en las rutas de recolección de los residuos sólidos, los cálculos se realizaron a través del paquete ArcGIS y la plataforma google-maps. Es una metodología utilizada por (Zsigraiova, 2013).
- Los costos totales se estimaron sumando los costos privados y los costos externos. Para ello, se entrevistaron a algunos actores clave de la recolección de residuos en la alcaldía, que validaran las estimaciones realizadas.
- Los costos externos por la gestión se estimaron a partir de la generación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la recolección de cada ruta y en el traslado de los residuos hasta el sitio final, sumando las distancias desde el momento de la recolección hasta el sitio final; después se aplicó el factor de conversión en emisiones de CO<sub>2</sub>, construido por el INECC, al consumo de

combustible por la distancia recorrida por los camiones recolectores y/o transportadores de residuos.

- Los costos externos se calcularon a partir del estudio de Vogtlander (2010) usando los factores de la metodología EVR. Se les aplicó el factor de los costos ecológicos del transporte de mercancías a las distancias recorridas en el proceso completo de la GRSU.
- Se utilizó la metodología de costos sociales SCC para calcular otro tipo de costos externos, usando el promedio de los estudios más relevantes de SCC en las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Finalmente se realizó un mapa de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el transporte de los residuos, para ello se sumó cada distancia recorrida en la cadena de GRSU desde la recolección de los residuos hasta llegar a su destino final.
- Es importante hacer notar que los resultados que aquí se obtienen son resultado de la información oficial, que deja de lado la información no registrada, como los “camiones recolectores de basura pirata”, las rutas, el número de veces que se recorre una ruta y por supuesto la cantidad exacta de residuos transportados.

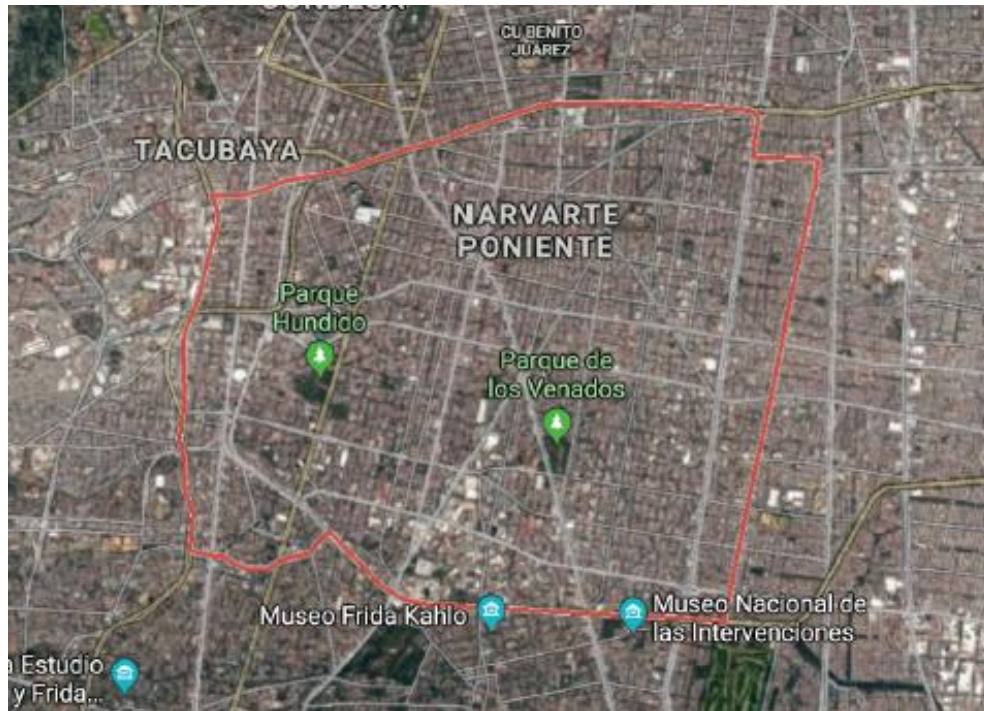


## 4.1 Descripción de la demarcación Benito Juárez

La alcaldía Benito Juárez se ubica en el área central de la CDMX con una extensión de 27 km<sup>2</sup>, se puede ver en la Figura 4.1, contiene 57 colonias y representa 1.8% del área total de la ciudad. Es una de las alcaldías más pequeñas (ocupa el 15° lugar en la CDMX) por su superficie y tiene una densidad poblacional de 14,474 habitantes por kilómetro cuadrado.

En esta sección se revisarán algunas variables que caracterizan la problemática de la GRSU en la alcaldía; variables socioeconómicas y otras relacionadas con la gestión de los residuos sólidos.

Figura 4.1. Territorio de la alcaldía Benito Juárez



Fuente: Elaboración propia con base a: Imágenes@2019Google, TerraMetrics, Datos del mapa2019 INEGI

### 4.1.1 Variables socioeconómicas

De acuerdo con la Encuesta Intercensal 2015, la población en Benito Juárez ascendía a 416,301 habitantes, cabe notar que es la alcaldía con la menor tasa de crecimiento poblacional. En 1995, la población fue de 369,956 habitantes, en el año 2000 la población decreció (2.6%) a 360,478 habitantes y en 2005 continuó a la baja (1.5%) con 355,017 habitantes, es hasta 2010 que comienza a crecer (8.5%) a 385,439 habitantes.

En materia de vivienda, en 2005 se contabilizaron 122,176 viviendas con tres habitantes en promedio. La alcaldía alcanzaba el tercer lugar del índice de desarrollo humano (IDH) a nivel nacional. Para 2015 el número de viviendas creció a 159,700 viviendas con una disminución en la

densidad habitacional, en promedio de 2.6 habitantes y paso a ser el primer lugar a nivel nacional en el IDH. Véase Tabla 4.1

Tabla 4.1. variables sociodemográficas

Periodo	Población	Tasa de crecimiento_p %	Densidad poblacional	Total de viviendas	Tasa de crecimiento_v %	Posición del IDH, 2015
1995	369,956		13,892	113,017		3er lugar
2000	360,478	-2.56	13,537	115,864	2.52	3er lugar
2005	355,017	-1.51	13,331	122,176	5.45	3er lugar
2010	385,439	8.57	14,474	141,117	15.50	1er lugar
2015	416,301	8.01	15,633	159,700	13.17	1er lugar

Fuente: 1995 INEGI Censo de Población y Vivienda 1995.

2000 INEGI XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

2005 INEGI II Censo de Población y Vivienda 2005.

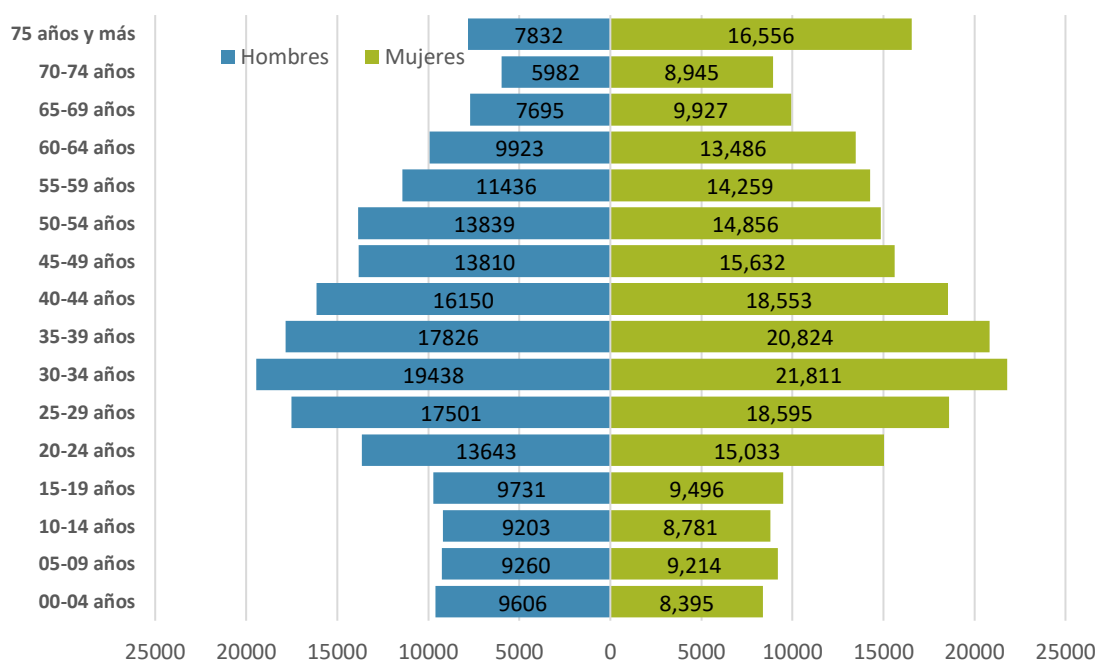
2010 INEGI Censo de Población y Vivienda 2010.

Informe de Desarrollo Humano Municipal 2010-2015}

Nota: la variable *crecimiento\_p* es el crecimiento poblacional de la variable población;  
la variable *crecimiento\_v* es el crecimiento en la vivienda

En cuanto a la distribución poblacional, en 2015, un tercio de la población de la alcaldía eran adultos entre 30 y 44 años de los cuales 53% eran mujeres. De manera particular, la población se comporta de la siguiente forma: 13% se encuentra en el rango de 1 a 14 años; 20% entre 15 y 29 años de edad, mientras que 27% de la población está entre 30 y 44 años, 20% está entre 45 y 59 años, y finalmente los habitantes con más de 60 años suman 19% de la población. La distribución detallada se observa en la Gráfica 4.1.

Gráfica 4.1. Pirámide poblacional, 2015



Fuente: Elaboración propia con base a Tabulados de la Encuesta Inter censal, INEGI 2015

Desde 2010 la alcaldía Benito Juárez tiene el primer lugar en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) del país, con un ingreso per cápita del doble de lo que registra el promedio de las alcaldías en la CDMX y cinco veces mayor del ingreso per cápita promedio municipal del país. En 2015, la brecha entre el promedio del ingreso per cápita de la alcaldía y la CDMX, se redujo mínimamente, siendo esta 1.9 veces mayor que el promedio de la CDMX y 4.9 veces mayor que en el resto de los municipios del país. Véase Tabla 4.1 y 4.2

Otra variable socioeconómica importante para el desarrollo humano es la educación; en 2010, la alcaldía tuvo en promedio tres años más de educación que el promedio en la CDMX y ocho años más que el promedio municipal del país; en 2015, Benito Juárez continúa teniendo el primer lugar, aunque la brecha se cerró con las demás entidades, fue muy lentamente.

Por otro lado, la tasa de mortalidad en 2010 es dos veces menor que el promedio de la tasa de mortalidad de la CDMX y seis veces menor que el promedio del país. Para 2015, se mantiene la tendencia, con ligeros avances para el promedio de la CDMX y el Estado de México. Véase Tabla 4.2

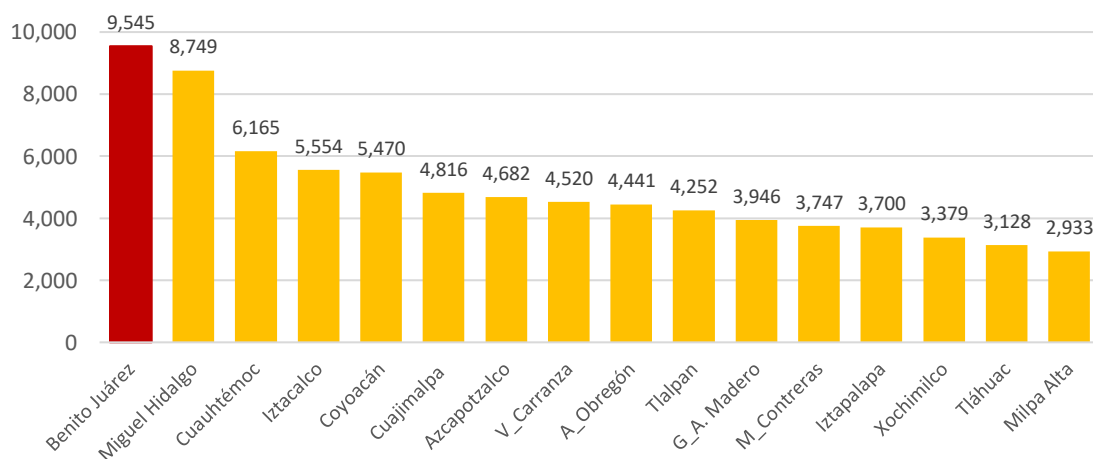
Tabla 4.2. variables socioeconómicas

AÑO	Alcaldía	Años promedio de escolaridad	Años esperados de escolarización	Ingreso per cápita mensual	Tasa de mortalidad infantil
2010	Benito Juárez	13.3	15.4	\$8,594.6	4.2
	CDMX	10.5	14.2	\$4,120.9	9.7
	México	5.73	11.6	\$1,623.7	24.8
2015	Benito Juárez	13.8	16.3	\$9,544.9	5.0
	CDMX	11.1	14.6	\$4,939.2	9.6
	México	6.42	12.11	\$1,934.9	24

Fuente: INEGI. Encuesta Inter-censal 2015

En la Gráfica 4.2 se observa que la alcaldía Benito Juárez tiene los ingresos más altos a nivel estatal, dos veces y nacional, cinco veces, esta relación se mantiene igual de 2010 a 2015. Para la CDMX la alcaldía tiene un ingreso tres veces mayor al de Milpa Alta, Tláhuac, Xochimilco y dos veces mayor al de Tlalpan, Álvaro Obregón, Venustiano Carranza, Azcapotzalco y Cuajimalpa.

Gráfica 4.2. Ingreso corriente total per cápita mensual, 2015

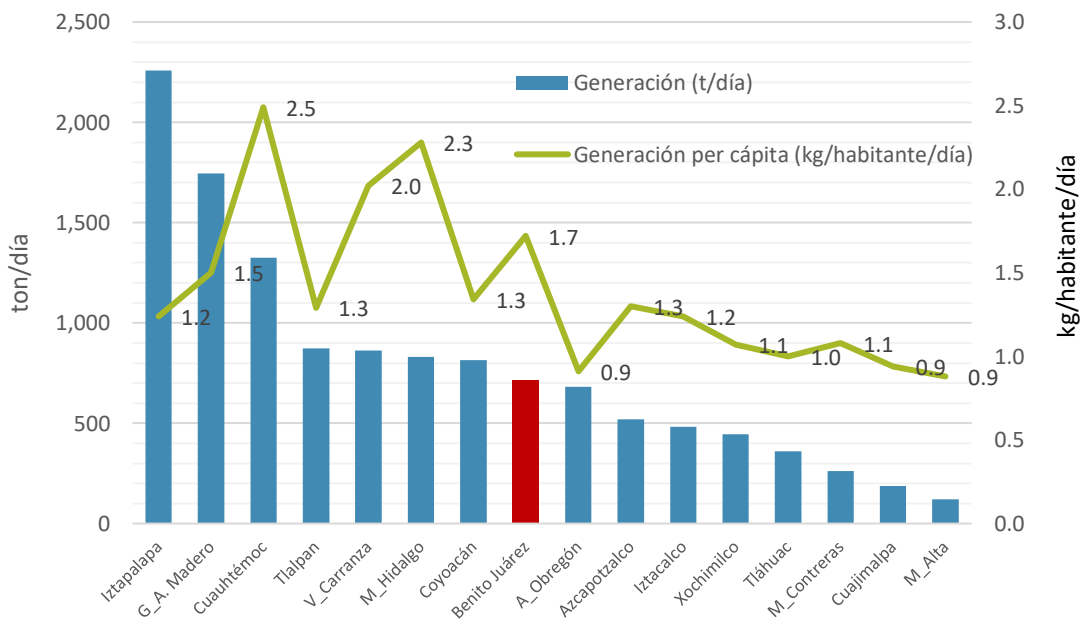


Fuente: Elaboración propia con base a Tabulados de la Encuesta Inter-censal, INEGI 2015

#### 4.1.2 Generación de residuos sólidos

En la Gráfica 4.3 se observa que la alcaldía ocupa un lugar medio en la generación bruta de residuos sólidos en la CDMX, muy por debajo de Iztapalapa y Gustavo A Madero, pero muy superior a Milpa Alta y Cuajimalpa, a pesar de que el ingreso de Benito Juárez es mayor en todos los casos (véase Tabla 1A del Anexo 4). También podemos observar que la generación de residuos per cápita, nos permite refinar el análisis en las grandes generaciones de residuos sólidos (mayor a 2 ton/día), quitando el factor población, la alcaldía Cuauhtémoc, seguido de Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza y Benito Juárez; por el contrario, las alcaldías con menor generación per cápita (menos de 1 ton/día) son Milpa Alta, Álvaro Obregón y Cuajimalpa.

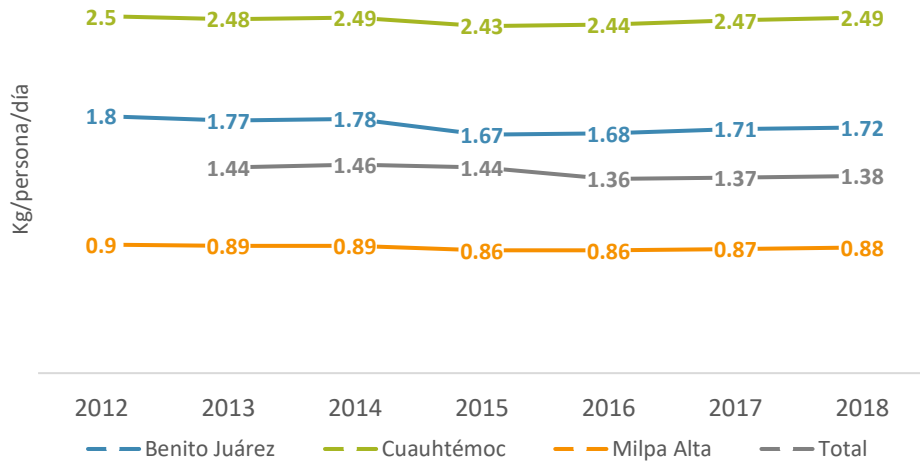
Gráfica 4.3. Producción y generación per cápita de residuos sólidos, 2018



Fuente: SEDEMA, 2018

En la Gráfica 4.4 se observa la tendencia de la generación de residuos sólidos per cápita a lo largo del tiempo, en las tres entidades existe una tendencia a la baja en 2015, un año después de aplicada la Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013 que establece los criterios de separación y clasificación y recolección selectiva de los residuos sólidos en la CDMX y que a lo largo del tiempo, a pesar de que va aumentando la población, en 2018 la generación de residuos no llega a los niveles de 2012, evidencia de que las campañas de concientización tienen su grado de efectividad. En el caso específico de la alcaldía Benito Juárez podemos notar que la demarcación disminuyó su generación, aunque levemente, de 1.8 a 1.72 kg de residuos por persona a partir de la campaña comenzada por el gobierno de la CDMX en 2013.

Gráfica 4.4. Generación per-cápita de residuos sólidos, 2012-2018

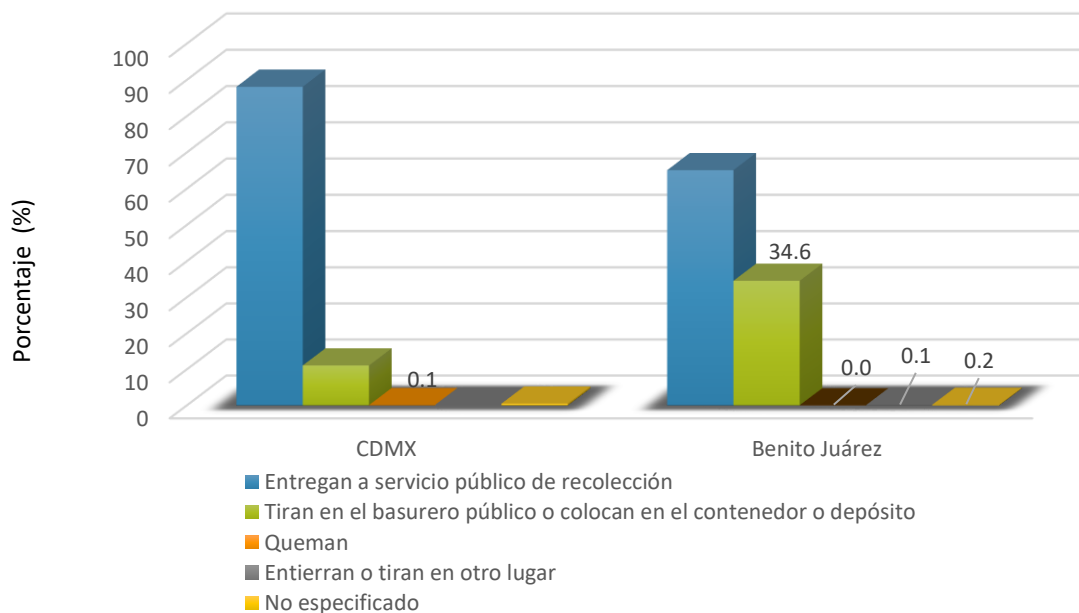


Fuente: SEDEMA, 2018

#### 4.1.3 Comportamiento socioeconómico en la eliminación de los residuos

La manera de eliminación de los residuos en la CDMX y en la alcaldía se puede observar en la Gráfica 4.5; 88% de los hogares en la ciudad entregan sus residuos al servicio de limpia, mientras que 11% se deshace de sus residuos a través de algún basurero o contenedor dentro de unidades habitacionales, el resto se entierra, se quema o se pierde de otra forma. Para el caso de la alcaldía Benito Juárez 65% de los residuos son entregados al servicio de recolección y el resto es depositado en contenedores o basureros clandestinos de la alcaldía.

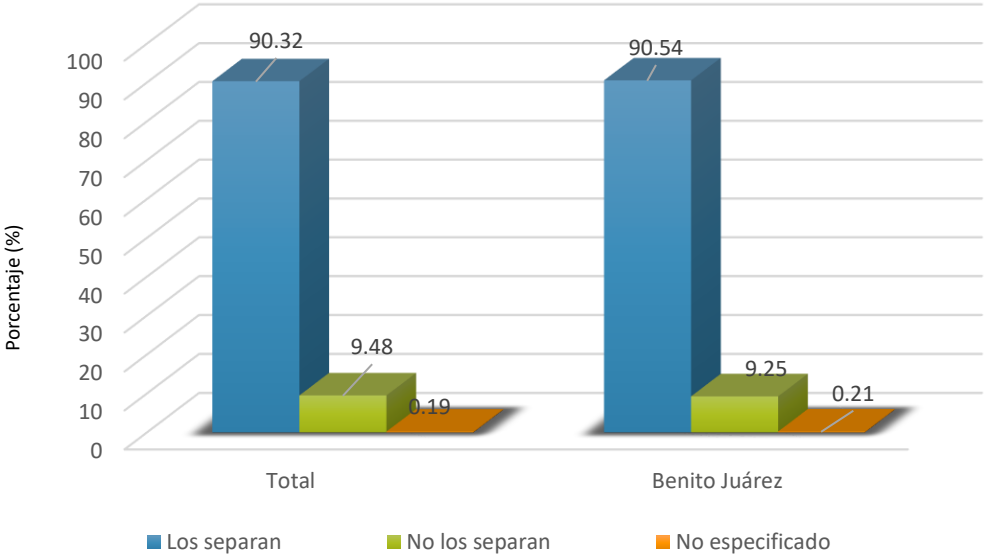
Gráfica 4.5. Forma de eliminación de los Residuos en Benito Juárez, 2015



Fuente: Elaboración propia con base a Tabulados de la Encuesta Inter-censal, INEGI 2015

Por otro lado, desde 2014 la Norma NADF-024-AMBT-2013 obliga a los generadores de residuos a separar los desechos con el objetivo de recuperar materiales que sean valorizables, la efectividad de la NADF es medida a través de un indicador de recolección selectiva, que para el caso de la alcaldía de Benito Juárez es de 44%. A pesar de la baja eficiencia en la recolección selectiva, según datos de INEGI nueve de cada diez hogares de la alcaldía declaran separar sus residuos antes de entregarlos a los camiones recolectores de basura. Véase Gráfica 4.6

Gráfica 4.6. Separación de Residuos en Benito Juárez, 2015



Fuente: Elaboración propia con base a Tabulados de la Encuesta Inter-censal, INEGI 2015

#### 4.2 Evaluación de la eficiencia del transporte en la recolección de los RSU

Esta sección incluye un diagnóstico del servicio de limpia en la alcaldía, después se presenta la evaluación de la eficiencia del transporte en la recolección de los residuos; para ello se estudia la logística de recolección y se calculan las distancias recorridas por los camiones de basura.

##### 4.2.1 Descripción del servicio de recolección

En Benito Juárez el servicio de recolección de residuos sólidos utiliza el método de acera que implica hacer un llamado a través de la campana para que los usuarios de la ruta coloquen los botes de basura, las bolsas o los restos que se quieran desear fuera de sus casas, encima de la acera, así, el camión recolector pasa casa por casa a recogerlos y verterlos en la caja de depósito.

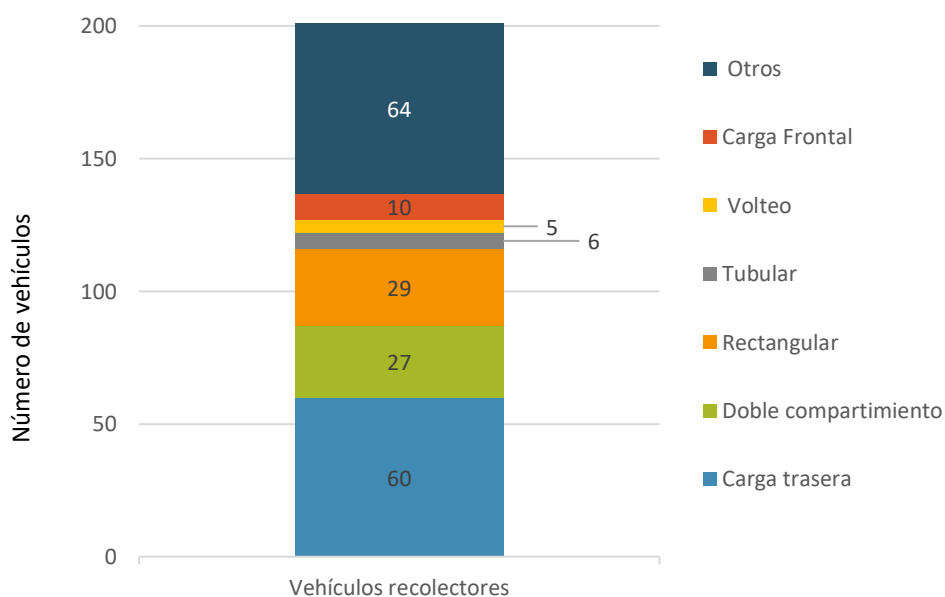
El proceso de recolección incluye tres variables que interactúan para ofrecer el servicio: 1) los camiones, 2) las rutas y, 3) la frecuencia de recolección. De los camiones se revisará el tipo, el

número de unidades y las condiciones en las que trabaja el camión; para las rutas de recolección se revisará la cantidad y la forma de operar, y por último se estudiará la frecuencia de recolección.

#### 4.2.1.1 Camiones

La alcaldía recolecta, transporta y transfiere 716 toneladas de basura domiciliaria cada día, en 87 rutas y servicios especiales, atendiendo las 57 colonias, para ello, usan 201 camiones con las siguientes características: 30% son de carga trasera, 14% son de tipo rectangular, 13% son de doble compartimiento, 5% de carga frontal, 3% de tipo tubular, 2% de volteo y 32% de otro tipo. Véase Gráfica 4.7.

Gráfica 4.7. Vehículos de recolección en Benito Juárez, 2018

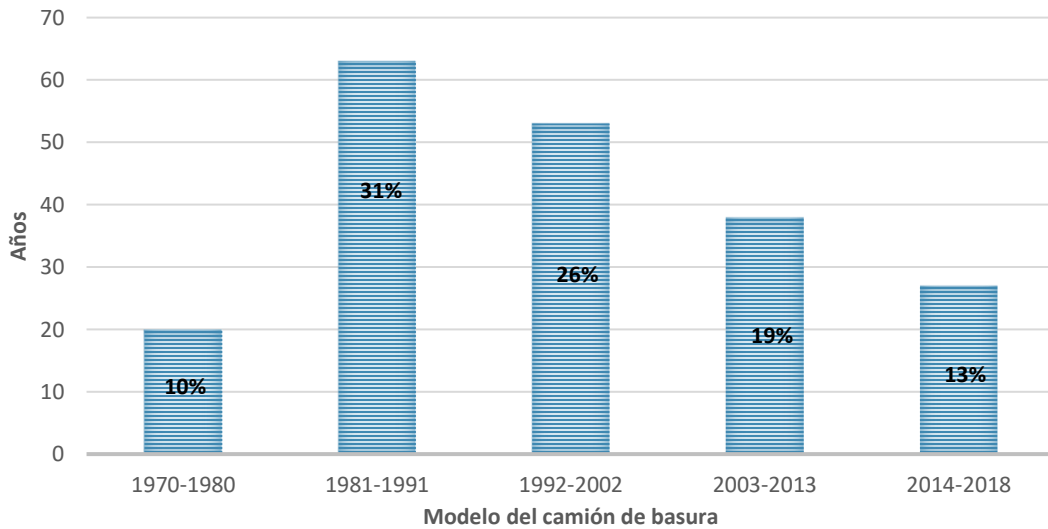


Fuente: SEDEMA, 2018

En la Gráfica 4.8 se observa que la flota vehicular al año de 2018 es mayoritariamente vieja, 10% de ella tiene entre 40 y 50 años de antigüedad, 31% tiene entre 29 y 39 años, 26% entre 27 y 17 años; en suma, 68% de los camiones recolectores de residuos en la alcaldía tienen entre 17 y 50 años. Este es un punto importante en la generación y tipo de emisiones contaminantes que producen los camiones al recolectar los residuos, ya que los camiones recolectores más antiguos (aproximadamente 87%) no cuentan con un convertidor catalítico, lo que agrava la calidad de las emisiones generadas.

En 2017 se creó una iniciativa en la CDMX llamada Programa de auto regulación que consiste en establecer mecanismos para mantener unidades de transporte de carga o pasajeros en el mejor desempeño ambiental a cambio de obtener la exención al programa "Hoy no circula". Uno de los aspectos a tratar es la instalación de sistemas de control de emisiones como convertidores catalíticos de oxidación y filtros de partículas para reducir emisiones. De tal forma que aquellos camiones anteriores a 2017 no entran al programa y, por lo tanto, no cuentan con convertidor.

Gráfica 4.8. Vehículos de recolección por modelo, 2018

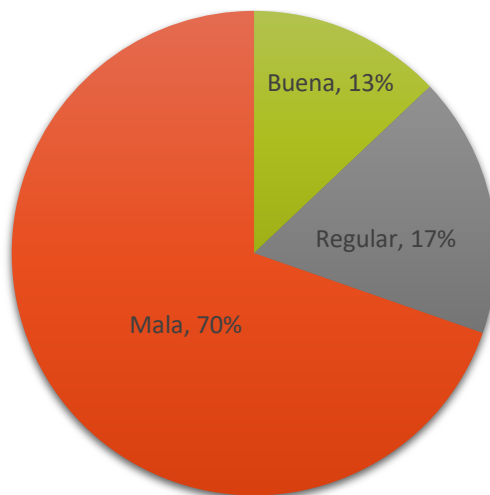


Fuente: SEDEMA, 2018

La antigüedad de los camiones recolectores son un indicador de la inversión en tecnología utilizada en el servicio de recolección, qué tan viejos son los camiones puede incidir en la cantidad de emisiones contaminantes y en el tipo de emisiones contaminantes. Además, la decisión de prolongar la vida útil de los camiones se debe a la falta de recursos para el remplazo y al excesivo uso de ellos, sin embargo, a cambio de un sobre empleo de los camiones recolectores la alcaldía debe pagar mayores costos por mantenimiento y la población debe pagar mayores costos en la contaminación del aire.

En la Gráfica 4.9., las unidades de recolección en buenas condiciones son modelos de 2014 a 2018 que representan 13% de las unidades; 17% de los camiones se encuentran en condición regular y son modelos recientes de 2003-2013; finalmente, los camiones en pésimas condiciones son modelos viejos de 1970 a 2002 y suman 70% del parque de recolección.

Gráfica 4.9. Condiciones de vehículos de recolección, 2018



Fuente: ISEDEMA, 2018



Las malas condiciones del parque vehicular se explican por el alargamiento de la vida útil de los camiones de limpia, sin embargo, la falta de mantenimiento de los vehículos de recolección suma al problema del mal servicio y la contaminación ambiental. Según Castillo (1990) la falta de mantenimiento puede explicarse por tres razones: 1) los talleres de maestranza son insuficientes para la cantidad de unidades, 2) no se cuenta con suficientes refacciones, 3) no existe un programa de mantenimiento preventivo, por lo que cuando los camiones llegan al taller, tienen un sinnúmero de fallas y partes en mal estado.

Por estas razones se envían los vehículos a talleres particulares, lo que, además de elevar el gasto en reparaciones y presentar la posibilidad de entablar "negocios" privados entre autoridades y dueños de los talleres, que no siempre van en el sentido de mejorar el servicio global. (Castillo 1990) y podría propiciar la corrupción.

#### 4.2.1.2 Rutas

La recolección es la parte medular del manejo integral de residuos, cumplir con la eficiencia de recolección va más allá que recorrer las calles para que los habitantes de los hogares salgan a depositar la basura; requiere de aplicar rutas óptimas para la recogida; ese proceso tiene una logística resultado de estudiar el mejor punto de inicio en la ruta, el óptimo camino a seguir y el punto final recomendable, en el siguiente cuadro se enumeran las características que debe cumplir un servicio eficiente, según el Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales publicado por SEDESOL.

El servicio de recolección eficiente
Según SEDESOL, 2010, el servicio de recolección y transporte de residuos sólidos será eficiente cuando cumpla con los siguientes objetivos:
1. Atender a toda la población en forma sanitaria y con una frecuencia adecuada.
2. Aprovechar toda la capacidad de los vehículos recolectores (no debe haber viajes con carga incompleta)
3. Aprovechar toda la jornada legal del personal
4. Minimizar los recorridos improductivos en las rutas, es decir, que haya pocos traslados sin recoger basura, y que no pase el vehículo varias veces por la misma calle
5. Minimizar los costos en tanto no se afecte el aspecto sanitario
6. Disponer de equipos de reserva para efectuar mantenimiento preventivo y poder cumplir con los programas previstos.

En la alcaldía Benito Juárez, en 2018, se contaba con 87 rutas de recolección que cubre 57 colonias en un horario de atención de 7:00 a 15:00 horas. En promedio, cada ruta recorre 2 km diarios, sin embargo, hay rutas más cortas de 500 metros y más grandes de 4.5 km.

En la Figura 4.2 se observa el ejemplo de la ruta #927 que pertenece a la colonia, San Pedro de los Pinos y tiene una longitud de 2.5km. Cada punto en el mapa representa una parada de recolección,

para esta ruta hay 16 puntos de recaudación y el inicio de la ruta se representa con “I” de igual forma el término de la ruta se representa con “F”.

Figura 4.2. Imagen de la ruta 927 en la alcaldía Benito Juárez



I. Inicio de la ruta  
F. Fin de la ruta

Fuente: Alcaldía Benito Juárez, 2017

Como se observa en la Tabla 4.3, 40% de las colonias de la alcaldía cubren la oferta del servicio con una ruta de recolección y generalmente tienen una población menor de 2,000 habitantes, excepto 4 colonias, una de ellas es Residencial Emperadores que tiene 15, 287 habitantes, en contraste con la colonia Portales Norte que tiene 826 habitantes y cuenta con 5 rutas de recolección.

Por otro lado, se observan algunas colonias con mayor demanda del servicio porque atienden una población más amplia y cuentan con más rutas; es el caso de la colonia Narvarte Poniente que cubre una población de 23,861 y tiene 10 rutas. En contraparte, hay colonias igual de pobladas como Nativitas con 22,490 habitantes, pero solo con 2 rutas de recolección.

Cada una de las 57 colonias tiene 2 o 3 rutas de camiones para ofrecer el servicio de recolección en donde, en promedio, cada ruta recorre 5.6 km diarios. Las rutas de recolección más pequeñas tienen en promedio 0.5 km, y van dirigidas a un solo punto de recolección donde se concentran los residuos generalmente son unidades habitacionales como el Centro Urbano Miguel Alemán y la Unidad Habitacional Esperanza. En contraste, en las colonias más grandes como Narvarte Poniente se recorren 27km diarios y hay 10 rutas de recolección para cubrir el área.

Tabla 4.3. Número de rutas y población por colonia

Colonia	Rutas	Población	Colonia	Rutas	Población
8 de Agosto	1	1,683	Moderna	2	3,829
Acacias	2	5,334	Nápoles	4	8,857
Actipan	3	2,573	Narvarte Oriente	7	11,625
Álamos	5	18,694	Narvarte Poniente	10	23,861
Albert	1	2,698	Narvarte Unidad IMSS	1	
Américas Unidas	2	2,976	Nativitas	2	22,490
Ampliación Nápoles	1	3,197	Niños Héroes	3	9,233
Atenor Salas	1	1,686	Noche Buena	1	6,887
Carmen	1	714	Nonoalco	3	10,745
C. U. Miguel Alemán	1	1,471	Periodista	1	2,138
Ciudad de los deportes	2	3,615	Piedad Narvarte	4	7,606
Crédito Constructor	1	3,939	Portales Norte	5	826
Del lago	1	427	Portales Oriente	2	4,257
Del Valle Centro	7	20,794	Portales sur	7	19,357
Del Valle Norte	5	18,045	Postal	2	5,338
Del Valle Sur	7	19,610	R. Emperadores	1	15,287
Ermita	1	1,372	San José Insurgentes	3	3,914
Extremadura I.	1	1,709	San Juan	2	1,188
General Anaya	1	6,093	San Pedro de los Pinos O.	3	5,573
Independencia	3	8,913	San Pedro de los Pinos P.	1	
I. San Borja	2	741	San Simón	2	3,144
Insurgentes Mixcoac	2	4,571	Santa Cruz Atoyac	4	11,616
Iztaccíhuatl	1	2,723	Tlacoquemecatl	3	6,776
J. Ortiz Domínguez	2	1,336	U. H. Esperanza	1	
Letrán Valle	3	8,610	Vértiz Narvarte	4	6,255
Merced Gómez	1	2,511	Villa de Cortés	2	958
Miguel Alemán	1	1,471	Xoco	1	1,720
Miravalle	1	1,036	Zacahuitzco	1	2,412
Mixcoac	2	1,887	Total general	144	346,321

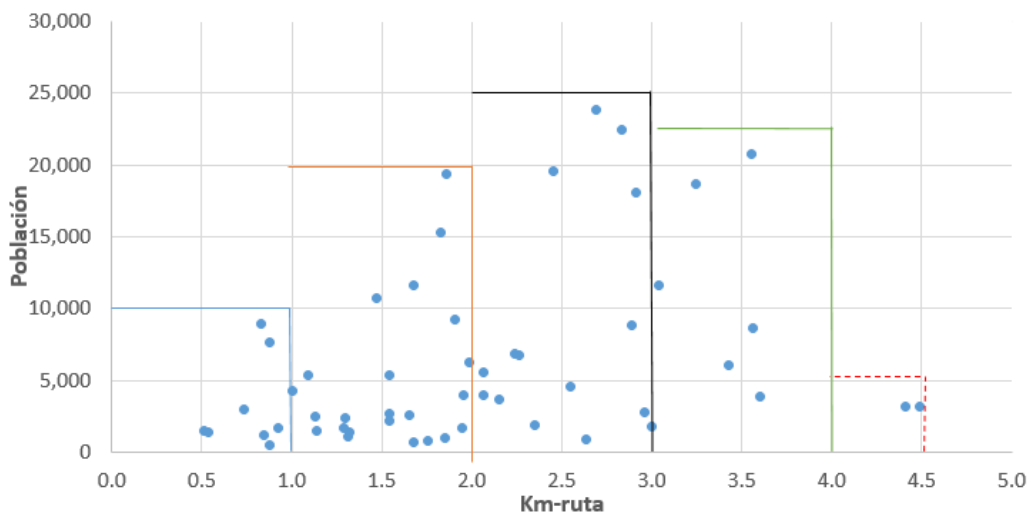
Fuente: Elaboración propia con base al Programa delegacional para la prestación del servicio público de limpia Benito Juárez.

En la Gráfica 4.10, podemos estimar la densidad poblacional si comparamos la longitud de las rutas y la población; en los primeros tres cuadros se observa que hay más kilómetros recorridos y es mayor la población atendida, seguramente porque la concentración poblacional es importante. Sin embargo, en los siguientes cuadros cambia la lógica y la densidad poblacional de las colonias es menor.

En el primer cuadro se observan las rutas más pequeñas (hasta 1km) que tienen hasta 10,000 habitantes, en el segundo cuadro se pueden ver las rutas de 1 a 2 km con una población de hasta

20, 000 habitantes, el cuadro siguiente grafica las rutas que van de 2 a 3 km y dan el servicio a una población de hasta 25, 000 habitantes; en contraste con el cuarto cuadro con rutas más grandes - de 3 a 4 km, se observa que las colonias a las que les da servicio son de hasta 22, 000 habitantes; en el quinto cuadro se tiene las rutas más grandes (4.5 km), sin embargo, la población es menor al promedio (5,000 habitantes) de la ruta más pequeña; son colonias menos densamente pobladas y el recorrido de las rutas debe ser mayor, lo que justifica que solo sean dos rutas.

Gráfica 4.10. Longitud promedio de las rutas por población (km)



Fuente: Elaboración propia con base en información del servicio de limpia de la alcaldía Benito Juárez

#### 4.2.1.3 Paradas

Cada ruta tiene el número de paradas determinadas por la logística de recolección; en promedio, se hacen 12 paradas por ruta, sin embargo, hay rutas tan pequeñas donde solo hay una parada, es el caso de unidades habitacionales que tienen contenedores; por otro lado, hay rutas con 48 paradas donde se recorren distancias más grandes (4.5km). En la Tabla 4.4 se encuentra el número de paradas por ruta, llamada “puntos”.

Tabla 4.4. Colonia, ruta y número de puntos de recolección

Colonia	Ruta	Puntos	Colonia	Ruta	Puntos	Colonia	Ruta	Puntos
8 de Agosto	974_8a	9	Insurgentes Mixcoac	964_im	7	Piedad Narvarte	975_pn	1
Acacias	961_a	1	Iztaccihuatl	812_i	9		977_pn	5
	972_a	7	Josefa Ortiz de Domínguez	883_jod	3	Portales Norte	829_pne	20
Actipan	955_ac	7		884_jod	2		832_pne	20
	962_ac	4	Letrán Valle	815_lv	19		833_pne	9

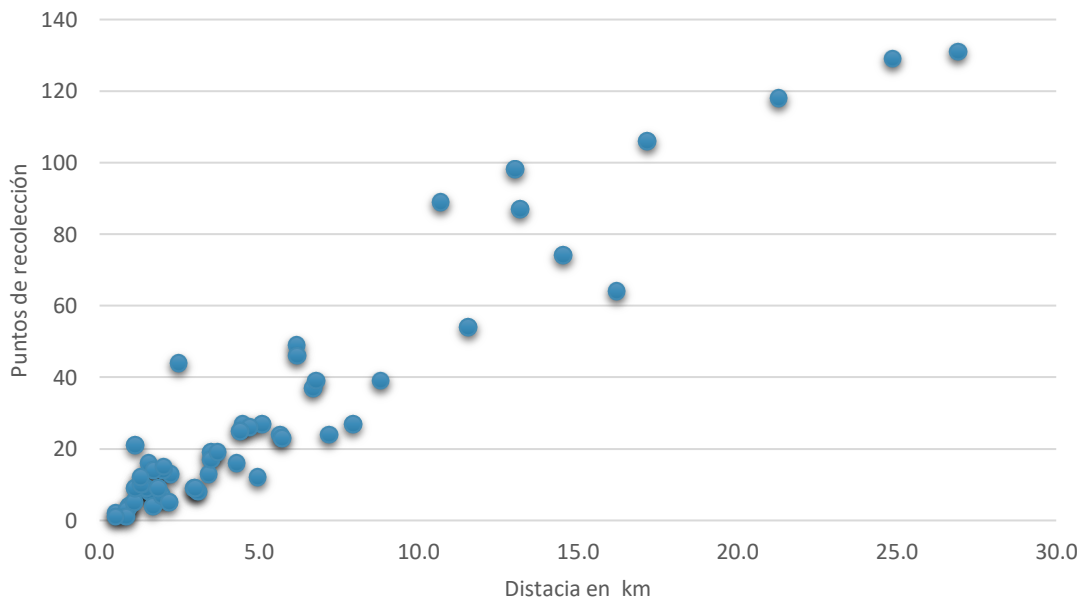
	978_ac	1		875_lv	48		846_pn	14	
Álamos	809_al	9		886_lv	22		877_pn	24	
	827_al	17	Merced Gómez	939_mg	21	Portales Oriente	820_po	10	
	879_al	17	Miguel Alemán	884_ma	9		873_po	4	
	885_al	10	Miravalle	869_m	10	Portales sur	802_p_s	18	
	804_al	11	Mixcoac	939_m	14		802_ps	17	
Albert	873_al	8		959_m	12		806_p_s	24	
Américas Unidas	881_au	3	Moderna	818_m	18		821_ps	19	
Américas Unidas Ampliación Nápoles	883_au	6		868_m	6		832_p_s	10	
	976_an	27	Nápoles	943_n	9		832_ps	6	
Atenor Salas	809_as	4		963_n	31		833_p_s	4	
Carmen	870_car	4		967_n	13	Postal	883_p	3	
Centro Urbano Miguel Alemán	962_cuma	2		976_n	1		884_p	2	
Ciudad de los deportes	949_cdd	7		Narvarte Oriente	848_no	16	Residencial Emperadores	839_re	9
Ciudad de los deportes Crédito Constructor	965_cdd	9	871_no		16	San José Insurgentes	960_sji	25	
	978_cc	7	872_no		12		966_sji	13	
Del lago	843_dl	3	876_no		14			969_sji	11
Del Valle Centro	901_dvc	4	878_no		21	San Juan	917_sj	9	
	911_dvc	27	880_no		23		965_sj	5	
Del Valle Centro Del Valle Norte	912_dvc	22	882_no		16	San Pedro de los Pinos Oriente	927_spp	16	
	921_dvc	19	Narvarte Poniente		815_np		2	935_spp	16
	934_dvc	9			848_np		6	974_spp	14
	969_dvc	12	871_np		15		936_spp	15	
	973_dvc	36	872_np	5	San Simón	807_ss	20		
	909_dvn	18	882_np	8		841_ss	19		
Del Valle Norte Del Valle Sur	916_dvn	5	911_np	11	Santa Cruz Atoyac	839_sca	7		
	918_dvn	16	916_np	28		847_sca	6		
	934_dvn	7	926_np	17		867_sca	19		
	969_dvn	11	970_np	20	886_sca	5			
	955_dvs	3	977_np	19	Tlacoquemecat	901_ts	7		
Del Valle Sur Ermita	956_dvs	26	Narvarte Unidad IMSS	880_nui		1	968_t	12	
	961_dvs	10	Nativitas	825_n		14	971_t	20	
	962_dvs	25		826_n		10	Unidad H. Esperanza	882_uhe	1
	968_dvs	25	Niños Héroes	881_nh		15	Vértiz Narvarte	815_vn	17
	972_dvs	13		883_nh		4		848_vn	7
	869_e	10		884_nh	4	874_vn		2	

Extremadura Insurgentes	908_ei	7	Noche Buena	949_n	13		876_vn	1
General Anaya	810_ga	13	Nonoalco	906_n	8	Villa de Cortés	812_vc	8
Independencia	874_i	20		957_n	10		826_vc	11
Insurgentes San Borja	912_isb	12		965_n	7	Xoco	847_x	9
Insurgentes San Borja	921_isb	7	Periodista	828_p	16	Zacahuitzco	870_z	12
Insurgentes San Borja	919_im	20	Piedad Narvarte	809_pn	7			
Insurgentes Mixcoac				926_pn	4			

Fuente: Elaboración propia con base en información del servicio de limpia de la alcaldía Benito Juárez

La logística de las paradas en la recolección de las rutas domiciliarias responde a la distancia recorrida por los camiones; en general, a mayor distancia recorrida, mayor número de puntos de recolección o paradas; independientemente de la cantidad de personas que vivan en el polígono de la ruta de recolección, porque las rutas se realizaron bajo lógicas de urbanización horizontal. Véase Gráfica 4.11. En este punto habrá que aclarar que los urbanistas coinciden en que los modelos horizontales, como la logística de recolección de residuos, se realizó a expensas del territorio que lo circunda. La creación de amplias zonas urbanas no trae beneficios a las ciudades, tampoco a la logística de recolección, por el contrario, lo único que tiende es a provocar problemas evitables desde el punto de vista medioambiental.

Gráfica 4.11. Distancia de recolección y paradas de recolección por colonia



Fuente: Elaboración propia con base en información del servicio de limpia de la alcaldía Benito Juárez

#### 4.2.1.4 Frecuencia

La prestación de servicio de recolección es una de las etapas más caras del sistema del manejo de basura y, una de las que presenta mayores oportunidades para la minimización de costos (SEDESOL, 1997). La propuesta de SEDESOL para la frecuencia de la recolección de residuos en ruta, debe de estar limitada por el ciclo de reproducción de algunos insectos como la mosca, generada a partir de la descomposición de los residuos orgánicos, que varía de 7 a 10 días.

Para la alcaldía Benito Juárez, la frecuencia de la recolección es diaria, alternando los días de recolección entre residuos orgánicos e inorgánicos, siguiendo las recomendaciones de la NADF-024-AMBT-2013 que establece que la recolección deberá realizarse de manera selectiva, ya sea en días alternados o diario, pero, mediante vehículos recolectores con compartimientos separados, bajo el esquema de separación primaria avanzada, en residuos orgánicos e inorgánicos. Véase Tabla 4.5

Tabla 4.5. Días de recolección selectiva

Día	Residuos orgánicos	Residuos inorgánicos
Lunes	X	
Martes		X
Miércoles	X	
Jueves		X
Viernes	X	
Sábado		X
Domingo	X	X

Nota: El Domingo la recolección se alternará entre orgánicos e inorgánicos a lo largo del mes

Fuente: Elaboración propia con base en información del servicio de limpia de la alcaldía Benito Juárez

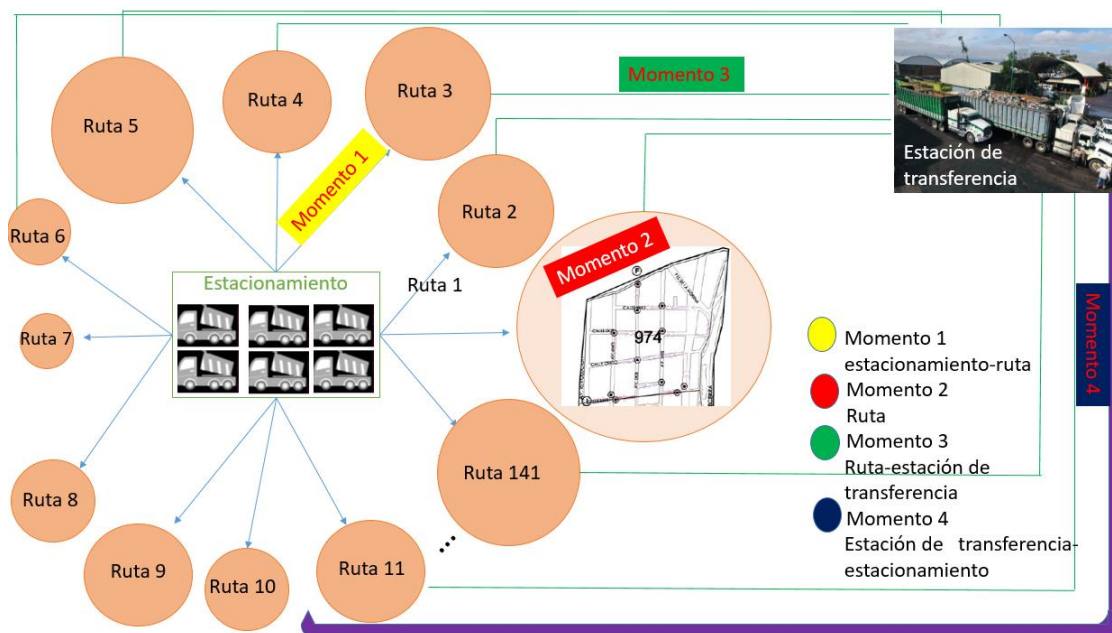
La frecuencia de recolección en Benito Juárez también está influida por el número de veces que recorren la ruta para concluir la labor de la recolección; los camiones de basura recorren la misma ruta de 2 a 3 veces al día con la finalidad de recoger la basura que se encuentra en tiraderos clandestinos, esquinas, depósitos y en la calle en general. Sin embargo, algunos autores como Mora (2004), asegura que la frecuencia de recolección depende, no de la limpieza, sino de la rentabilidad del residuo que están recolectando; como Benito Juárez es de las demarcaciones con mayor nivel de ingreso por hogar, se intuye que la frecuencia de recolección depende de la calidad de los residuos recolectados más que de la aplicación de la norma o resultado de estudios de logística de recolección bajo la variable de densidad poblacional.

#### 4.2.2 Logística de recolección

El proceso de recolección es la parte medular del manejo integral de los residuos dado el potencial de aprovechamiento que se puede lograr con la eficiencia en transporte y la correcta separación de los residuos. La logística de recolección puede dividirse en cuatro pasos: 1) El momento en que salen

del estacionamiento los camiones de basura y se dirigen al lugar en donde comienza la ruta de recolección; 2) El periodo en el que recorre el camión de basura la ruta de recolección; 3) El momento cuando el camión termina la recolección y se traslada al centro de transferencia a dejar los residuos recolectados y 4) El regreso del camión al estacionamiento donde se guardan las unidades. Como se observa en el Diagrama de la Figura 4.3.

Figura 4.3. Diagrama del proceso de recolección de los residuos sólidos en Benito Juárez



Fuente: Elaboración propia con base a entrevistas realizadas al Jefe de limpia

#### 4.2.2.1 Primer momento.

El primer momento inicia al sacar el camión del estacionamiento del Servicio de Limpia alrededor de las 5:00 a.m. El chofer del camión y sus ayudantes (voluntarios o macheteros) van a cargar combustible para recorrer la ruta, generalmente diésel, de ahí recorren cierta distancia para llegar a su respectiva ruta de recogida; esa distancia varía según la ubicación de la ruta. El punto inicial, en donde se estacionan los camiones, se encuentra entre las calles Yácatas y Prolongación Republicas de la alcaldía Benito Juárez, en este lugar se resguardan los camiones después de hacer su recorrido; (Figura 4.1.A. del Anexo 4).

#### 4.2.2.2 Segundo Momento

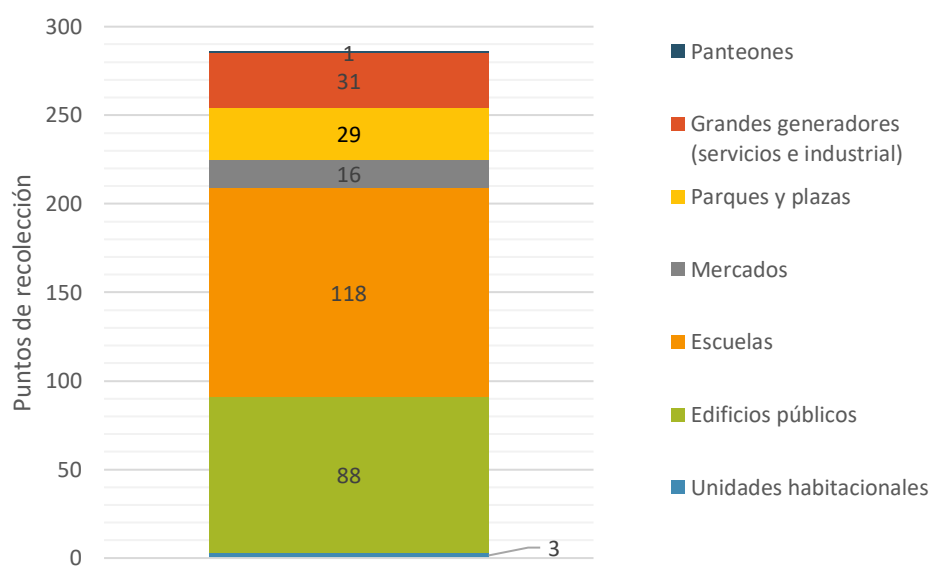
El segundo momento es la recolección en ruta; este proceso comienza en el punto de inicio de la respectiva ruta. El camión de basura recorre de 2 a 3 veces la ruta para realizar las siguientes actividades: 1) los camiones van recolectando las bolsas de basura tiradas por la noche, limpian



tiraderos clandestinos y residuos de gran tamaño abandonados en la calle, 2) hacen la ruta de recolección habitual, avisando su llegada a través de una campanada y 3) finalmente, en algunas rutas en donde abunda la generación de residuos como hospitales, mercados, escuelas y unidades habitacionales, pasan en una tercera ocasión.

La información reportada por la alcaldía declara que la recolección de los residuos sólidos domiciliarios se realiza en 286 puntos de recolección focalizados que se distribuyen como se observa en la Gráfica 4.12.; es importante señalar que a pesar de esfuerzos de recolección y la infraestructura existente, hay 102 tiraderos clandestinos en la alcaldía, Benito Juárez ocupa el cuarto lugar en el número total de tiraderos en la CDMX.

Gráfica 4.12. Puntos de recolección, 2018



Fuente: SEDEMA, 2018

#### 4.2.2.3 Tercer momento

El tercer momento es el traslado de la basura recolectada en ruta al centro de transferencia de la alcaldía; es importante recalcar que, debido a la afluente de camiones, estos deben formarse alrededor del centro de transferencia con el motor encendido, esperando turno, para pasar a dejar los residuos recolectados.

Las estaciones de transferencia son un punto esencial en la logística de la recolección debido a que su función es intermediar entre las diversas fuentes generadoras de residuos sólidos (casas, negocios, industrias) y las plantas de selección, composta o el sitio de disposición final. En este lugar se realiza el cambio de los residuos de vehículos recolectores a vehículos de carga de gran tonelaje (tracto camiones), con el objetivo de incrementar la eficiencia del servicio al transportarlos para su

aprovechamiento o para la disposición final y contribuir en la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera, ya que los recorridos y el número de viajes que realizan los vehículos recolectores se llevan a cabo con menos frecuencia, véase Figura 4.4.

Figura 4.4. Centros de transferencia



Fuente: SEDEMA, 2013

#### 4.2.2.4 Cuarto momento

Este es el último punto de la logística de recolección domiciliar y es el regreso de los camiones vacíos del centro de transferencia al campamento de limpia, lugar en donde se estacionan por la noche.

#### 4.2.3 Distancias en la logística de recolección

En esta sección se realizará el análisis de las distancias recorridas por colonia, cada colonia puede tener de 1 a 10 rutas y la distancia promedio es de 2.5km por ruta, la cual se tomará para aglomerar los datos que se presentan.

La distancia de recolección en los cuatro momentos por los 141 camiones es de 1,029 km diarios; en promedio, las distancias más grandes son las del recorrido de la ruta al centro de transferencia, 320 km, y las del recorrido de la ruta, 319 km; esto, sin contar que se recorren más de tres veces las rutas de recolección (Tabla 4.6.).

Otro hecho no cuantificado en el consumo de combustible de los camiones es el momento mientras cargan y descargan contenedores de residuos, manteniendo los motores en marcha (Zsigraiova, 2012). En el estudio realizado, se observa que los camiones van a dejar los residuos al centro de transferencia y deben permanecer formados alrededor del lugar con el motor encendido hasta el momento en que pueden pasar a depositar los residuos a los contenedores, para su clasificación y traslado al destino final.

En el primer momento de la recolección los camiones van del estacionamiento a la ruta, eso es, 282 km, lo que significa que en promedio por colonia se recorren 5km para llegar a la ruta

correspondiente. Las colonias más alejadas del estacionamiento son Portales Sur, Álamos y Narvarte Poniente, a 15km en promedio para llegar a la ruta; por el contrario, las colonias más cercanas son Independencia, Centro Urbano Miguel Alemán y Residencial Emperadores a 1.25km.

En el segundo momento la ruta de recolección suma 319 km, en promedio, cada colonia recorre 5.6 km para recolectar la basura de casa en casa. Las colonias con más de 20 kilómetros son Colonia del Valle, Narvarte Oriente y Narvarte Poniente, por el contrario, las colonias con rutas más pequeñas son unidades habitacionales, Unidad Miguel Alemán y Unidad Habitacional Esperanza, con menos de 0.5 km.

Las distancias que recorren los camiones para llevar los residuos recolectados al centro de transferencia es de 321 km, centro que se encuentra en la misma delegación, para continuar su procesamiento hacia el destino final. Las colonias más alejadas al centro de transferencia son Narvarte Poniente, Narvarte Oriente y Álamos con más de 20km para llevar los residuos y las más cercanas, de menos de 0.5km de distancia hacia el centro de transferencia son General Anaya, Residencial Emperadores y Xoco.

La última distancia de este proceso es el regreso del centro de transferencia al campamento de limpia en donde se estacionan los camiones, y se recorren 750 m que reproducida por 141 camiones da una distancia final de 108 km.

Tabla 4.6. Distancias del proceso de recolección, colonias

Colonia	M1 campamento- ruta (km)	M2 Ruta km	M3 Ruta- CT (km)	M4 CT- campamento	Distancia Total
8 de Agosto	3.03	1.29	3.92	0.75	8.99
Acacias	4.36	3.09	2.30	1.5	11.25
Actipan	6.25	4.95	5.25	2.25	18.70
Álamos	14.62	16.22	19.15	3.75	53.74
Albert	2.74	1.54	2.18	0.75	7.21
Américas Unidas	4.10	1.47	5.38	1.5	12.45
Ampliación Nápoles	1.70	4.49	2.60	0.75	9.55
Atenor Salas	2.78	0.93	4.18	0.75	8.64
Carmen	2.35	1.67	2.35	0.75	7.13
C. Urbano Miguel Alemán	1.27	0.51	1.17	0.75	3.70
Ciudad de los deportes	4.17	4.31	5.10	1.5	15.08
Crédito Constructor	2.49	1.95	1.76	0.75	6.95
Del lago	1.88	0.88	2.45	0.75	5.97
Del Valle Centro	5.87	24.88	12.75	5.25	48.75
Del Valle Norte	7.26	14.55	13.45	3.75	39.01
Del Valle Sur	8.47	17.18	5.16	5.25	36.06
Ermita	3.14	1.32	2.08	0.75	7.29
Extremadura Insurgentes	2.10	1.95	2.04	0.75	6.85
General Anaya	2.19	3.42	0.49	0.75	6.86

Independencia	1.17	2.49	1.60	2.25	7.50
Insurgentes San Borja	2.95	3.51	4.31	1.5	12.27
Insurgentes Mixcoac	4.85	5.10	4.08	1.5	15.52
Iztaccihuatl	2.88	2.96	3.49	0.75	10.08
Josefa O. de Domínguez	4.47	1.08	6.16	1.5	13.20
Letrán Valle	2.11	10.69	3.01	2.25	18.06
Merced Gómez	3.59	1.13	2.88	0.75	8.35
Miguel Alemán	1.86	1.14	2.96	0.75	6.70
Miravalle	3.02	1.31	2.03	0.75	7.11
Mixcoac	6.20	4.70	5.78	1.5	18.18
Moderna	6.05	7.20	7.89	1.5	22.65
Nápoles	8.85	11.56	12.80	3	36.21
Narvarte Oriente	12.24	21.30	20.12	5.25	58.91
Narvarte Poniente	13.42	26.92	25.14	7.5	72.97
Narvarte Unidad IMSS	1.72	0.85	3.08	0.75	6.39
Nativitas	5.17	5.67	5.41	1.5	17.75
Niños Héroes	5.96	5.72	8.10	2.25	22.03
Noche Buena	1.86	2.24	2.23	0.75	7.08
Nonoalco	8.77	4.41	9.18	2.25	24.61
Periodista	1.44	1.54	2.20	0.75	5.93
Piedad Narvarte	10.14	3.51	15.66	3	32.31
Portales Norte	8.79	13.19	5.38	3.75	31.11
Portales Oriente	5.57	2.01	4.28	1.5	13.36
Portales sur	16.62	13.04	8.93	5.25	43.84
Postal	4.74	2.18	6.28	1.5	14.70
Residencial Emperadores	1.36	1.83	0.29	0.75	4.22
San José Insurgentes	9.07	6.18	6.40	2.25	23.91
San Juan	5.14	1.70	5.24	1.5	13.57
San Pedro de los Pinos O.	7.94	6.19	9.95	2.25	26.34
San Pedro de los Pinos P.	3.00	2.01	3.37	0.75	9.12
San Simón	3.64	8.83	3.17	1.5	17.14
Santa Cruz Atoyac	5.40	6.70	1.00	3	16.10
Tlacoquemecatl	4.54	6.79	4.35	2.25	17.93
U. Habitacional Esperanza	2.35	0.50	3.68	0.75	7.28
Vértiz Narvarte	3.50	7.95	7.04	3	21.48
Villa de Cortés	5.56	3.70	6.70	1.5	17.46
Xoco	2.16	3.00	0.26	0.75	6.17
Zacahuiztco	2.66	1.30	2.36	0.75	7.07
Alcaldía	281.50	318.72	320.52	108	1,028.74
promedio colonia	4.94	5.59	5.62	1.89	18.05

Fuente: Elaboración propia con base en información del servicio de limpia de la alcaldía Benito Juárez

La distancia promedio que recorre un camión de basura desde la salida del estacionamiento para comenzar la jornada de recolección hasta el mismo punto una vez finalizada la jornada oscila entre 7 y 12 km; los detalles se pueden ver en el anexo 4 en la Tabla 4.2A.

#### 4.2.4. Construcción de escenarios a partir de la eficiencia en el uso del combustible

El objetivo de esta sección es mostrar tres posibles escenarios de consumo de combustible en la recolección de residuos. Los escenarios construidos se pueden nombrar proyectivos porque están basados a partir de la experiencia o evidencia experimental o empírica; se construyeron con base a criterios de consumo de diésel de los camiones de recolección; para lo cual se utilizó información teórica e información empírica obtenida de la encuesta realizada al Jefe de limpia de la alcaldía Benito Juárez. Mostrando en el primer escenario la teoría, en el segundo escenario se combina la teoría y con la encuesta, y en el último escenario se presenta el cálculo de la información obtenida en la encuesta.

El primer escenario refleja el gasto mínimo necesario para realizar la actividad de recolección o el “consumo teórico” en la recolección; el segundo escenario refleja el consumo promedio que tienen los camiones al recorrer la ruta de recaudación tres veces por día nombrado escenario de “consumo incompetente”; el último escenario constituye el “consumo ineficiente” de diésel utilizado en los camiones recolectores, dicho está de paso, que el combustible es proporcionado a través de un vale por la Jefatura de limpia y para realizar el cálculo supone el consumo “total del diésel” en los trabajos de recolección.

Los cálculos no consideran el tráfico en la recolección, suponen un sistema de paro-arranque para recolectar y entregar los desechos a la estación de transferencia, suponen que no existen obstáculos urbanos como baches, topes o cualquier otro obstáculo que reste eficiencia en el consumo del combustible. Además el motor del camión de recolección no se apaga en ningún momento, desde que sale del campamento de limpia, lo que significa que el gasto en el combustible será mayor al que presente en los escenarios.

En la Tabla 4.7 se observan las cuatro etapas en la recolección; la diferencia entre el primero y el segundo escenario es el consumo energético en la segunda etapa que es en donde se triplica la distancia recorrida. En cuanto a los escenarios se construyeron a partir del consumo total utilizado en el proceso diario, la diferencia entre el consumo del primero y el segundo escenario son 400 litros (l), en contraste a la diferencia entre el consumo del segundo y tercer escenario que es mayor a 4,500 l.

Tabla 4.7. Litros de diésel consumidos en el proceso de recolección de basura

Escenario	Estimación	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Total diario
Teórico	Un viaje en ruta	188	212	214	29	642
Incompetente	Tres viajes en ruta	188	637	214	29	1,067
Ineficiente	Cantidad no definida	-	-	-	-	5,640

Fuente: Elaboración propia con base a estimaciones del cálculo de las distancias y rectificado con las entrevistas realizadas al encargado de limpieza de la alcaldía Benito Juárez

#### 4.2.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la recolección de residuos

Algunos expertos (Rahimi, 2004) aseguran que la tasa de emisiones contaminantes en los automotores está en función de la velocidad del vehículo, la carga del motor (potencia de salida), la tasa de aceleración o desaceleración y de factores mecánicos como la carburación y el mantenimiento del vehículo.

Sin embargo, en este trabajo se calcularon las emisiones generadas por los camiones de recolección como la suma de las emisiones del encadenamiento en la logística, éste método, aunque sencillo estima cercanamente la cantidad de combustible utilizado, otros estudios (Tellus, 1992) han utilizado este mismo procedimiento, en nuestro caso la falta de información pública y de disposición a otorgar datos, nos obligó a utilizar el siguiente camino.

Para calcular la distancia recorrida se utilizó el factor de rendimiento de diésel, suponiendo que trae una carga promedio, con el fin de calcular el consumo del combustible promedio necesario para recorrer la ruta. Al consumo de diésel se le aplicó el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> para conocer la cantidad emisiones de este gas generado en la recolección, los factores y fuentes utilizadas se pueden observar en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Factores utilizados en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Cálculo	Factor	Fuente
Kilómetros	1:1 km	Elaboración propia a partir del programa Arc GIS y google maps
Rendimiento de diésel	1.5 km/l	Caminos y Puentes, 2004
Factor de emisión de CO <sub>2</sub>	2.559 kg/l diésel	INECC, 2014

Nota: El rendimiento supone un camión de volteo de 7m<sup>3</sup> modelo de 1989

Fuente: Elaboración propia

Los supuestos utilizados en la construcción de los cálculos son: 1) la ruta que recorre el camión no tiene obstáculos importantes, por lo que puede circular fluidamente; 2) la conducción se realiza con una velocidad constante; 3) en el momento en que debe detenerse a recolectar los residuos el chofer del camión utiliza un sistema de “paro-arranque”; 4) los camiones recolectores cuentan con combustible desde el momento en que salen del campamento de limpia, no se calcula la distancia que recorren para cargar combustible; y 5) supone una carga promedio.

##### 4.2.5.1 Emisiones de CO<sub>2</sub>: a partir de la ruta

Los cálculos de las distancias y emisiones teóricas arrojan la generación hipotética de 1, 800 kg de CO<sub>2</sub>, solo en la recolección de los residuos domiciliarios en la alcaldía Benito Juárez, lo que significa que en promedio cada colonia generaría, si se realizará una recolección domiciliaria eficiente, alrededor de 30kg de CO<sub>2</sub>, véase Tabla 4.9.

En el primer momento se recorre una distancia promedio de 5km por colonia, se generará alrededor de 9kg de CO<sub>2</sub> por camión recolector. Las colonias más alejadas generarán (Portales Sur, Álamos y

Narvarte Poniente), en promedio, 26kg de CO<sub>2</sub>, por el contrario las colonias más cercanas (independencia, Centro Urbano Miguel Alemán y Residencial emperadores) en promedio generarán 2.2kg de CO<sub>2</sub>.

El segundo momento con mayor generación de emisiones es el “ruteo” en este trayecto se generan 552 kg de CO<sub>2</sub>, esto es 9.7 kg por colonia. Las colonias con mayor generación (más de 40kg de CO<sub>2</sub>) son: colonia Narvarte Poniente, Del Valle Centro y Narvarte Oriente; las unidades habitacionales, Centro Urbano Miguel Hidalgo y Unidad Habitacional Esperanza que reúnen sus residuos en puntos específicos sin necesidad de recorrer grandes distancias y tienen una menor generación de emisiones, 0.88kg de CO<sub>2</sub>.

Transportar los residuos una vez recolectados al centro de transferencia genera 558 kg de CO<sub>2</sub> diarios y significa que cada colonia contribuye con 10kg; las colonias más cercanas al centro serán también las que menos emisiones generen, menos de 500grs para el caso de Residencial emperadores y Xoco. El caso contrario son las colonias Narvarte Poniente, Narvarte Oriente y Álamos que generan más de 35kg de CO<sub>2</sub> en este trayecto.

El último tramo del transporte de recolección genera 188 kg de CO<sub>2</sub> diarios, este es el momento en el que los camiones de la basura regresan vacíos al campamento de limpia; este trayecto es el mismo para cada camión, 0.75km, sin embargo, al multiplicar el número de rutas que tiene cada colonia el factor de emisión varía, en promedio por colonia se generan 3.3 kg de CO<sub>2</sub> y la diferencia en emisiones está relacionado con el número de rutas por colonia.

Tabla 4.9. Emisiones de CO<sub>2</sub> diarias del proceso de recolección, colonias

Colonia	M1 estaciona-ruta (kg CO <sub>2</sub> )	M2 Ruta (kg CO <sub>2</sub> )	M3 ruta-centro t. (kg CO <sub>2</sub> )	M4 centro t. -estaciona (kg CO <sub>2</sub> )	Total de emisiones (kg CO <sub>2</sub> )
8 de Agosto	5.27	2.24	6.81	1.31	20.14
Acacias	7.58	5.36	4.01	2.61	30.34
Actipan	10.87	8.58	9.14	3.92	49.77
Álamos	25.44	28.10	33.33	6.53	149.94
Albert	4.76	2.67	3.79	1.31	17.91
Américas Unidas	7.14	2.56	9.36	2.61	26.80
Ampliación Nápoles	2.96	7.78	4.53	1.31	32.24
Atenor Salas	4.84	1.61	7.27	1.31	18.25
Carmen	4.10	2.90	4.09	1.31	18.23
C. U. Miguel Alemán	2.20	0.89	2.04	1.31	8.23
Ciudad de los deportes	7.26	7.47	8.87	2.61	41.24
Crédito Constructor	4.33	3.38	3.07	1.31	18.88
Del lago	3.28	1.52	4.27	1.31	13.43
Del Valle Centro	10.21	43.10	22.19	9.14	171.39
Del Valle Norte	12.63	25.20	23.41	6.53	118.49
Del Valle Sur	14.74	29.76	8.98	9.14	122.52
Ermita	5.46	2.29	3.61	1.31	17.30

E. Insurgentes	3.66	3.38	3.56	1.31	18.70
General Anaya	3.82	5.93	0.85	1.31	23.85
Independencia	2.03	4.31	2.78	3.92	21.72
Insurgentes San Borja	5.12	6.08	7.51	2.61	33.56
Insurgentes Mixcoac	8.43	8.83	7.09	2.61	44.74
Iztaccihuatl	5.00	5.13	6.07	1.31	27.84
J. Ortiz de Domínguez	7.77	1.87	10.71	2.61	26.72
Letrán Valle	3.67	18.53	5.23	3.92	68.64
Merced Gómez	6.24	1.95	5.02	1.31	18.44
Miguel Alemán	3.24	1.97	5.14	1.31	15.62
Miravalle	5.25	2.27	3.53	1.31	16.93
Mixcoac	10.78	8.14	10.06	2.61	47.98
Moderna	10.53	12.48	13.73	2.61	64.47
Nápoles	15.39	20.03	22.28	5.22	103.22
Narvarte Oriente	21.30	36.90	35.01	9.14	176.61
Narvarte Poniente	23.35	46.64	43.74	13.05	220.65
Narvarte Unidad	2.99	1.47	5.35	1.31	14.07
Nativitas	9.00	9.82	9.41	2.61	50.60
Niños Héroes	10.37	9.92	14.09	3.92	58.25
Noche Buena	3.24	3.87	3.88	1.31	20.10
Nonoalco	15.26	7.64	15.97	3.92	58.16
Periodista	2.50	2.67	3.83	1.31	15.67
Piedad Narvarte	17.64	6.08	27.25	5.22	68.43
Portales Norte	15.29	22.86	9.37	6.53	100.04
Portales Oriente	9.69	3.48	7.45	2.61	30.22
Portales sur	28.93	22.60	15.53	9.14	121.67
Postal	8.24	3.78	10.93	2.61	33.18
R. Emperadores	2.36	3.16	0.50	1.31	13.69
San José Insurgentes	15.79	10.71	11.14	3.92	63.12
San Juan	8.94	2.94	9.12	2.61	29.52
S. Pedro de los Pinos O	13.82	10.73	17.32	3.92	67.39
S. Pedro de los Pinos P	5.21	3.48	5.86	1.31	22.86
San Simón	6.33	15.29	5.52	2.61	60.53
Santa Cruz Atoyac	9.40	11.61	1.73	5.22	51.33
Tlacoquemecatl	7.90	11.77	7.56	3.92	54.83
Unidad H. Esperanza	4.10	0.87	6.39	1.31	14.42
Vertíz Narvarte	6.09	13.77	12.24	5.22	65.04
Villa de Cortés	9.67	6.41	11.66	2.61	43.24
Xoco	3.76	5.20	0.45	1.31	21.18
Zacahuiztco	4.63	2.25	4.10	1.31	16.82
BENITO JUÁREZ	489.8	552.2	557.7	187.9	2,899.1
Promedio	8.59	9.69	9.78	3.30	50.86



Nota: los cálculos se realizaron con el factor de emisiones 2.599, publicado en 2014 por el INECC, para México

Fuente: Elaboración propia con base a INECC, 2014

Aplicando los escenarios de la sección anterior podemos comparar la generación de emisiones en los tres escenarios construidos; en el escenario “teórico” se recorren mil kilómetros y se generan casi tres toneladas de CO<sub>2</sub>; en el escenario “incompetente” se recorrerían 0.7 kilómetros más que el escenario teórico y las emisiones generadas crecen una tonelada extra a las emitidas en el escenario teórico; los cambios significativos se pueden ver en el escenario “ineficiente” en donde se estima una distancia de 8.5 kilómetros y generando casi cuatro veces más emisiones de CO<sub>2</sub> que el “escenario incompetente”, véase en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Distancias y emisiones de los escenarios

Escenario	Distancia recorrida km	Emisiones por ruteo ton de CO <sub>2</sub>
Teórico	1,028.7	2.9
Incompetente	1,666.1	3.9
Ineficiente	8,460	14.6

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub>: a partir del consumo de combustible

Esta sección estima las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de los datos obtenidos en la entrevista realizada al Jefe del Servicio de Limpia de la alcaldía Benito Juárez a través del consumo de combustible requerido para realizar las tareas de recolección de los residuos en la alcaldía. El objetivo del ejercicio es contrastar las estimaciones teóricas de las distancias y las emisiones de CO<sub>2</sub> con el “consumo real” llamaré así a la conversión que se realiza de litros (l) de combustible que se pagan a través de un cheque canjeable en la estación de gasolina de su preferencia.

Según el Jefe de limpia, el cuestionario de la encuesta se puede revisar en el Anexo 4, el consumo de combustible de los camiones no es una variable monitoreada, el Jefe de limpia diariamente le entrega a cada encargado de conducir un camión de basura un bono canjeable por 40 litros de diésel independientemente del tamaño de la ruta que recorre, lo anterior sin pedir explicación por el uso del mismo.

Debido a la falta de datos del consumo de combustible en el transporte de los residuos, se utilizó una metodología propia calculando el número de litros consumidos de los 141 camiones recolectores, después se aplicó el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> para México, publicado por el INECC, 2014.

En la Tabla 4.11. observamos que la generación de emisiones por el servicio de recolección de todos los camiones en alcaldía Benito Juárez que suma 14,660 kg de CO<sub>2</sub> en todo el proceso de recolección de residuos, desde el momento en que los camiones salen del campamento de limpia, llegan y hacen

la recolección, llevan los residuos al centro de transferencia y regresan al campamento, significa que cada camión genera 104 kg de CO<sub>2</sub>.

Tabla 4.11. Consumo, distancia y emisiones del combustible

Medida	Consumo de diésel (l/día)	Distancia estimada (km/día)	Emisiones generadas (kg de CO <sub>2</sub> )
1 Camión	40	60	104
Flotilla (141 camiones)	5,640	8,460	14,658

Nota: factor de emisión 2.599

Fuente: Elaboración propia con base a entrevista al Jefe de limpia de Benito Juárez

#### 4.3 Evaluación de la eficiencia en el traslado de los residuos del resto de la GRSU

La GRSU en la alcaldía Benito Juárez es un programa diseñado para la CDMX que tiene como finalidad articular e interrelacionar las acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, como lo marca la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos publicada en 2015.

Como parte de la GRSU en la CDMX, la alcaldía Benito Juárez tiene a su gestión una estación de transferencia (ET), es la única alcaldía que tiene una estación propia, también tiene acceso a dos plantas de selección (PS) fuera de la alcaldía, una planta compactadora (C), servicio a una planta de composta (PC) ubicada en el Bordo Poniente y el uso de 4 de 5 sitios de disposición final (DF) en las afueras de la CDMX, en las siguientes secciones se detallarán los costos económicos y las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del transporte que articula cada una de las estaciones o plantas antes mencionadas, es importante hacer notar que solo se dará una ligera explicación del tipo de gestión del que se estén estudiando los costos, debido a que en el Capítulo 2 se detalló la función de cada proceso en la GRSU.

Para realizar los cálculos de emisiones de CO<sub>2</sub> se utilizaron los factores que se muestran en la Tabla 4.12; todas las fuentes de información utilizadas son oficiales, en algunos casos, cuando no existía la información se realizaron estimaciones o derivaciones de datos encontrados en fuentes oficiales, es el caso del número de tracto camiones que se calculó con la cantidad de residuos generados. A pesar de los esfuerzos por tener el mayor número de información, hubo datos que no se pudieron estimar, como el costo de transporte de algunas etapas de la GRSU, es el caso de la planta de selección.

Tabla 4.12. Factores utilizados

Nombre del factor	Factor	Unidad	Fuente
Rendimiento de tracto-camión	1	km/l	Caminos y Puentes, 2004
factor de emisión	2.559	kg/l diésel	INECC, 2014
tracto-camión	20 a 30	ton	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México

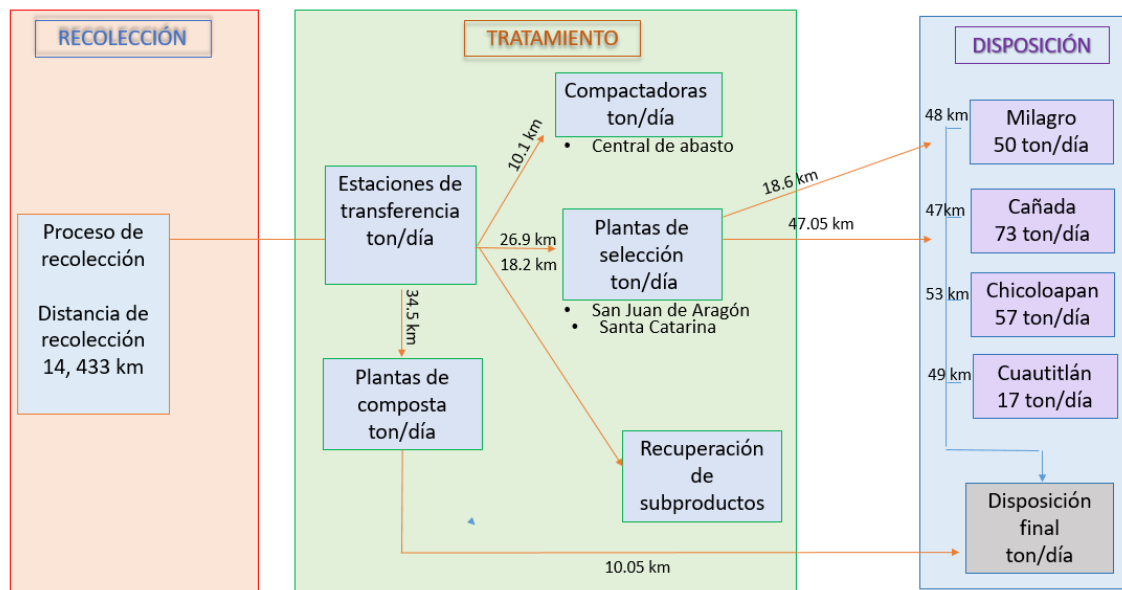
Fuente: Elaboración propia

### 4.3.1 Distancias recorridas y emisiones de CO<sub>2</sub> en la GRSU

El método utilizado para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue simultáneo a las distancias recorridas en la GRSU de la alcaldía BJ para transportar los residuos, debido a que se utilizó como insumo para calcular el consumo en combustible utilizado por los camiones y de esta forma calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el traslado de los desechos.

Explicando la GRSU en tres grandes pasos; la recolección, el tratamiento y la disposición final; en cada uno se realizan viajes de traslado; para la recolección se recorren alrededor de 14.5 mil kilómetros, en el tratamiento de los residuos se realizan al menos ocho diferentes destinos a alguno de los sitios en donde se les da un tratamiento (planta de composta, estación de transferencia, compactadora, planta de selección, disposición final o a la recuperación), el último paso es la disposición final o confinamiento y puede realizarse en cuatro sitios (el Milagro, la Cañada, Chicoloapan y Cuautitlán); por otro lado, el número de viajes a cada punto está condicionado a la cantidad de residuos de los que se traten. En la Figura 4.5 se observan las distancias y los destinos recorridos.

Figura 4.5. Distancias de la GRSU



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2019 y alcaldía Benito Juárez

En la Tabla 4.13 se construyó una matriz de distancias recorridas por destino, después de entregar los residuos a la estación de transferencia, los vehículos de carga de alto tonelaje recorren alguno de estos caminos para continuar con el proceso de tratamiento. Como se observa en la matriz, las distancias más largas son las que se realizan a los sitios de disposición final, por otro lado, los viajes más cortos son los que se dan de las plantas de composta a los sitios de disposición final (10km) y del centro de transferencia a la planta de compactación (10km). En la siguiente sección se retomará con más detalle cada paso de la gestión.

Tabla 4.13. Matriz de distancias en la GRSU (km)

	composta	selección		Compactación	Nombre del sitio de Disposición final (DF)			
	Bordo Poniente	Aragón	Santa Catarina	Central de abastos	Cañada	Chicoloapan	Bicentenario	Milagro
Planta	34.5							
Planta		18	26.9					
Planta				10.1				
Sitio					47.3	52.6	49.1	47.9
com_DF					10.05			
selec_DF					47.05			18.6
comp_selec			16.7					

Fuente: Elaboración propia con base a Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI

Nota: los mapas que respaldan la matriz se encuentran en el anexo 4 mapas 1A a 12ª.

#### 4.3.1.1 Estación de transferencia (ET)

Las (ET) son el vínculo entre la recolección y el tratamiento de los residuos, para ello, después de la recolección los camiones llevan los residuos a la ET más cercana para llenar vehículos de carga de gran tonelaje que realizaran el traslado a su destino de aprovechamiento o al sitio de su disposición final.

El objetivo de la ET es disminuir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera, reduciendo el número de recorridos y de viajes que realizan los camiones recolectores. Como lo explica Bartone y Bernsten (1993) las estaciones de transferencia tienen sentido, si las distancias de transporte a las instalaciones de procesamiento o eliminación de RSU son mayores a 20 km o el tiempo de viaje excede los 30 minutos, la entrega de RSU recolectados a las estaciones de transferencia donde se consolidan en grandes cargas que pueden transportarse por tracto camiones, vagones de ferrocarril, o las barcazas a instalaciones de gestión a gran escala generalmente son menos costosas que transportar la misma cantidad de RSU en vehículos pequeños.

Los residuos ingresados a la ET tienen diferentes destinos dependiendo del tipo de tratamiento que se realizará, pueden ir a la planta compactadora, a la planta de selección o a la planta de composta, obedeciendo el tipo de residuo del que se trate. Las ET se convierten en el punto de referencia del procesamiento de los residuos sólidos, de este punto parte el resto de los destinos de tratamiento; las distancias recorridas se estudiarán en la siguiente sección. Véase Figura 4.6.

En 2018 la cantidad de residuos sólidos ingresados a la ET de la alcaldía Benito Juárez contabiliza 156,774 toneladas anuales, 429.5 ton/día, provenientes de la recolección residuos y del ingreso por el servicio particular de limpia y el pago por derechos.

Figura 4.6. Estación de transferencia



Fuente: SEDEMA, 2019

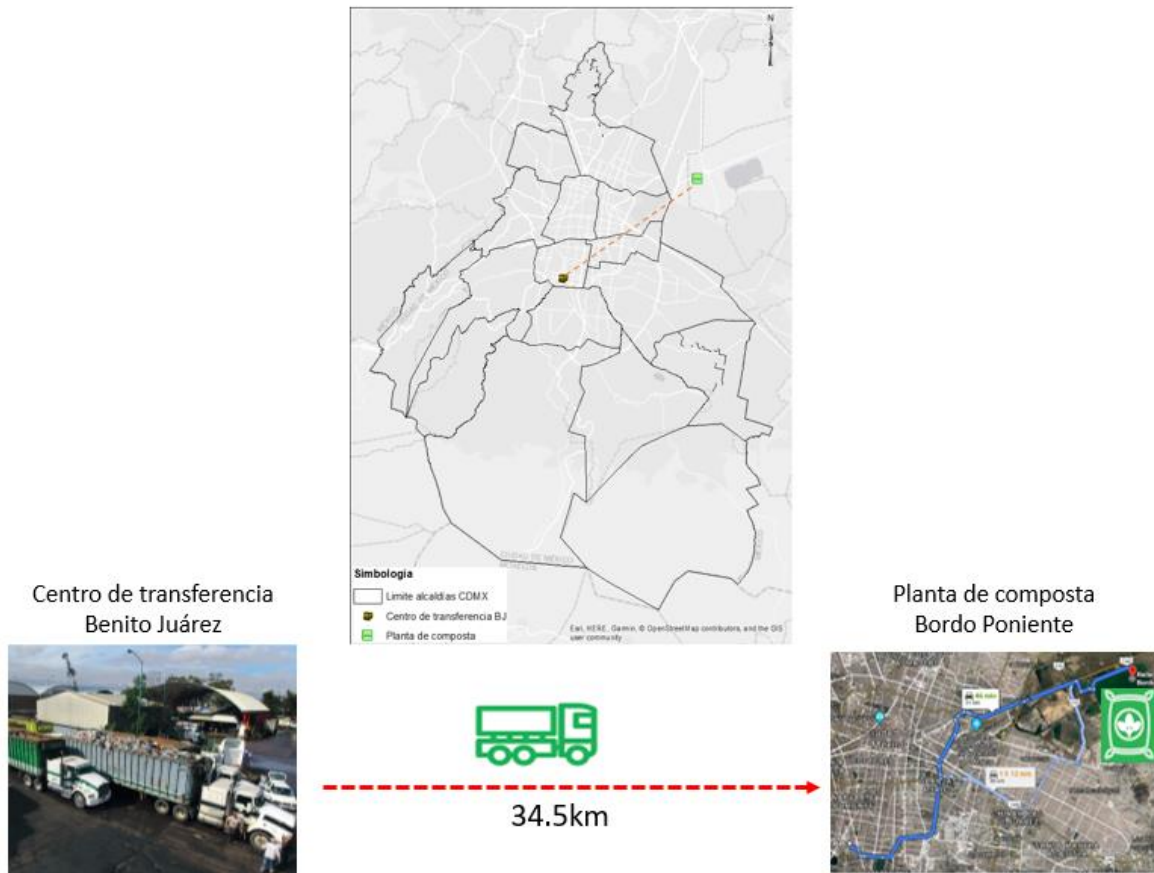
#### 4.3.1.2 Planta de composta (PC)

La estación de transferencia de Benito Juárez envía sus residuos sólidos orgánicos a la planta de composta del Bordo Poniente, operada por la Subdirección de Reciclaje de la Agencia de Gestión Urbana (ahora SOBSE), en donde se realiza un proceso de degradación natural de los residuos de tal manera que el producto que se obtiene es un abono que agrega nutrientes a suelos agrícolas, jardines, camellones, parques y áreas verdes de espacios públicos en general.

Según el Inventario de residuos sólidos (IRS) en 2018 Benito Juárez envió 22,154 ton de residuos orgánicos a tratamiento de compostaje, esa cantidad representa 4.5% de lo recibido por la planta, que se reincorporaron al ciclo productivo como composta en espacios verdes.

Los residuos orgánicos son transportados de la estación de transferencia Benito Juárez a la planta de composta Bordo Poniente a través de tracto camiones que recorren 34.5 km, de un tramo a otro. Es importante resaltar que el servicio de transporte de la ET a la PC esta concesionado a una empresa privada. Véase Figura 4.7. y M1. A del anexo.

Figura 4.7. Distancia de la Estación de transferencia a la Planta de composta



Fuente: Elaboración propia

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> se siguió la siguiente metodología: en Benito Juárez se generan 22,154 ton de residuos orgánicos al año, al mes 1,864 ton y 61.5 ton diarias, dividiendo 61.5 ton entre la capacidad de carga del tracto camión (que oscila entre 20 y 30 ton), se deduce que se realizan de dos a tres viajes diarios a la planta de composta. Debido a que recorren 69 km del viaje redondo y realizan dos o tres vueltas consumen entre 138 y 207 l de diésel; por lo tanto, las emisiones contaminantes generadas estarán entre 353.1 y 529.7 kg de CO<sub>2</sub> diarios, dependiendo del número de viajes.

#### 4.3.1.3 Plantas de selección (PS)

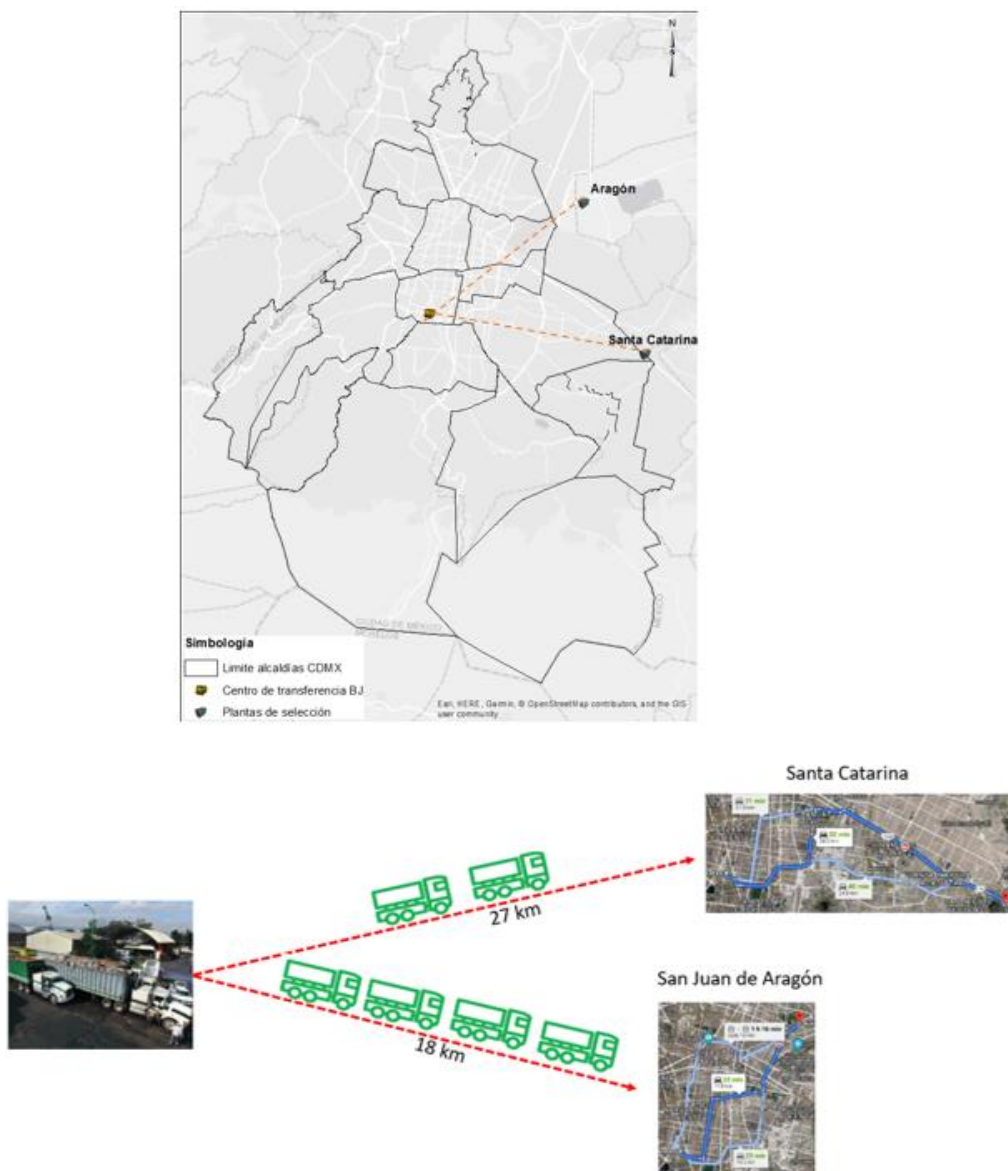
La alcaldía Benito Juárez agrega 110.2 ton diarias de residuos sólidos a las PS de la CDMX, los residuos son seleccionados en dos grupos: los residuos recuperados, porque existe un valor en el mercado, y los residuos sin valor que se rechazan y se envían al sitio de disposición final.

Existen tres plantas de selección en la CDMX, sin embargo, Benito Juárez solo utiliza dos la Planta de selección San Juan de Aragón, a la que se llevan 76.3 ton y la Planta de selección Santa Catarina a la que trasladan 33.9 ton al día.

Como se observa en la Figura 4.8, para trasladar los residuos de la estación de transferencia a la Planta de selección ubicada en Aragón se deben recorrer 18 km y 27 km a la Planta de selección ubicada en Santa Catarina. El recorrido es realizado por servicio de transporte privado o concesionado a través de tracto camiones.

Las distancias que recorren los tracto camiones y las emisiones que se generan en el traslado de los residuos es una cantidad no despreciable, la Secretaría de Medio Ambiente está consciente de ello “...se observa que a pesar del gran beneficio que representan las plantas de selección en cuanto a la recuperación de material reciclable, las distancias que deben recorrerse para depositar en ellas, tienen implicaciones importantes en los costos del transporte, la contaminación atmosférica provocada y el aporte a la congestión vehicular que vive la ciudad” (SEDEMA, 2018).

Figura 4.8. Distancia de la Estación de transferencia a la Planta de selección



Fuente: Elaboración propia

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el transporte de los residuos de la ET a las estaciones de separación se realizaron los siguientes cálculos; considerando que se requieren de uno o dos tractos camiones para mover 34 ton de residuos que irán a Santa Catarina, el consumo de combustible derivado del traslado de los residuos a Santa Catarina y de regreso a ET es de 53.9 a 107.7 l de diésel, lo que significa que emiten entre 137.8 y 275.5 kg de CO<sub>2</sub>. Para el caso de San Juan de Aragón se deben mover 76 ton diarias para ello se utilizan entre tres o cuatro tracto camiones para trasladar 76.4 ton a San Juan de Aragón, el consumo de combustible por los traslados va de 108 a 144 l de diésel y las emisiones generadas por este consumo van de 276.4 a 368 kg de CO<sub>2</sub>.

#### 4.3.1.4. Plantas de compactación (C)

Las plantas compactadoras tienen como objetivo disminuir el volumen de los residuos, para ser valorizado o enviado a disposición final. Los residuos son separados de acuerdo a su composición y compactados por sistemas automatizados buscando obtener aquellos que permitan ser alimentados a los procesos de reciclaje energético (SEDEMA,2018).

Los cálculos de las emisiones para el transporte de la planta de compactación en Benito Juárez son: la alcaldía entrega 64.08 ton diarias de residuos sólidos a la planta de compactación de Iztapalapa, para ello se utiliza dos tracto-camiones que viajan 10.1 km del centro de transferencia a la planta de compactación, tienen un gasto en energía de 40.4 l de diésel en un viaje redondo traducido en emisiones son: 103.4 kg de CO<sub>2</sub>. Véase Figura 4.9.

Figura 4.9. Distancia del Centro de transferencia a la planta de compactación



Fuente: Elaboración propia

Al final del tratamiento de compactación de los residuos procesados toman uno de tres caminos:

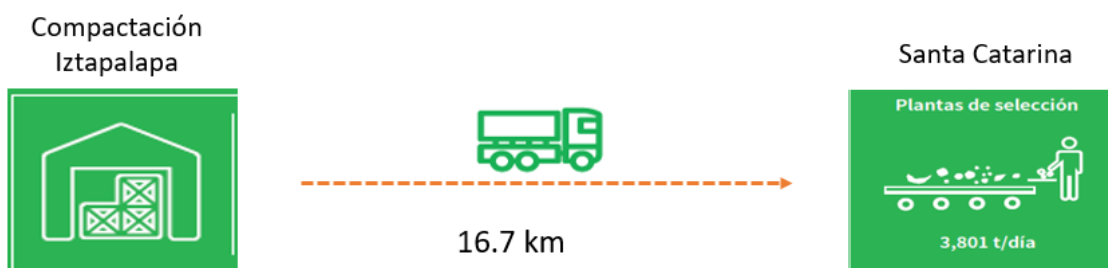


El primero, es reunir residuos que sean aprovechados como combustible es el caso de los neumáticos, aceites reciclados, entre otros; este tipo de residuos son aprovechados como catalizadores, el transporte a las empresas demandantes del recurso es independiente por lo que, desafortunadamente no se tiene información del tonelaje o de la distancia y de las empresas a las que se dirige el insumo.

El segundo camino, es la distancia que recorren los tracto -camiones de basura que salen de la planta compactadora con residuos desvalorizados hacia el sito de disposición final que se describirá en la siguiente sección.

El último camino, puede observarse en la Figura 4.10, es la entrega de residuos compactados a la planta de selección que tiene como finalidad reunir los subproductos de características similares y envía los a la planta de selección para que realice el traslado final de los residuos compactados y seleccionados, generalmente a alguna central de reciclaje, el trayecto que debe contabilizarse es la distancia de la planta compactadora a la planta de selección que se estima genera 85.6 kg de CO<sub>2</sub> en un trayecto de 33.4km ida y vuelta diarios.

Figura 4.10. Distancia de la PC a la PS



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.5. Disposición final

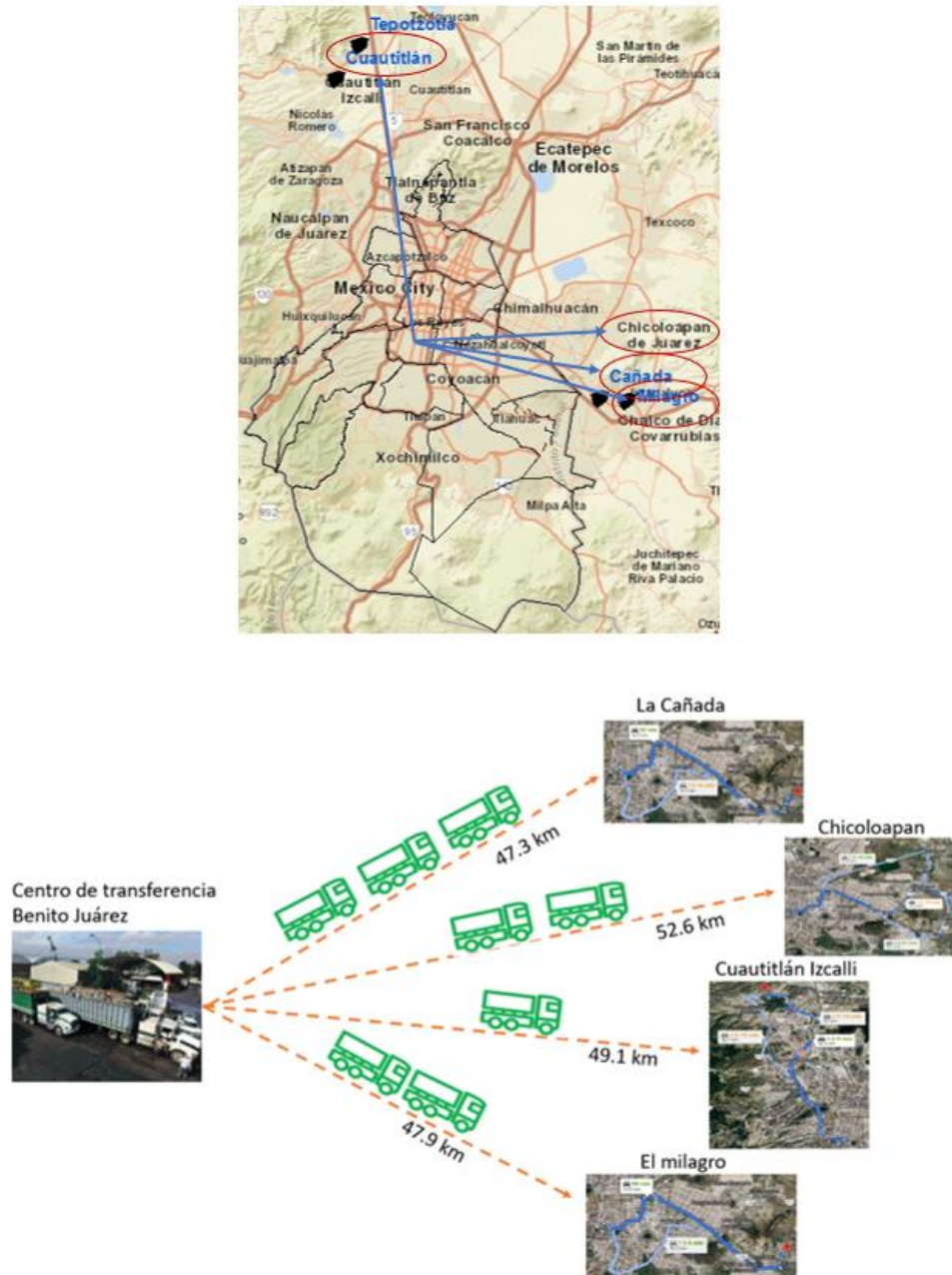
Los sitios de disposición final o rellenos sanitarios son aquellos sitios, generalmente a las afueras de las ciudades, a donde se disponen los residuos sólidos que no recibieron algún tratamiento o no pudieron ser valorizados.

La alcaldía Benito Juárez utiliza cuatro de cinco sitios de disposición final; La Cañada que recibe 73.7 ton, Chicoloapan absorbe 57.6 ton, Bicentenario toma 21.3 ton y El Milagro que recibe 50.7 ton diarias. En total se entierran 197 ton de residuos diarios generados por la alcaldía BJ (SEDEMA, 2018).

Los residuos confinados en los sitios de DF provienen principalmente de la estación de transferencia 61.4% del total, seguido de las estaciones de separación que confina 38.3% de los residuos no valorables, en una menor cantidad las plantas compactadoras aportan 0.2% y el menor monto viene de los residuos de manejo especial con 0.1%.

El traslado de los residuos de la estación de transferencia Benito Juárez a los cuatro sitios de disposición final, se realiza a través de ocho tracto camiones que se distribuyen de la siguiente forma: al sitio de la Cañada se realizan 3 viajes que recorren una distancia promedio de 47km cada viaje, para el sitio de Chicoloapan se realizan dos viajes que recorren un promedio de 52.6 km, al sitio del Bicentenario se realiza solo un viaje y recorre una distancia de 49.1 km, finalmente, al sitio del Milagro se hacen dos viajes de 47.9 km cada viaje para entregar los residuos a su confinamiento. Véase Figura 4.11.

Figura 4.11. Distancia de la Estación de transferencia a los cuatro sitios de Disposición Final



Fuente: Elaboración propia

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> se computó el consumo de diésel por tres viajes en tracto camión al sitio de la Cañada, lo que dio 284 l que generó una emisión de 726.2 kg de CO<sub>2</sub> diarios. Para el siguiente sitio el gasto de combustible por dos viajes al destino final de Chicoloapan es de 210 l que generó 538.4 kg de CO<sub>2</sub>. Para el tercer sitio de disposición final el energético consumido para realizar un viaje al relleno sanitario de Cuautitlán es de 98.2 l que emiten 251.3 kg CO<sub>2</sub>, finalmente la cantidad de diésel utilizada para realizar dos viajes a la mina del Milagro es de 192 l y las emisiones derivadas de estos viajes son 490.3 kg CO<sub>2</sub>. El consumo total anual de diésel utilizado para llevar los residuos sólidos a los cuatro centros de disposición final en el año 2018 fueron 286,160 l, lo que significó la generación de 732 ton de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, las plantas de selección también envían residuos a los centros de disposición final, diariamente se rechazan 42.2 ton de residuos sólidos de las plantas de separación que son reenviadas al centro de disposición final más cercano porque los residuos carecen de valor en el mercado. La cantidad de residuos rechazada será enviada a través de dos tracto-camiones que partirá cada uno de una planta de selección. La Planta de Aragón envía 29.2 ton de residuos diarios que realizará un transporte completo de 94.1 km, mientras que la Planta de Santa Catarina envía al sitio de disposición final 13 ton diarias y el tracto-camión recorrerá una distancia de 37.2 km. Véase Figura 4.12.

Figura 4.12. Distancia que recorren los residuos rechazados en las Plantas de selección

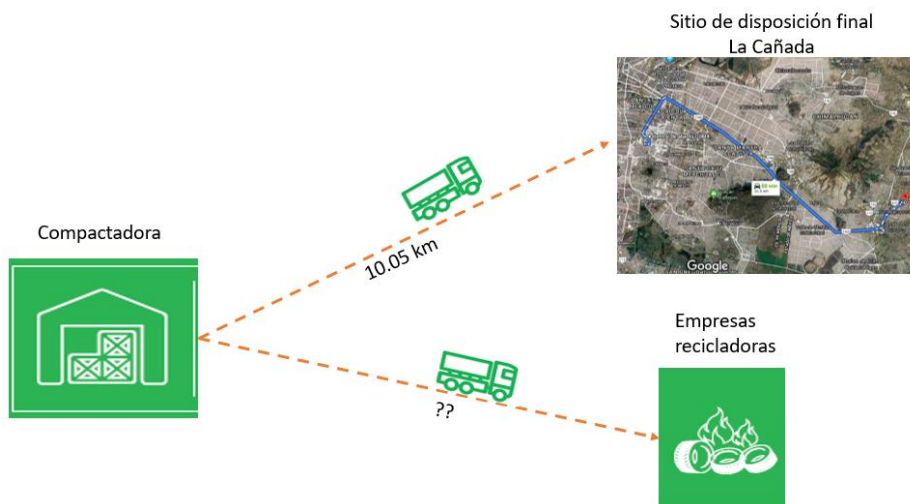


Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas diariamente por los traslados de residuos rechazados de las plantas de selección son: 240.8 kg de CO<sub>2</sub> derivado de un consumo de 94 l en un viaje redondo de la Planta de selección de San Juan de Aragón al centro de disposición final de la Cañada, por otro lado, el viaje que se realiza de la Planta de selección de Santa Catarina al sitio de disposición final del Milagro con un gasto energético de 37.2 l y emite 95.2 kg de CO<sub>2</sub>.

En cuanto a las emisiones generadas por el traslado de 64 ton de residuos de la planta de compactación ubicada en los alrededores de la Central de Abasto al sitio de disposición final la Cañada, suman 163.8 kg de CO<sub>2</sub> en respuesta de dos tracto-camiones que realizan un viaje con un gasto de 40.2 l de diésel diario. Al igual que los procesos anteriores los costos de la concesión que transporta los residuos no se pudieron obtener. Véase en la Figura 4.13

Figura 4.13. Distancia de la planta compactadora a la Cañada



Fuente: Elaboración propia

El último eslabón son los residuos de manejo especial, de los cuales se reciben 0.42 ton diarias, no fue posible obtener más información para conocer el transporte de los particulares que recogen el material y lo llevan a sitio de confinamiento.

Las distancias del proceso completo del tratamiento y la disposición final en sus diversas rutas se encuentran en la Tabla 4.3.1A del anexo 4.

#### 4.3.2. Mapa de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la GRSU en Benito Juárez

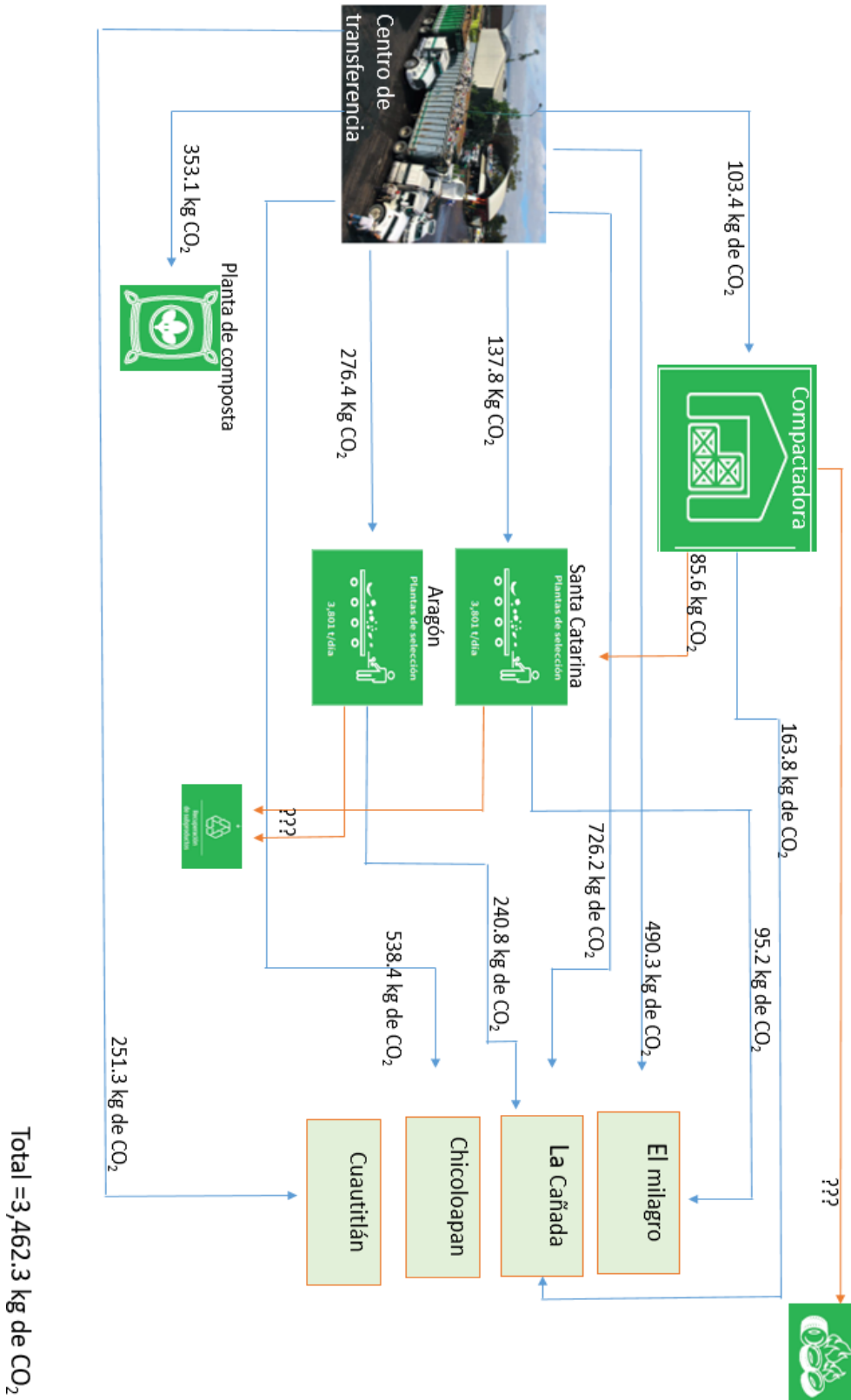
En la Figura 4.14. se observa el mapa de emisiones de CO<sub>2</sub> en la GRSU de la CDMX; el mapa refleja paso a paso el cálculo de 12 puntos de generación de emisiones de CO<sub>2</sub> a partir del transporte de los residuos para cumplir con el tratamiento de los mismos.

La generación total de emisiones se estima entre 3,462.3 y 3,868.2 kg de CO<sub>2</sub> diarios, la diferencia se debe a qué en dos puntos de la GRSU, la planta de composta y la planta de selección, no hay información suficiente para estimar el número exacto de viajes que realizan en estos puntos del proceso, así que se realizaron dos estimaciones, el efecto medurado y el efecto derrochador. Véase Figura 4.14 y la Figura 4.A del anexo 4.

En la Figura 4.14 se observa los puntos de emisión en la GRSU, cada flecha azul es un tramo recorrido en algún punto de la gestión de los residuos. Las emisiones más grandes son las que llevan los residuos a sitios de disposición final, sobre todo al sitio de la Cañada, 762 kg de CO<sub>2</sub>, seguido de las emisiones del traslado del relleno sanitario de Chicoloapan 538.4 kg de CO<sub>2</sub>. El número de viajes que se realizan a los sitios de disposición final hace la diferencia en las emisiones entre sitios.

Por otro lado, las flechas naranjas son los trayectos de los que no se tiene información debido a que estos procesos los realizan las empresas recicladoras de manera independiente, por lo tanto, no hay registro oficial de a dónde llevan esos residuos y cuál es la distancia que recorren. En el caso de la flecha que va de la planta compactadora a la planta de selección de la Figura 4.14., a pesar de no tener información oficial, se estimó la distancia y cantidad de residuos trasladados.

Figura 4.14. Mapa de emisiones de CO<sub>2</sub>



Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2019 y alcaldía Benito Juárez

### 4.3.3 Emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte de la GRSU

Una vez calculadas las emisiones totales del tratamiento de los residuos, reflejado en el mapa de emisiones, se sumarán a las emisiones derivadas de los cálculos en la recolección; para ello se retomaron los escenarios construidos en la sección 4.2.4. La Tabla 4.14 presenta en la columna 1 el total de las emisiones generadas en la ruta de recolección domiciliaria, mientras las columnas 2.1 y 2.2 reflejan las emisiones totales del tratamiento de los residuos, que se describió en el mapa de gestión, finalmente las columnas 3.1 y 3.2 representan las emisiones totales, suma de las columnas anteriores.

En el escenario más conservador, *escenario teórico*, las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas oscilan entre 6.3 y 6.7 ton diarias por el uso del transporte en la recolección de los residuos sólidos en la alcaldía de Benito Juárez. El segundo escenario, *incompetente en el manejo del servicio*, genera emisiones por 7.4 y hasta 7.8 ton de CO<sub>2</sub>; finalmente, con el *escenario ineficiente*, el caso más alto en emisiones, la generación total en el uso del transporte de la cadena de GRSU va de 18.1 a 18.5 ton diarias, tres veces más que el escenario *teórico*.

Tabla 4.14. Emisiones totales del transporte en la GRSU

Escenario	(1) Emisiones por ruteo ton de CO <sub>2</sub>	(2.1) Emisiones del resto_1 ton de CO <sub>2</sub>	(2.2) Emisiones del resto_2 ton de CO <sub>2</sub>	(3.1) Emisiones de la GRSU_1 ton de CO <sub>2</sub>	(3.2) Emisiones de la GRSU_2 ton de CO <sub>2</sub>
<i>Teórico</i>	2.9	3.462	3.868	6.4	6.7
<i>Incompetente</i>	3.9			7.5	7.9
<i>Ineficiente</i>	14.6			18.1	18.5

Fuente: Elaboración propia con base a SEDEMA, 2019 y alcaldía Benito Juárez

### 4.4 Costos privados y costos externos por el transporte de los residuos

Los costos privados son aquellos costos en los que incurre la alcaldía Benito Juárez para ofrecer el servicio de GRSU, sueldos, salarios, combustible, escobas, barredoras, camiones recolectores, carritos de basura, etc., sin embargo, en el análisis de este trabajo solo se considerarán los costos asociados al consumo de combustible (diésel o gasolina) en la recolección ya que el objetivo del análisis es conocer los costos asociados al transporte de los residuos en la cadena de gestión.

Los costos externos son todos aquellos costos asociados a los privados (productores o consumidores) que trasladan el costo a la sociedad, en éste caso, son los costos de emitir gases contaminantes en específico CO<sub>2</sub> en la recolección y el traslado de los residuos. Véase tabla 4.15

Tabla 4.15. Costos privados y externos

Costos privados	Costos externos	Costos sociales
Son los costos que se presentan en el estado de pérdidas y ganancias al final de año (mano de obra, materias primas, maquinaria, energía, otros insumos).	Son aquellos costos que no se consideran en la toma de decisiones sobre la tasa de producción (costos a la degradación ambiental).	Son la suma de los costos privados y los costos externos

Fuente: Elaboración propia con base a (Barry, 1995)

Para calcular los costos se fragmento en dos tipos de costos asociados al transporte: costos privados y costos externos, con el objetivo de hacer más claras las externalidades asociados al transporte de los residuos.

Primero se calculó la recolección de los residuos y el consumo del combustible asociado al transporte y disposición en la estación de transferencia (ET). Después se calculó el combustible usado en el segundo fragmento que comienza en la ET y se llega hasta el punto final de la gestión; cubriendo la gestión total de los residuos en la alcaldía BJ.

El listado de los costos que conforman costos privados y externos, se pueden seguir en la Tabla 4.16, es importante hacer notar que la suma de los costos privados y los costos externos no recupera el costo social total, debido a que en los costos privados solo incluye los costos asociados al consumo de combustible derivado del traslado de los residuos.

Generalmente se utilizan los costos marginales (costo /tonelada de residuo) como indicador en la toma de decisiones, sin embargo, no fue posible obtener toda la información, así que en algunos momentos nos vimos obligados a utilizar los costos medios.

Tabla 4.16. Metodología del cálculo de costos

Costo	Definición	Metodología
Costos privados	Los costos privados que se estudian son los referentes al consumo de gasolina en el transporte de los residuos sólidos en dos fases: 1) en la recolección y 2) en el resto de la gestión	Se calculó la distancia recorrida a través del programa ArcGIS Con la distancia y la eficiencia del combustible se obtuvo el consumo de diésel Usando los precios de 2010 y 2017 se obtuvo el costo Se calcularon tres escenarios de uso eficiente de combustible para la recolección (bajo, medio y alto)
Costos externos	Los costos externos se calcularon utilizando los factores de las metodologías de costos ecológicos (EVR) y costos sociales de carbono (SCC).	El factor monetario de la metodología EVR utiliza emisiones de CO <sub>2</sub> por lo que se requirió transformar el consumo de combustible en emisiones de CO <sub>2</sub> y

	<p>Por otro lado, también se calcularon las dos fases 1) en la recolección y 2) en el resto de la gestión.</p>	<p>aplicar los factores de costos ecológicos directos y costos ecológicos indirectos.</p> <p>Los costos sociales se calcularon utilizando los factores monetarios más conocidos para la tonelada de CO<sub>2</sub> emitida, usando el tipo de cambio 2010 y 2017.</p> <p>También se aplicaron los tres escenarios construidos para calcular los costos de recolección</p>
--	--	---

Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 4.4.1 Costos privados

Los costos privados en la GRSU son todos aquellos en los que incurre la alcaldía Benito Juárez para ofrecer el servicio de limpia como costos de inversión (maquinaria y equipo), costos del personal (salarios de trabajadores de limpia, trabajadores de diversos tratamientos, choferes, entre otros), costos variables (valor de la operación del tratamiento por tonelada y el valor por el mantenimiento del equipo de tratamiento), costos fijos (valor mensual de las rentas de terrenos, camiones, movilidad de camiones, lavado, estacionamiento, entre otros); gastos administrativos (sueldos y salarios del personal de recursos humanos, gerencias y similares).

En este trabajo no se revisarán todos los costos privados, solo los que incurren en emisiones derivadas del traslado de residuos, por lo que en la siguiente sección se revisarán los costos fijos derivados de la movilidad de los residuos sólidos, específicamente se revisará el costo en combustible derivado de la recolección.

##### 4.4.1.1 Costos de combustible gastado en la recolección de los residuos

La importancia de los costos de combustible en los costos totales lo explica Lohri en 2014, el costo de transporte de los RSU es proporcionalmente el más alto en los costos, sobre los costos de mantenimiento y los costos de sueldos y salarios, representa entre el 25 y 34% de los costos totales. A demás dentro de los costos de transporte los costos por el uso de combustible son los más altos, debido a las constantes alzas en precios del combustible, aceite y lubricantes y seguido por los costos de mantenimiento por el uso de vehículos viejos y en mal estado.

Debido a que el costo por combustible es el más alto se le dará prioridad en esta investigación. El combustible gastado en la recolección depende de varios factores; la longitud de ruta, las condiciones del camión de basura, el tráfico vehicular en donde se realiza la ruta, el horario de recolección y del número de veces que el camión de basura pasa por la ruta. De estas variables, la que se puede controlar sin que genere un costo extra la alcaldía es el número de veces que el camión recolector transita por su ruta, la ruta que utiliza y el horario de recolección.



Según el Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos publicado por SEDESOL (2019) el camión de basura solo debería pasar una vez por su ruta de recolección, sin embargo, esto no se lleva a cabo; el camión pasa una, dos y hasta tres veces a razón de necesidades ajenas a las recomendadas por SEDESOL. Héctor Castillo explica este comportamiento: todas las rutas de los camiones tienen establecido un sistema llamado "fincas" (arreglos privados con comercios, talleres, etcétera) para recoger periódicamente la basura de distintos establecimientos a cambio de un pago permanente por el servicio (Castillo, 1990) los recorridos a las fincas se realizan a destiempo de la recolección domiciliaria. Lo anterior responde la razón por la que los camiones recorren más de una vez la ruta que les corresponde.

El costo por movilidad en la recolección se obtuvo a partir del combustible gastado en la logística de la recolección, para ello se calculó el consumo de diésel en cada ruta; así como el precio del combustible para los años 2010 y 2017, se utilizaron dos precios para comparar cambios a lo largo del tiempo.

En la Tabla 4.17 se reúnen los costos del proceso de recolección según los escenarios construidos en la sección 4.2.4; el escenario bajo se llamará "consumo teórico" (llamado así porque según SEDESOL una sola vuelta en la recolección debería ser suficiente), como escenario intermedio está el gasto de recolección con exceso se llamará "consumo incompetente", finalmente el escenario alto muestra los gastos máximos, considerando como máximo los 40 l de diésel otorgados por las alcaldías, a los que puede ascender la recolección de residuos y que nombramos como "costo ineficiente".

Los costos privados derivados del consumo de combustible en 2010 ascienden a \$4 500 para el escenario teórico, \$7 500 pesos, para el escenario incompetente y \$39 500 para el escenario ineficiente, ocho veces más costoso que el escenario teórico. A precios de 2017, el costo diario por el consumo de diésel fue de \$10 800 pesos para el primer escenario, \$18 000 pesos para el escenario incompetente, para el escenario ineficiente el costo diario por la movilidad de los residuos es de \$95 000 pesos, el costo del escenario ineficiente supera en cinco veces el segundo escenario.

Además de que el escenario de gasto teórico tiene el costo de movilidad más bajo aún se puede mejorar siguiendo algunas sencillas indicaciones del Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos municipales que publicó SEDESOL (las recomendaciones se discutirán en las conclusiones finales).

Tabla 4.17. Costo diario de transporte por uso de diésel, 2010 y 2017

Escenarios	Precios 2010	Precios 2017
1. Consumo teórico	\$4,492	\$10,813
2. Consumo incompetente	\$7,471	\$17,984
3. Consumo ineficiente	\$39,480	\$95,034

Fuente: Elaboración propia con base a SENER, 2018

Nota: La flotilla es el total de los camiones que salen a la recolección (141 camiones)

precio de diésel 2010 (\$7 pesos)

precio de diésel 2017 (\$16.85 pesos)

#### 4.4.1.2 costos privados en el resto de la GRSU

Para conocer los costos privados del transporte en la gestión de residuos se cuantificaron las distancias de cada uno de los tratamientos de la GRSU, también se calculó el número de viajes de un punto a otro suponiendo la capacidad máxima de un camión de carga (en toneladas) y el consumo de diésel ya se ha explicado en las secciones anteriores, este tipo de metodología se ha registrado al menos en dos trabajos (Tellus, 1992 y Tzipi, 2006).

Se calcula la distancia de traslado de los residuos en el procesamiento entre 1 435 y 1 593 km que recorren los camiones de carga para llevar residuos diariamente a su tratamiento respectivo, lo que genera entre 3 462 a 3 868 kg de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmosfera.

En la cuarta columna de la Tabla 4.18. se observan los costos marginales (costo/tonelada) de la GRSU por tratamiento, estos datos son relevantes para los tomadores de decisiones de política pública ya que permiten realizar estudios de costo de oportunidad con el gasto. El costo por la GRSU asciende a \$90 163 pesos diarios por el tratamiento de los residuos, los detalles de los costos se revisan enseguida.

Tabla 4.18. Costos diarios por la gestión de residuos

Tipo de tratamiento	Nombre	Unidad	Costo/ton (pesos)	Costo total (pesos)
Estación de transferencia	operación	ton/día	S/D	-
Composta	transporte	ton/día	\$160	\$ 9 847
	procesamiento	ton/día	\$136	\$ 8 370
	operación de la maquinaria	día	\$708.10	\$708
	operación del personal	día	\$651.80	\$ 652
	Total			\$19 423
Planta de selección	S/D	-	S/D	-
Compactación	Operación de compactación	ton/día	\$399	\$25 534.5
	Trasporte	-	S/D	-
Disposición final	La Cañada	ton/día	\$221.51	\$16 318
	Chicoloapan	ton/día	\$221.51	\$12 755
	Cuautitlán	ton/día	\$221.51	\$4 707
	Milagro	ton/día	\$221.51	\$11 237
	Total de disposición final			\$45 018

Fuente: Elaboración propia con base a Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, 2019.

En la Planta de composta los costos de procesamiento de 61.5 ton de residuos orgánicos diarios son los siguientes: por el servicio de transporte el costo va de \$6 564 a \$ 9 847 pesos, en cuanto al costo por tonelada procesada de orgánicos el costo es de \$5 580 a \$ 8 370 pesos, los costos de operación de la maquinaria ascienden a \$ 652 y los costos de operación del personal a \$708. En suma, la alcaldía Benito Juárez tiene un gasto diario de \$19 423 pesos por el procesamiento de sus residuos orgánicos.

La Planta de selección no cuenta con información pública disponible de los costos de operación, por lo que se tuvo que prescindir de este análisis.

En el caso de la Planta de compactación, los costos de operación son los más altos de la cadena de gestión, por tonelada procesada. El costo por el procesamiento de 64.075 ton de residuos, la alcaldía debe pagar \$25 534.5 pesos diarios, sin contar los costos de transporte del centro de transferencia a la planta de compactación, dicho de paso, el servicio fue concesionado a particulares y del cual no se obtuvo información.

Los costos por disponer los residuos de la alcaldía Benito Juárez en los rellenos sanitarios son los segundos más altos de la cadena de GRSU, por tonelada dispuesta; la alcaldía gasta \$45 018 pesos diarios por enterrar los residuos no valorizables. Desagregando los costos por sitio de disposición, tenemos que la Cañada cobra \$16 318 pesos, el relleno de Chicoloapan recibe \$12 755 pesos, el sitio de disposición final de Cuautitlán recauda \$4 707, finalmente el relleno sanitario el Milagro recibe \$11 237 por los residuos.

#### 4.4.2 Costos externos

Los costos ambientales o externos son los costos no explícitos, no visibles y por lo tanto no cuantificables; para conocer los costos ambientales en el proceso de gestión de los residuos generalmente se utilizan algunas herramientas de valoración de externalidades; como los métodos de preferencias reveladas y de preferencias declaradas, sin embargo, como describe Beede (1995) la valoración no siempre es suficiente para algunos costos y beneficios en la gestión de los residuos; es el caso de la recolección, el transporte, los ingresos de la venta de materiales reciclables, composta y energía. Aunado a estos costos, también deben tomarse en cuenta los costos menos obvios, como los costos de oportunidad de la tierra que se encuentran en las estaciones de transferencia, las instalaciones de procesamiento o los rellenos sanitarios.

El objetivo de esta sección es conocer los costos externos del proceso de gestión de los residuos sólidos, para ello se utilizaron dos herramientas tomadas de los métodos de ciclo de vida: los costos ecológicos (EVR) y los costos sociales de carbono.

##### 4.4.2.1 Costos externos en la recolección de los residuos (metodología EVR)

Los costos ecológicos (EVR), por sus siglas en inglés, son costos virtuales que no se encuentran en la economía real pero que muestran el costo no cuantificado de los daños ocasionados al medio

ambiente y al agotamiento material por la producción o servicio de algún producto (Vogtlander, 2010).

Los EVR se pueden tratar como un indicador derivado de un modelo basado en la metodología de análisis de ciclo de vida (LCA), que evidencia los costos ecológicos ocultos y no contabilizados en las cuentas económicas de las actividades productivas realizadas a diario.

Para ésta investigación se calcularon los EVR en dos modalidades: los derivados de los costos ecológicos directos y los que pertenecen a los costos ecológicos indirectos la diferencias se revisarán en las siguientes secciones.

#### Supuestos utilizados

- Para el caso de los costos ecológicos suponemos el uso de un camión para realizar la recolección de basura se comporta como un camión estándar de 5 toneladas. Lo anterior considerando que el promedio general de basura transportada por vehículos es de 5.4 toneladas suponiendo iguales todos los tipos de unidades (Castillo 1990).

#### 4.4.2.1.1 EVR: Costos ecológicos directos

Los costos ecológicos directos son los costos que se calculan por la generación de emisiones contaminantes en la producción u ofreciendo el servicio de manera directa. Los costos ecológicos directos en la recolección de los residuos sólidos son aquellos que derivan de la recolección misma de los residuos, esto es las emisiones en el transporte de los residuos desde recolección hasta su disposición final.

Los costos ecológicos son resultado de la estimación realizada con los modelos MARKAL y MATTER usando una metodología de análisis de ciclo de vida, utilizadas por Vogtlander en su documento “The virtual pollution prevention costs 99. A single LCA-based indicador for emissions”, estos modelos generaron una lista de costos marginales como la que se muestra en la Tabla 4.19. Para la construcción de los cálculos aquí presentados se utilizará solamente el indicador de calentamiento global el cual revela que los costos ecológicos directos son de 0.135 euros por cada kilogramo de CO<sub>2</sub> emitido en la recolección de los residuos

Tabla 4.19. Costos marginales de prevención

Contaminante	Costos marginales de prevención
Acidificación	7.55 € /kg SO <sub>x</sub> equivalente
Eutroficación	3.60 € /kg fosfato equivalente
Ecotoxicidad (metales pesados)	802 € /kg Zn equivalente
Agentes cancerígenos	33 € /kg PAH equivalente
Smog de verano	8.9 € /kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> equivalente
Smog invernal	27.44 € /kg partículas finas PM <sub>2.5</sub>
Calentamiento global	0.135 € /kg CO <sub>2</sub> equivalente

Fuente: Vogtlander, 2010

El costo ecológico directo de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la recolección de residuos se calculó usando el factor de costos marginales de prevención de CO<sub>2</sub> descrito por Vogtlander, en la Tabla 4.20. se comparó entre los tres escenarios de eficiencia construidos para el uso del combustible en los camiones recolectores de residuos, que se explicó en la sección 4.2.4, utilizando los costos ecológicos directos en la logística de recolección de residuos para 2010 y 2017. Observemos que el costo marginal ineficiente para 2010 es cinco veces mayor (\$33 152) al costo marginal teórico (\$6,554) y cuatro veces mayor al costo incompetente (\$9,024). El costo incompetente es más costoso porque consume una mayor cantidad de litros de combustible que se traducen en una mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> y por lo tanto costos ecológicos más altos.

Tabla 4.20. Comparación de los costos marginales de prevención de CO<sub>2</sub> para la recolección de residuos, 2010-2017

Escenarios	Euros	Precios 2010	Precios 2017
Costo marginal teórico	391.4 €	\$6,554.2	\$8,347.6
Costo marginal incompetente	538.8 €	\$9,023.6	\$11,492.6
Costo marginal ineficiente	1,978.8 €	\$33,138.5	\$42,205.7

Fuente: Elaboración propia, 2020

Nota: A precios constantes de 2017

La flotilla es el total de los camiones que salen a la recolección (141 camiones)

Algunos problemas, ya conocidos, del uso de esta metodología son: 1) La complejidad del cálculo no se observa en el indicador utilizado; 2) El indicador solo refleja los efectos relativos de los gases conocidos (Vogtlander, 2010), por lo que el indicador esta subestimado.

#### 4.4.2.1.2. EVR: costos ecológicos indirectos

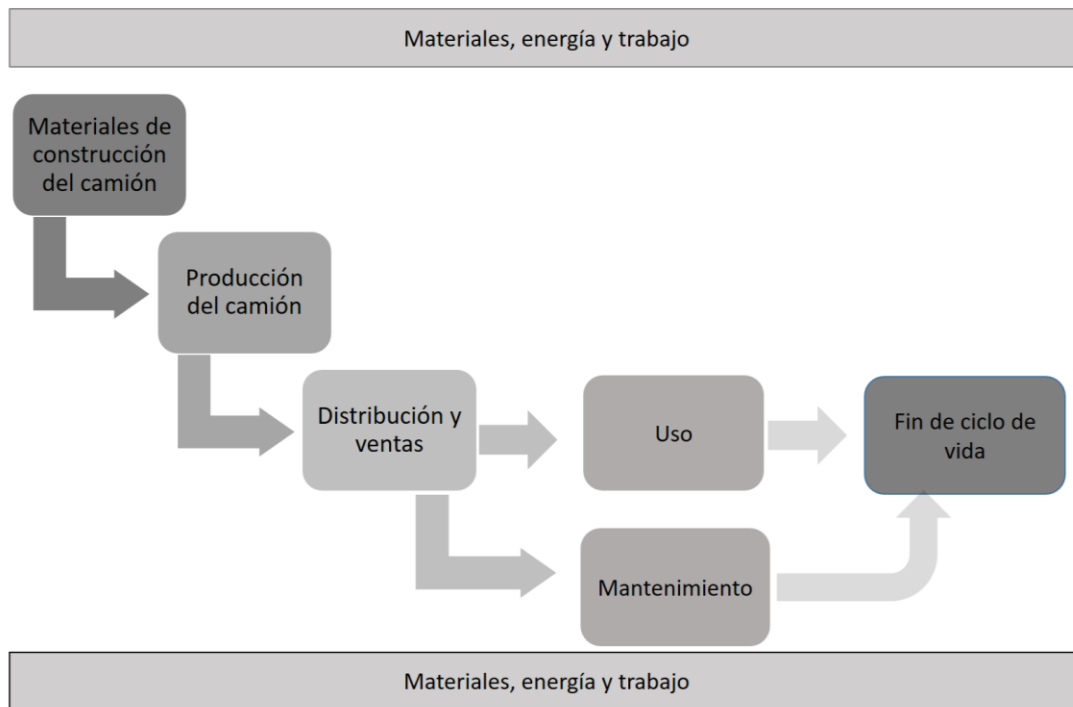
Son los costos derivados de las emisiones indirectas del servicio de recolección de residuos, es decir, todos aquellos costos que hacen posible la recolección y que escapan a simple vista, entonces, no se consideran las emisiones generadas por la combustión del diésel en la recolección. Algunos costos indirectos en la recolección se enumeran abajo.

1. Producción y mantenimiento de los camiones recolectores, máquinas barredoras carritos manuales y contenedores de basura
2. Construcción y mantenimiento de los lugares que facilitan la gestión de los residuos como: centros de transferencia, plantas de reciclado, plantas de compostaje, sitios de disposición final, entre otras.
3. Construcción y mantenimiento de infraestructura vial que facilita la gestión como: campamentos de limpia, espacios en las calles para la recolección, espacios dedicados a los contenedores fijos de basura.

En la Figura 4.15 se observan el proceso de cuantificación de los costos económicos por la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso productivo; que contabiliza: 1) materiales necesarios para realizar la recolección, esto es, láminas de aluminio, motor diésel, neumáticos, contenedor, sistemas eléctricos, chasis, etc., 2) las emisiones generadas en la producción de los insumos para la construcción del camión de basura, los contenedores, los espacios confinados, etc., 3) las emisiones

generadas en la distribución, traslado y gastos de ventas de los camiones, maquinaria y otros. Finalmente, una vez vendido se debe considerar 4) la generación de emisiones relativas al mantenimiento y uso necesario para que los camiones y maquinarias se encuentren en buen estado para ofrecer el servicio de limpia.

Figura 4.15. Cálculos usados en la metodología EVR



Fuente: Elaboración propia con base a EVR

Resultado de los estudios realizados con la metodología LCA se llegó al factor de costos ecológicos del transporte de mercancías que asciende a 0.26 euros/km (Vogtlander, 2010) el cual se ha utilizado para calcular los costos ecológicos indirectos por el servicio de recolección de residuos sólidos en los tres escenarios descritos.

En la Tabla 4.21 se observa que en el primer escenario el costo ecológico por la recolección de residuos sólidos es de 268 euros o \$5 705 pesos en 2017, en el segundo escenario los eco-costos aumentan un 60% esto es 433 euros o \$9 240 pesos y finalmente para el tercer escenario los costos ecológicos se disparan, siendo 14 veces más grandes que los costos del primer escenario, 3 811 euros o \$ 81 287 pesos para 2017.

Tabla 4.21. Costos ecológicos indirectos en tres escenarios

Escenarios	Euros	Pesos 2010	Pesos 2017
Costo marginal teórico	267.5 €	\$ 4 479.2	\$ 5 704.8
Costo marginal incompetente	433.2 €	\$ 7 254.7	\$ 9 239.7
Costo marginal ineficiente	3 811.2 €	\$ 63 823.8	\$ 81 287.0

Fuente: elaboración propia con base a Vogtlander, 2010 y BCE

Nota: La construcción de los escenarios está basado en la condición económica de uso del combustible en la recolección de los residuos explicado en la sección 4.4.1.1.1

Nota: el tipo de cambio de euro a pesos mexicanos es del año 2017

En la Tabla 4.22 se aplica el factor de costos por distancia, 0.26 € /km o 4.35 \$/km, a las colonias de la alcaldía Benito Juárez para el año de 2017 y utilizando los cálculos de las distancias recorridas por camión en la recolección de residuos sólidos y aplicando el factor se obtiene que el costo ecológico por la recolección de residuos asciende a \$9 240.1 pesos diarios, en promedio el costo marginal por camión de recolección es de \$ 162.1 pesos.

Por otro lado, hay colonias que tienen costos mayores al promedio, esto se debe a que éstas rutas recorren distancias mayores, lo que genera una mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> y por lo tanto mayor será el costo ecológico del transporte.

Tabla 4.22. Costos ecológicos indirectos por transporte

Colonia	A pesos de 2017	A pesos de 2010	Colonia	A pesos de 2017	A pesos de 2010
8 de Agosto	64.16	50.38	Nápoles	329.01	258.33
Acacias	96.66	75.89	Narvarte Oriente	562.92	441.98
Actipan	158.60	124.53	Narvarte P.	703.27	552.19
Álamos	477.91	375.24	Narvarte Unidad	44.92	35.27
Albert	57.06	44.80	Nativitas	161.32	126.66
Américas Unidas	85.34	67.01	Niños Héroe	185.61	145.73
Ampliación Nápoles	102.70	80.64	Noche Buena	64.11	50.33
Atenor Salas	58.23	45.72	Nonoalco	185.38	145.56
Carmen	58.01	45.54	Periodista	49.96	39.23
C. U. Miguel Alemán	26.17	20.55	Piedad Narvarte	218.10	171.25
Cd de los deportes	131.43	103.19	Portales Norte	318.81	250.32
Crédito Constructor	60.17	47.24	Portales Oriente	96.38	75.67
Del lago	42.81	33.61	Portales sur	387.74	304.44
Del Valle Centro	546.28	428.92	Postal	105.70	82.99
Del Valle Norte	377.70	296.56	R. Emperadores	43.75	34.35
Del Valle Sur	390.51	306.62	Sn J. Insurgentes	201.08	157.88
Ermita	55.07	43.24	San Juan	94.16	73.93

E. Insurgentes	59.56	46.76	Sn Pedro de los P O	214.66	168.55
General Anaya	75.92	59.61	S. Pedro de los P	72.92	57.26
Independencia	69.26	54.38	San Simón	192.98	151.52
Insurgentes San Borja	106.97	83.99	Santa Cruz Atoyac	163.59	128.45
Insurgentes Mixcoac	142.68	112.03	Tlacoquemecatl	174.74	137.20
Iztaccihuatl	88.73	69.67	U H. Esperanza	45.92	36.05
J, O. Domínguez	85.23	66.92	Vertíz Narvarte	207.34	162.80
Letrán Valle	218.71	171.73	Villa de Cortés	137.86	108.24
Merced Gómez	58.84	46.20	Xoco	67.49	52.99
Miguel Alemán	49.85	39.14	Zacahuitzco	53.62	42.10
Miravalle	53.96	42.37	BENITO JUAREZ	9,240.19	7,255.09
Mixcoac	152.94	120.09	Promedio	162.11	127.28
Moderna	205.40	161.28			

Fuente: elaboración propia con base a EVR y al tipo de cambio del BCE

#### 4.4.2.2 Costos externos en el resto de la GRSU. Costos ecológicos: metodología EVR

El cálculo de los costos ecológicos indirectos del transporte en la GRSU se conforma de doce trayectos de viaje por donde los residuos se trasladan para realizar la gestión, utilizando la misma metodología de la sección 4.4.2.1.2 y trayendo el factor de costo por distancia ( 4.35 \$/km) se puede estimar que los costos ecológicos en 2010 ascendían a \$6 250 pesos diarios y a \$8 000 pesos diarios para 2017, sin embargo, este costo puede aumentar un poco si se considera el máximo número de viajes para trasladar los residuos que asciende a \$6 936.4 pesos diarios en 2010 y a \$ 8 834.3 pesos diarios en 2017.

La desagregación de los costos ecológicos por el transporte se observa en la Tabla 4.23 vemos que 62% de los costos totales, \$3 872 pesos diarios, son los del transporte de la estación de transferencia (ET) a cuatro sitios de disposición final (DF), La Cañada, Chicoloapan, Cuautitlán, El Milagro, en total se realizan ocho viajes que recorren 900 km diarios.

El siguiente costo importante, \$705 pesos diarios, es el de la ET a las Plantas de Selección (PS) los costos del transporte representan 11% de los costos, se realizan de 3 a 5 viajes a dos sitios, la Planta de Aragón y la Planta de Santa Catarina.

El transporte de las ET a las plantas de composta (PC) representan el 10% de los costos ecológicos, \$600 pesos diarios por composteo de los residuos orgánicos de la alcaldía, se realizan de dos a tres viajes diarios a la Planta del Bordo Poniente recorriendo entre 138 y 207 km.

El resto de los traslados; ET a Planta Compactadora (C), PC a sitio de DF y PS a sitio de DF, suma apenas 17% de los costos ecológicos, \$1 068.



Tabla 4.23. Costos ecológicos indirectos de la GRSU

Traslado	Planta	2010	2017	%
ET-PC	Bordo Poniente	\$ 600.86	\$ 765.27	10%
ET-PS	Santa Catarina	\$ 234.69	\$ 298.90	11%
	Aragón	\$470.24	\$ 598.91	
	Total ET-PS	\$704.93	\$ 897.81	
ET-C	Iztapalapa	\$175.91	\$ 224.04	3%
ET- DF	La Cañada	\$ 1,235.69	\$1,573.79	62%
	Chicoloapan	\$ 1,374.15	\$1,750.14	
	Cuautitlán	\$427.57	\$ 544.56	
	El Milagro	\$834.24	\$1,062.51	
	Total ET-DF	\$ 3,871.66	\$4,931.00	
PC-DF	Cañada	\$175.03	\$ 222.93	3%
PS-DF	Aragón	\$409.72	\$ 521.83	9%
	Santa Catarina	\$161.97	\$ 206.29	
	Total PS-DF	\$571.69	\$ 728.12	
Pco-PS	Santa Catarina	\$145.72	\$ 185.59	2%
Total		\$ 6,245.80	\$7,954.74	100%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3 Costos sociales de carbono

El costo social de carbono (SCC por sus siglas en inglés) representa los costos económicos asociados a los daños (o beneficios) del cambio climático que resultan de las emisiones de una tonelada adicional de CO<sub>2</sub> (Ricke, 2018). Es decir, es el costo de un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero simulando diversas trayectorias a futuro, esto es, el costo económico monetario marginal de las emisiones de carbono. Expresan el valor presente de los costos sociales (daño social marginal) presentes y futuros que ocasiona una tonelada extra de carbono emitida a la atmosfera (Hope, 2006).

##### 4.4.3.1 Costos sociales de carbono en la recolección

En la Tabla 4.24 podemos observar algunas de las estimaciones del costo social de carbono; se hace evidente la gran variabilidad entre los diversos costos (5 a 445 dólares), lo anterior podría deberse a que cada costo fue estimado con diferentes metodologías, en diferentes momentos y para diferentes regiones. Como lo comenta (Ricke, 2018) el impacto marginal del cambio climático ha sido estimado cientos de veces en las últimas tres décadas usando un amplio rango de supuestos sobre parámetros inciertos “como tasa de descuento social, crecimiento económico y sensibilidad del clima”.

Los cálculos de costos más altos son los que publica Hope en 1996, 2006 y 2008 en contra parte los estudios más conservadores son los que publicó Pearce en 1996 asignando de \$55 a \$121 pesos por

tonelada de CO<sub>2</sub> y llama la atención el estudio más reciente de la CEPAL 2019 que asigna un costo promedio de \$489 pesos por tonelada de CO<sub>2</sub> generada.

Tabla 4.24. Bibliografía de costos sociales de carbono

Autor (fecha)	Costos social de la ton CO <sub>2</sub>	Tipo de cambio	Costos social (pesos)
IPCC (1996)	5 a 125 dólares	7.8	(39.2-980.3)
Pearce (1996)	entre 7 y 154 dólares	7.8	(54.9-120.8)
(Plambeck y Hope, 1996)	100 dólares	13.1	1312
Pearce (2003)	3 y 15 libras	19.8	(59.5-297.8)
(Tol, 2005)	34-42	10.7	(363.8-449.4)
Hope et al. (2006)	90 con un rango de entre 18 y 237 dólares	10.8	972.6 (194.5-2561.3)
Watkins et al. (2006)	93 dólares	10.8	1005.1
Hope (2008)	100 dólares	13.1	1312
EPA (2010)	21 dólares	12.4	260.7
Nordhaus (2011)	12 dólares	13.7	165.3
(Ackerman y Staton, 2011)	241-445 dólares	13.7	(3319-6128.6)
Nordhaus (2014)	18.6 dólares	14.6	272.3
van der Bergh (2014)	11 a 32 dólares	13.7	(151.5-440.7)
Nordhaus (2016)	31 dólares	20.4	633.3
CEPAL (2019)	25.83 dólares	18.9	488.5

Fuente: elaboración propia con base a CEPAL 2019

En la Tabla 4.25. podemos observar los costos sociales de carbono en pesos mexicanos de 1996 a 2019 considerando los tres escenarios que hemos manejado en la sección 4.2.4. Llama la atención que con las distintas metodologías utilizadas los costos sociales de carbono por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida en el proceso de recolección de residuos oscilan de manera importante.

En la tabla se observan los tres escenarios utilizados en la investigación utilizando el factor de costos sociales; para el primer escenario se calculan 1.78 toneladas de CO<sub>2</sub> diarias y tenemos unos costos sociales de \$157 a \$4 724 pesos diarios por ofrecer el servicio de limpia, en el segundo escenario “incompetente” se contabilizan 2.9 toneladas de CO<sub>2</sub> y los costos sociales van desde \$255 a \$8 420 pesos, para el escenario “incompetente” se calculan 14.65 toneladas de CO<sub>2</sub> con un rango de costos sociales entre \$1 300 y \$69 242 pesos, monto que desperdicia la sociedad diariamente en el servicio de recolección de residuos de la delegación Benito Juárez.

Tabla 4.25. Costos sociales de carbono en los tres escenarios (pesos)

Autor (fecha)	Costo social promedio (\$/ton)	Escenario teórico (\$)	Escenario incompetente (\$)	Escenario ineficiente (\$)
IPCC (1996)	509.7	909	1,478	7,472
Pearce (1996)	87.8	157	255	1,288
(Plambeck y Hope, 1996)	1311.9	2,339	3,804	19,231
Pearce (2003)	178.6	318	518	2,619
(Tol, 2005)	406.6	725	1,179	5,960
Hope et al. (2006)	972.6	1,734	2,820	14,256
Watkins et al. (2006)	1005.1	1,792	2,914	14,733
Hope (2008)	1312	2,339	3,804	19,231
EPA (2010)	260.7	465	756	3,822
Nordhaus (2011)	165.3	295	479	2,422
(Ackerman y Staton, 2011)	4723.8	8,420	13,695	69,241
Nordhaus (2014)	272.3	485	789	3,991
van der Bergh (2014)	296.1	528	858	4,340
Nordhaus (2016)	633.3	1,129	1,836	9,283
CEPAL (2019)	488.5	871	1,416	7,161

Fuente: Elaboración propia con base a CEPAL, 2019 y Banxico

<https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=sp>

[https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-mxn.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-mxn.en.html)

<https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CF307>

Llama la atención que los costos sociales de carbono son menores a los costos ecológicos calculados en la sección anterior, ello se debe, a que para los costos sociales solo se están contabilizando las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la recolección de residuos, sin contabilizar la cadena de emisiones generada detrás de la logística de recolección como si lo hace el factor utilizado por los costos ecológicos.

#### 4.4.3.2 Costos sociales de carbono en la GRSU

El daño social marginal que ocasiona una tonelada extra de carbono emitida a la atmosfera o costo social del transporte en la GRSU se calculó con base a las toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por el traslado de los residuos sólidos, usando el factor promedio del costo social que se encuentra en la segunda columna de la Tabla 4.26 y la cantidad de emisiones generadas (de 3.5 a 3.8 ton de CO<sub>2</sub>) en la transferencia de los residuos.

Se puede notar que hay un rango muy grande entre los costos que va de \$304 pesos, estimación de los costos propuestos por Pearce en 1996, a \$16 355 pesos diarios, estimación de Ackerman y Staton en 2011, por otro lado, la estimación de costos con el factor de Nordhaus (2016) es la más cercana al promedio de los estudios presentados en la tabla, es de \$2 914, sin embargo, tres años después

en 2019 los costos sociales según la CEPAL proponen un factor de costos sociales 60% por debajo del promedio, lo que daría \$1 691.4 pesos por el transporte en la GRSU o \$1 890 pesos para el caso de que se ocupe un número mayor de viajes, de cualquier manera los costos sociales promedio son menores a los costos ecológicos mostrados en la sección anterior.

Tabla 4.26. Costos Sociales de Carbono por el transporte de los residuos sólidos en la GRSU

Autor (fecha)	Costo social promedio (pesos)	Costo social min traslados	Costo social max traslados
IPCC (1996)	509.8	1,764.9	1,971.8
Pearce (1996)	87.9	304.2	339.8
(Plambeck y Hope, 1996)	1,312	4,542.4	5,075
Pearce (2003)	178.6	618.5	691.1
(Tol, 2005)	406.6	1,407.8	1,572.8
Hope et al. (2006)	972.6	3,367.4	3,762.2
Watkins et al. (2006)	1,005.1	3,480	3,887.9
Hope (2008)	1,312	4,542.4	5,075
EPA (2010)	260.8	902.8	1,008.6
Nordhaus (2011)	165.3	572.2	639.3
(Ackerman y Staton, 2011)	4,723.8	16,355.2	18,272.6
Nordhaus (2014)	272.3	942.7	1,053.2
van der Bergh (2014)	296.1	1,025.2	1,145.4
Nordhaus (2016)	633.3	2,192.8	2,449.9
CEPAL (2019)	488.5	1,691.4	1,889.7
PROMEDIO	841.6	2,914.0	3,255.6

Fuente: elaboración propia

Nota: Las estimaciones presentadas en esta tabla no incluyen las emisiones generadas en el ruteo

En cuanto al desglose de costos sociales en el transporte de los residuos se puede afirmar que mantienen la misma proporción que los costos ecológicos indirectos 58% de los CSC en la GRSU pertenecen al traslado de la ET al sitio de DF, 12% de CSC son del trayecto ET a la PS, 10% del costo es el transporte de ET al centro de composta, 10% de CSC se deben al trayecto de la PS al sitio de DF “La Cañada”, 5% al llevar de la PC al sitio de DF, 3% en el trayecto de la ET a la C y 2% de los CSC pertenecen al traslado de residuos de la C a la PS. Véase Tabla 4A del anexo.

#### 4.5. Evaluación de la GRSU en Benito Juárez

El objetivo de esta sección es presentar un análisis del funcionamiento de los puntos de GRSU, el análisis llevará el orden en el que apareció en el documento; primero se presentará el transporte en la recolección de los residuos y se finalizará con el análisis en el transporte del resto de la GRSU.

La GRSU comienza con la recolección de los residuos sólidos domiciliarios, 716 ton diarias, después se trasladan a la Estación de transferencia de ahí viajan a la planta de composta, si son orgánicos, o a la Planta de selección y planta de compactadora si son inorgánicos, después son separados y compactados para poder recibir un tratamiento de reciclaje o bien viajan a algún sitio de disposición final para ser confinados.

#### 4.5.1 Evaluación del transporte en la recolección

En la alcaldía Benito Juárez la recolección de residuos se realiza con un método llamado recolección de acera, lo que significa que el camión pasa de casa en casa a recibir los residuos domiciliarios, este tipo de recolección tiene varias críticas por su ineficiencia económica y ambiental. Como lo asegura Kreith (1994) la recolección en la acera aumenta considerablemente el costo total de la recolección de RSU.

La distancia de la ruta de recolección de acera que realiza la alcaldía es de 1,030 km por las 57 colonias que conforman la alcaldía; el recorrido en la recolección generaría emisiones por 3,000 kg de CO<sub>2</sub>, con un costo aproximado por el uso del combustible de \$18 000 pesos diarios, precios de 2017, solo en la compra del diésel.

Sin embargo, no se recorren 1 030 km sino 8 460 km, ocho veces la distancia de la ruta, la diferencia en el recorrido se explica por ineficiencias en la recolección; un continuo paso por la ruta, primero para recolectar residuos voluminosos abandonados en la calle y a limpiar tiraderos clandestinos; además pasan a puntos "estratégicos" con el fin de cobrar en las fincas y los espacios habitacionales que contratan el servicio fijo. "Una vez que los vehículos han sido llenados con la basura recolectada, se dirigen hacia los tiraderos oficiales u otros lugares designados para depositar los desperdicios, no sin antes pasar a ciertos "lugares estratégicos" donde venden los materiales separados durante el viaje. (Castillo, 1990)

La construcción de las rutas de recolección no responde a cálculos de optimización de tiempos y movimientos, por el contrario, la alcaldía les otorga vales de diésel por 40 l diarios a cada camión recolector, 5 640 l, con un gasto estimado de \$95 000 pesos, precios de 2017, generando 14 658 kg de CO<sub>2</sub> solo en la recolección de los residuos.

Comparando entre la teoría y la realidad se construyeron escenarios, el llamado *emisión teórica*, muestra el número de kilómetros marcados en la ruta, y el escenario *emisión ineficiente* que es el recorrido de un camión de basura que gasta 40 l de diésel al día. Con los escenarios se calcularon los costos no visibilizados ni contabilizados en la economía como los ecológicos y sociales.

Los costos ecológicos o eco-costos se dividieron en dos: eco-costos directos que van de \$6 554 para el *escenario teórico* a \$33 152 pesos diarios para el *escenario ineficiente*. Por otro lado, los eco-costos indirectos podrían ser \$4 479 pesos para el *escenario teórico* y para el *escenario ineficiente* \$63 824 pesos diarios por la recolección de los residuos.

Para los costos sociales acuñados a los daños del cambio climático, utilizando los factores de varias investigaciones, se tiene que los costos van de \$157 a \$4 724 pesos diarios para el *primer escenario* y para el *escenario real* los costos sociales pueden ir de \$1,300 a \$69 242 pesos diarios.

Tanto la generación de emisiones como los costos económicos, ecológicos y sociales podrían reducirse con el hecho de cumplir con la ruta marcada, sin embargo, “el servicio de limpia al no operar adecuadamente contribuye a incrementar los niveles de contaminación por las emisiones de los vehículos en mal estado que transportan la basura y los residuos que ellos mismos generan y su consumo de combustibles, así como por la liberación de emisiones en las instalaciones en donde se procesan o depositan los residuos (Mora, 2004).

Asegurando que el problema de la recolección no es un tema de optimización de recorridos en las rutas, para ello existe mucha literatura ya conocida (Hsieh y Ho, 1993) (Huang, 1995) (Axhausen y Smith, 1984) (Travelling Salesman problem, Lawler, 1995), (Bautista, J.; Pereira, J, 2004), (Kunitoshi, 1980) entre muchos más. El problema de la ineficiencia del servicio de limpia en México va más allá de la optimización, es un problema institucional que debe resolverse haciendo valer las leyes y los reglamentos existentes.

#### 4.5.2 Evaluación del transporte en el resto de la GRSU

La GRSU transporta los residuos a través de agentes particulares a los que se les otorga concesiones, los residuos son transportados en tracto camiones con el objetivo de optimizar el consumo del combustible, el diésel utilizado ya no es otorgado por la alcaldía, por el contrario, es un costo que debe cubrir el concesionario. Con el fin de replicar el problema del mal uso del combustible en la recolección de residuos y ahorrar emisiones, “podría ser más eficiente para un gobierno municipal contratar servicios de gestión de RSU en lugar de proporcionar los servicios de recolección. Las empresas con fines de lucro generalmente tienen mayor flexibilidad e incentivos que las burocracias gubernamentales para redistribuir rápidamente a los trabajadores y al capital físico en respuesta a las circunstancias cambiantes y para diseñar e implementar innovaciones de reducción de costos. La clave para la privatización eficiente en la gestión de RSU es promover la licitación competitiva por parte de las empresas privadas” (Beede 1995).

En las ET se reciben 429.5 ton diarias que se traslada a sus diversos destinos; planta compactadora, planta de selección, planta de composta y disposición final, a través de servicios privados que minimizan los costos de transporte. A pesar de que la operación de la ET genera costos en sí, estos se ven compensados con los costos evitados en transportes ineficientes. Como lo aseguran los expertos, los costos mínimos de transporte se obtienen al incluir estaciones de transferencia en los cálculos de costos de transporte (Malarin, 1997).

En ese sentido, la ET de Benito Juárez cumple con los requerimientos necesarios para que los residuos pueden transportarse de manera menos costosa a través de tracto camiones que realizan menos viajes al punto de procesamiento correspondiente.

En el proceso del tratamiento el siguiente paso es el envío de los residuos orgánicos a la Planta de compostaje (PC) ubicada en el Bordo Poniente a 34.5 km de distancia para tratar 61.5 ton. Los residuos orgánicos son trasladados a través de tracto camiones que emiten entre 353 y 530 kg de CO<sub>2</sub> diarios. Los costos totales por traslado, operación de maquinaria, personal y composteo asciende entre \$13 504 y \$29 423 pesos diarios.

Los residuos inorgánicos, son transportados a las plantas de separación (PS) en donde se procesan 110.2 ton diarias en las plantas de San Juan de Aragón y Santa Catarina en el traslado se recorren 18km y 27km, respectivamente, las emisiones generadas en el traslado van entre 137.8 y 275.5 kg de CO<sub>2</sub> para Santa Catarina y 276.4 a 368 kg de CO<sub>2</sub> para Aragón. Desafortunadamente no hay información de costos de la planta de selección.

La planta de compactación (C) recibe 64.08 ton de residuos inorgánicos diarios que deben de trasladarse 10.1km, emitiendo 103.4 kg de CO<sub>2</sub>, en cuanto a los costos por compactación estos llegan a \$25,534.5 pesos diarios, sin contar los costos de transporte de los que no se tiene información. A su vez, la C entrega los residuos a la planta de selección en donde se generan 85.6 kg de CO<sub>2</sub> diarios en el transporte. Pero hay otro procesamiento que no está registrado es el de las empresas recicladoras de las que no hay registros de la cantidad, ni del lugar a donde llevan los residuos.

En cuanto a los sitios de Disposición Final (DF) Benito Juárez utiliza cuatro de cinco sitios de los que dispone la CDMX, en donde se confinan 197 ton de residuos diarios, el traslado de los residuos de las ET a los sitios de DF son el segundo costo de transporte más grande en la cadena de gestión, \$45,018 pesos diarios, debido a que todos los sitios se encuentran a las afueras de la ciudad la lejanía es cada vez más grande, lo que provoca que los costos económicos, ecológicos y sociales sean más grandes, en promedio los sitios se encuentran a 49 km de la alcaldía Benito Juárez, 14.5 km más alejado de lo que se encontraba del Bordo Poniente, por lo que se emiten 2 ton CO<sub>2</sub> diarias extras a lo que ya se emitía por el traslado.

Los actuales sitios DF imponen a poblaciones de otras entidades a pagar por los costos ambientales generados por la disposición de residuos en sus localidades, como lo explica Castillo (2011) "Conforme se da el crecimiento demográfico y la expansión geográfica de los pueblos, el problema de la basura adquiere otras dimensiones nunca imaginadas. ¿Qué tan lejos y fuera está un lugar, cualquiera que éste sea, del poblado más cercano? ¿Dónde empieza "lo lejos" y termina "lo fuera" que no se halle forzosamente dentro del siguiente espacio?"

En resumen, el traslado de los residuos recorre entre 1 435 y 1 593 km generando entre 3 462 y 3,868 kg de CO<sub>2</sub>. Los costos económicos derivados de la GRSU, sin la recolección, en 2018 ascienden a \$71 300 y hasta \$86 000 pesos diarios por el tratamiento de los residuos.

Para los costos ecológicos de transporte en 2018 van de \$ 7 954.7 a \$ 8 834.3, en donde el peso más importante es el costo del traslado a los sitios de disposición final que representa 62% de los costos, seguido del costo en el traslado a las plantas de selección que consume 11% del total, 10% en los

costos de transporte de compactación y 9% en el costo de transporte de la PS al sitio de DF, el resto corresponde a trayectos cortos. Además, se suman los costos sociales por el traslado de los residuos sólidos en la GRSU que van de \$2 193 a \$2 450 pesos diarios y que llevan una proporción muy similar a los costos ecológicos.

#### 4.5.3 Evaluación completa de la GRSU

En la Tabla 4.29 se observan los costos totales de transporte en la GRSU conformados por las dos secciones de esta investigación, los costos de las rutas de recolección de los residuos domiciliarios y los costos del resto de la GRSU, se sumaron cada uno de los puntos por los que existe un traslado de los residuos y se recrearon los tres escenarios de los que hablo en la sección 4.2.5.2.1.

Los cálculos de los costos totales en el *escenario ineficiente* de la GRSU ascienden a \$267 045 pesos diarios, son casi tres veces el costo del *escenario teórico* \$99 088 o dos veces el costo del *escenario incompetente* \$110 501. El diferencial entre escenarios de \$156 544 a \$167 957 refleja los costos directos, indirectos y los daños ambientales y sociales de una incorrecta gestión de los residuos.

Los costos económicos de toda la cadena de GRSU en el *escenario ineficiente* llegan a \$166 328 pesos diarios (lo anterior sin contar el costo de procesamiento de la planta de selección de la que no se obtuvieron datos) de los cuales 57% corresponden a la recolección de residuos, si contrastamos con el primero y segundo escenario observamos que hay un diferencial de \$77 050 a \$84 221 pesos que bien podrían ahorrarse si se aplicará correctamente las recomendaciones de recolección de SEDESOL (2006).

Los costos ecológicos totales del *escenario real* ascienden a \$ 89 242 pesos, de los cuales más del 90% de los costos ecológicos son costos por ruteo, esto es, que podrían ahorrarse entre \$72 047 y \$75 582 pesos diarios en costos indirectos derivados de la recolección, como es el mantenimiento de camiones, la compra de refacciones, adquisición de camiones nuevos, entre otros costos derivados a la falta de incentivo para el ahorro del combustible y el uso excesivo de los camiones.

Los costos económicos asociados a los daños del cambio climático resultado de la GRSU o costos sociales de carbono sumaron \$ 11 476 pesos diarios, de ellos 70% corresponden al transporte en rutas. Se pudieron evitar daños a la sociedad de Benito Juárez valuados en \$7 447 y hasta \$8 154 a pesos diarios, como se observa en la Tabla 4.27.

Tabla 4.27. Costos de la GRSU en Benito Juárez, 2017

	Económicos	Ecológicos	Sociales
<b>Primer escenario "teórico"</b>			
Ruteo	\$ 10,813	\$ 5,704.80	\$ 1,129
GRSU	\$ 71,293.5	\$ 7,954.7	\$ 2,192.9
Total	\$ 82,107	\$ 13,660	\$ 3,322
<b>Segundo escenario "incompetente"</b>			



Ruteo	\$ 17,984	\$ 9,239.70	\$ 1,836
GRSU	\$ 71,293.5	\$ 7,954.7	\$ 2,192.9
Total	\$ 89,278	\$ 17,194	\$ 4,029
Tercer escenario "ineficiente"			
Ruteo	\$ 95,034	\$81,287	\$ 9,283
GRSU	\$ 71,293.5	\$7,954.7	\$ 2,192.9
Total	\$ 166,327.5	\$89,241.7	\$ 11,475.9

Fuente: Elaboración propia

## Conclusión 4

La gestión de los residuos se divide en tres pasos: recolección, tratamiento y disposición final de residuos los recorridos que deberían hacerse son de 1 000, 1 300 y 2 460 km respectivamente, sin embargo, después de realizar las entrevistas las distancias reportadas no coincidían con los cálculos teóricos. Con la finalidad de no perder información se crearon escenarios en donde se simularon tres diferentes consumos del energético que moviliza a los camiones de recolección, con los que se calculan los costos privados y los costos externos.

La gestión de residuos sólidos representa costos privados importantes que constituyen una proporción grande del presupuesto municipal de países de ingresos bajos y medios, a pesar de eso, las autoridades municipales ofrecen los servicios. (Lohri, 2014). No obstante, de la alta carga financiera las autoridades locales a menudo luchan por brindar servicios para la sociedad, a veces sin estar conscientes de los costos externos que generan los servicios ofrecidos.

Los costos privados más grandes en la GRSU se encuentran en el proceso de recolección de residuos, a razón de los problemas de opacidad en la información con la que se manejan los recursos y las dificultades operativas que conlleva el proceso (Nuortio, 2006) (Wy\_2012). En la alcaldía Benito Juárez, la GRSU cuesta anualmente de \$ 60.7 millones de pesos, el gasto en combustible para realizar la recolección de residuos representa 57% de los costos totales (\$34.6 millones de pesos, lo que representó el 4% del presupuesto de egresos<sup>7</sup> para el ejercicio fiscal de 2017 en la alcaldía Benito Juárez), según un estudio realizado por el BID (Guido, 1997) los costos promedio en América latina por la recolección de los residuos oscilan entre 43% y 45% del costo total de gestión, lo que implica que la recolección de residuos es de 14 a 16% más costosa que en el resto de los países latinoamericanos.

Los costos ecológicos derivados de los insumos necesarios previos al servicio de limpia ofrecidos como producción, mantenimiento y construcción de camiones, mantenimiento de infraestructura (plantas de tratamiento, procesamiento y sitios de disposición final e infraestructura vial). Estos costos ascienden a \$ 32.5 millones de pesos, de los cuales un poco más del 90% corresponde al proceso de recolección y el resto a la gestión de residuos.

Finalmente, los costos sociales de carbono reflejan los costos de daño del cambio climático generado por las emisiones del transporte en la recolección de residuos y suman \$ 4 millones pesos anuales, 80% de los costos se generan en el proceso de recolección y 20% de los daños en el proceso de gestión.

Los costos aquí presentados solo son del transporte de los residuos en la cadena de gestión por lo que no se contabilizaron los costos generados por la administración del servicio de limpia, esto es, sueldos y salarios del personal de limpia, choferes, barrenderos, secretarías, supervisores, etc., a pesar de no contar con los costos administrativos, la información que tenemos es suficiente para asegurar que los costos en el transporte de la recolección de los residuos son mayores a los costos totales del resto de la GRSU. Lo que evidencia, la ineficiencia con la que se utiliza el diésel en los recorridos de recolección en la alcaldía con el índice de desarrollo humano IDH más alto del país,

---

<sup>7</sup> El presupuesto de egresos para la alcaldía Benito Juárez fue por un monto de 1.5 miles de millones de pesos para el ejercicio fiscal de 2017.

dejando mucho que pensar sobre aquellas entidades que no cuentan con los ingresos necesarios para la gestión de los residuos.

La falta de control dentro de la logística de recolección no solo afecta a las finanzas de la alcaldía y a la salud de la población por el exceso de emisiones, también podría prestarse a actos de corrupción como la posibilidad del robo de combustible, en donde los jefes de limpia y el sistema de gestión en general conocen lo que sucede, sin cambiar nada el modo de otorgar el combustible a los choferes del camión de limpia, generando un círculo vicioso de beneficios personales que perjudican el bienestar social.

En cuanto al resto de la GRSU, lo primero que hay que comentar es la existencia de concesiones del servicio de transporte, que contrasta con el servicio de recolección ¿Por qué se concesiona la gestión y se queda de lado la recolección? muy probablemente se concesionó para mejorar la administración del proceso de la gestión, pues si se le permitiera a los “dueños de la basura” encargarse de todo el proceso probablemente los costos del traslado y tratamiento de los residuos estarían por encima de los que ahora se tienen. Sin embargo, éste tema sobrepasa el análisis aquí presentado, así como el análisis de las licitaciones o adjudicaciones directas en las concesiones.

De la estación de transferencia Benito Juárez se puede concluir que ha sido un gran acierto por varias razones, es una de las alcaldías con generación promedio de residuos, existen las condiciones materiales y económicas para la instalación de una planta que ahorre emisiones de CO<sub>2</sub> evitando largos traslados (Malarin, 1997) (García, 2007), (INE,1996), (Bartone y Bernsten, 1993), (SEDEMA, 2018). Sin embargo, habrá de resaltar las fallas de este proceso, si bien se ahorra en tiempo de transporte a los pasos siguientes de la GRSU, los pasos previos están llenos de fallas en tiempos y movimientos en la entrega de residuos por parte de los camiones de basura. La falta de coordinación provoca que los camiones se formen alrededor de la ET de 40 a 120 minutos, con el motor encendido, para entregar los residuos recolectados en la ruta.

En cuanto al tratamiento de los residuos orgánicos, las plantas de composta tienen como finalidad aprovechar la descomposición de los mismos para ser utilizados de composta, con lo que según (SEDEMA, 2018), se evitan 61.7 ton de CO<sub>2</sub> al día; sin embargo, habrá que cuestionar, que dentro de sus cálculos no consideran el transporte y el tratamiento de los residuos.

Para las plantas de selección que tienen por objeto (SEDEMA, 2017) separar los materiales recuperables y valorizables para incorporar los residuos a las cadenas productivas, se puede concluir que éste proceso de la GRSU puede ser prescindible por tres razones; primero, la norma 024-AMBT 2013 obliga al generador domiciliario a entregar los residuos sólidos separados en cuatro categorías; segundo, los trabajadores voluntarios o “macheteros” al recibir los residuos domiciliarios separan los valorizables para apropiarse del pago por la venta de los mismos; finalmente en los sitios de disposición final aún hay pepenadores que reclasifican los residuos. Lo que podría ahorrar 643.5 kg de CO<sub>2</sub> en el traslado a la planta de selección, eso sin contar las emisiones evitadas por el procesamiento de la planta.

En cuanto a los sitios de disposición final, se puede decir que los costos de traslado a los rellenos sanitarios son los más altos de la cadena de gestión, si todo continua con esta tendencia, en el futuro los costos económicos, ambientales y sociales por confinamiento de residuos aumentarán, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a que cada vez se encontrarán más alejados de la CDMX y continuarán alejándose con forme el crecimiento urbano vaya aumentando, además de que se requerirán que sean más grandes o se necesitará una mayor cantidad de sitios.

Los resultados privados y externos aquí mostrados se encuentran por debajo de los costos reales del servicio público en la CDMX. Queda asentado que los costos privados y los costos externos son altos y son pagados por la sociedad a cambio de tener un servicio de gestión de residuos ineficiente lleno de claro-oscuros en la información, a pesar de ello, en este trabajo se deja ver los altos costos en los que se incurre. Lo anterior sin considerar los oscuros resultados de la corrupción y los arreglos informales como son la existencia de camiones recolectores no oficiales que circulan en zonas marginadas o en zonas en donde les reditúa el reciclaje, favoreciendo el interés privado y trasladando los costos a la sociedad.

## Capítulo 5

### Conclusiones generales, desafíos y recomendaciones

Esta tesis doctoral es el resultado de un trabajo de investigación práctico en donde se utiliza el enfoque de economía ambiental para analizar el transporte en la gestión de los residuos sólidos urbanos (GRSU) de la CDMX. Para lo cual se construyó, en primera instancia, un marco teórico y conceptual de la GRSU, el segundo producto fue el diagnóstico del problema de la gestión en la ciudad de México; y para estudiar el transporte y las cadena de suministro así como en la recolección se acotó el área geográfica a una alcaldía, Benito Juárez, elegida a través del ejercicio econométrico que comprueba la hipótesis de Kuznets (Kuznets, 1955); finalmente se realizó el estudio de los costos y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el transporte de los residuos sólidos.

El objetivo de la investigación fue evaluar los costos ocultos en los que incurren las autoridades en la recolección y el transporte de la gestión de residuos sólidos urbanos, así como la cadena de suministro de estos residuos en la CDMX y hacer un mapa general de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del transporte en GRSU. Para ello, se estudió el transporte de carga urbano utilizado en el servicio de limpia, las rutas, la frecuencia en la recolección y las distancias que recorren los automotores para ofrecer el servicio.

Los datos utilizados en el análisis se obtuvieron calculando las distancias que recorren los camiones de recolección, para ello se utilizó del Sistema de Posicionamiento Global (GPS); para obtener el consumo de combustible se utilizaron factores de eficiencia de diésel y para el factor de las emisiones de CO<sub>2</sub> se utilizó el factor construido para México (INECC, 2014); además se aplicaron entrevistas y visitas al estacionamiento del servicio de limpia.

El documento consta de cinco capítulos; el Capítulo 1 tiene por objetivo conocer la problemática de la gestión de los residuos sólidos, para lo cual, se realizó una revisión histórica, teórica y conceptual, además sitúa al país en el momento actual de la gestión de residuos en el mundo.

De los resultados del capítulo 1 resaltan cinco puntos: 1) la importancia de la conceptualización para vislumbrar la problemática y en consecuencia el tratamiento de los residuos a elegir, 2) un tratamiento erróneo puede provocar comportamientos desafortunados por parte del usuario y del responsable final, podría incluso provocar que los costos privados y externos que paga la sociedad sean mayúsculos, 3) resalta la importancia de los derechos de propiedad y la falta de reglas formales que provoca problemas en la administración y el tratamiento de los recursos, 4) la falta de recaudación en la recuperación de los residuos valorizables genera costos (separación, transporte y confinamiento) que podrían cubrirse con la venta de los desechos con mercado, 5) la informalidad de los “voluntarios” del servicio de limpia incentiva a estos trabajadores a aprovecharse de las reglas informales para hacerse de recursos.

El Capítulo 2 tiene por objetivo mostrar el estado actual de la GRSU y el impacto ambiental de la misma, dimensionado a través de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la CDMX. El análisis de los datos, nos permiten identificar grandes retos tecnológicos y logísticos que implican inversión en la renovación del parque vehicular, formalizar a los trabajadores voluntarios, optimizar rutas de

recolección, recuperar residuos valorizables, mejorar la eficiencia de reciclaje, minimizar la cantidad de residuos confinados, entre otros. Además de los costos externos como; la contaminación del aire en la ciudad, las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso de gestión (180 mil toneladas de metano y 493 mil toneladas de dióxido de carbono al año, equivale a 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente), el costo por degradación y agotamiento causado por los rellenos sanitarios es de \$65,595 millones de pesos (2016).

El Capítulo 3 tiene por objetivo elegir una entidad de la ZMVM como caso de estudio de la GRSU, para ello, se realizó un ejercicio econométrico de la curva de Kuznets, según los resultados obtenidos se acepta la hipótesis “a mayor ingreso en los hogares de las demarcaciones de la ZMVM, mayor generación de residuos sólidos” se elige Benito Juárez como la demarcación a estudiar y se advierte que conforme vaya creciendo el nivel de ingreso (\$100 000 pesos trimestrales por hogar) se generará en cada entidad un máximo de 1 500 toneladas de residuos al día.

El objetivo del Capítulo 4 es cuantificar los costos privados y externos derivados de la gestión de los residuos sólidos en la alcaldía Benito Juárez, así como, evidenciar los puntos críticos en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de gestión. Se encuentran los siguientes resultados; 1) el costo privado por el transporte de los residuos sólidos en toda la cadena de gestión fue de \$60.7 millones de pesos (2017), 4% del presupuesto<sup>8</sup> de egresos de la CDMX; 2) 57% del costo en transporte (\$34.6 millones pesos) se explica por el gasto de combustible. 3) los costos externos ascienden a \$ 32.5 millones de pesos anuales, calculados como costos ecológicos y 4) los costos externos calculados como costos sociales son \$ 4 millones pesos anuales.

Además, se pueden enumerar cuatro resultados del análisis de la GRSU en la CDMX; primero, las estaciones de transferencia tienen dificultades para cumplir con el objetivo con el que fueron creadas, la falta de una logística eficiente anula (o disminuye) el efecto de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte y aumenta el gasto por el uso indiscriminado de diésel; segundo, la producción de composta evita 61.7 ton de CO<sub>2</sub> al día, pero, no se descuentan las emisiones generadas en el transporte de los desechos orgánicos a la planta; tercero, las plantas de selección son prescindibles realizan acciones que otros actores en la cadena de gestión realizan, de desaparecer se podrían ahorrar 643.5 kg de CO<sub>2</sub> solo en el traslado; cuarto, los sitios de disposición final incurrir en costos privados altos por el consumo de combustible utilizado para recorrer las cada vez más largas distancias hacia el confinamiento.

## DESAFIOS

El mundo vive eventos sin precedentes en la historia de la humanidad; el desordenado crecimiento de las ciudades ha provocado un agotamiento de los recursos reflejado en el cambio climático, la escasez del agua, la pérdida de vida silvestre, la disputa por el uso de suelos y la creciente generación de desechos sólidos, entre otros. A nivel local, “la ZMVM enfrenta múltiples desafíos, como las altas emisiones de CO<sub>2</sub>, persistencia de contaminación del aire local, crecimiento en la propiedad de automóviles, laissez-faire de planificación urbana, y un sistema de transporte público cada vez más

---

<sup>8</sup> El presupuesto de egresos para la alcaldía Benito Juárez fue por un monto de 1.5 miles de millones de pesos para el ejercicio fiscal de 2017.

fragmentado” (Steurer& Bonilla, 2016) son un reto para la gobernanza de la ciudad. De acuerdo con Ramírez (2021) la concentración económica y administrativa ha provocado la atracción de población rural a las grandes urbes como la CDMX y por ende ha generado un crecimiento desordenado en las mismas.

Dentro del desordenado crecimiento de las ciudades, la generación de los residuos se ha convertido en un problema mayor, crecerá año con año en la misma magnitud que la tasa de crecimiento de la población, el desafío será controlar esa tendencia, de no ser así, se necesitarán cada vez más rellenos sanitarios que competirán con otro tipo de actividades (productivas, habitacionales, comerciales, etc.,) por el uso de la tierra, sin contar, los efectos negativos de las emisiones por descomposición y transporte, daños en suelos y la filtración de lixiviados a mantos acuíferos, y los altos costos que se deben pagar por confinar los desechos.

Aunado al aumento de la generación de residuos, se encuentra la creciente proporción de inorgánicos sobre orgánicos, esto responde al actual estilo de vida que antepone comodidad y rapidez, el desafío está en reducir la generación de desechos completamente inservibles después de su primer uso, sustituir o prohibir materias primas e invertir en opciones de materiales más sustentables.

Esclarecer los derechos de propiedad de los residuos es uno de los retos más importantes para mejorar la gestión de residuos: la opacidad de los derechos de propiedad provoca que los agentes económicos realicen intercambios ineficientes con asignaciones de externalidades negativas, que genera problemas de administración pública (falta de recaudación por la venta de residuos reciclables, el tipo del tratamiento de los residuos y la informalidad de trabajadores “voluntarios” sin pago), contaminación del aire y afectaciones al medio ambiente.

Sin duda el desafío más grande es la corrupción y la idiosincrasia; la primera encuentra camino en la fragilidad de nuestras instituciones que permiten e incentivan prácticas incorrectas, como la recolección a cambio de un pago, propinas forzadas o pagos convenidos “fincas” que es un cobro a los establecimientos como carnicerías, tiendas, mercados, centros comerciales, fondas, etc.; el ineficiente uso del combustible por parte de los choferes de camiones recolectores, la utilización de facturas apócrifas por servicios inexistentes en talleres mecánicos, el robo de autopartes de los camiones, permitir por parte de las autoridades responsables que los “voluntarios” se apropien de materiales valorizables para su venta, la cadena de corrupción es tan larga que algunos investigadores (Castillo, 1989, 1990, 2006) proponen que las autoridades de las alcaldías se vean involucrados en este círculo vicioso de beneficios personales que perjudican el bienestar social.

## RECOMENDACIONES

De manera general y derivado de los resultados obtenidos en esta tesis se realizan nueve recomendaciones de política pública para mejorar la gestión de los residuos sólidos en la CDMX. Y de manera particular se retoman algunas de las recomendaciones para dar una contrapropuesta a las sugerencias que realizó SEDESOL en 2010 en “El manual para el diseño de rutas de recolección”,

en donde, advierte de seis puntos a mejorar en las funciones de gestión de residuos sólidos para realizar la actividad de manera eficiente. Las primeras tres recomendaciones propuestas por SEDESOL (frecuencia de recolección adecuada, aprovechamiento en la capacidad de carga de los camiones y aprovechar la jornada legal del personal) son ambiguas y, como se vio en el estudio, fácilmente incumplibles. En contraste, en este documento se ofrecen recomendaciones derivadas del estudio (1b, 2b, 6b y 7) a las problemáticas de la gestión por estos tres temas. Las siguientes tres recomendaciones que hace SEDESOL son apropiadas y deseables (minimizar los recorridos en las rutas, minimizar los costos y disponer de los equipos de reserva), sin embargo, requieren de estudios detallados por zona para realizar sugerencias menos generales. En cambio, aquí se dejan las recomendaciones (2a y 3a) que surgen del estudio realizado.

#### 1. Formalizar el trabajo de los voluntarios

La formalización de los trabajadores voluntarios tendría un doble beneficio; por un lado, adquirirían seguridad social, (seguro médico, préstamos para la vivienda, jubilaciones, etc.) y para el gobierno recaudación fiscal, el salario a la vez se desincentivaría la apropiación de valorizables y propagará la llegada de productos reciclables a las plantas separadoras del estado para hacerse de recursos. Adicionalmente, se fragmentará el círculo vicioso de mercados negros que compran materiales derivados del robo de infraestructura, se limitará el robo de combustible y se controlarán la logística de las rutas. Pero, lo más importante, es que se adelgazarán los costos externos especialmente las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el anarquismo con que se trasladan los residuos valorizables por las rutas y camiones clandestinos o informales.

##### a. Incentivar el reciclaje

Al formalizar a los trabajadores de limpieza la apropiación de los valorizables por parte de los trabajadores voluntarios disminuiría, incentivando el reciclaje dentro del proceso de la gestión del estado, adicionalmente, disminuirá el mercado negro (venta de infraestructura pública robada como coladeras, cables de cobre, monumentos y entre otros), y se generarán ingresos de la recuperación de valorizables.

##### b. Corrupción

El trabajador voluntario de limpieza aprovecha la mala administración de los recursos para hacerse de ingresos aplicando malas prácticas como: la recolección “pirata”, el robo del combustible, la compra de facturas apócrifas, arreglos con talleres mecánicos, entre muchas más.

##### c. Información

Uno de los grandes problemas a resolver en el tema de residuos es la falta de información, pero al formalizar a los voluntarios la brecha entre los datos oficiales y el mercado negro se verá disminuida, lo que ayudará a tener un mejor control del servicio.



## 2. Mejorar el sistema de recolección de residuos

La recolección es el punto más importante del sistema de gestión, el método de recolección, puede afectar la cantidad de residuos eliminados y la cantidad de residuos que se reciclan. Hay estudios que aseguran que el costo de la recolección con el método de puerta en puerta, método utilizado en la CDMX, es el factor más alto de los costos privados (Bartolacci, 2018).

### a. Optimización de rutas

Diseñar estrategias de recolección eficientes es crucial para la reducción de costos operativos [privados] y de emisiones vehiculares [costos externos], se requiera una ruta que reduzca el tiempo de transporte, disminuya el número de paradas de recolección y de descarga” (McLeod y Cherrett, 2008) y reduzca la frecuencia de recolección los residuos.

Hay varios estudios (Zsigraiova, 2013) (Apaydin y Gonullu, 2008) que estiman que la optimización de rutas reduce de entre 27 y 30% en la generación de emisiones contaminantes y de entre 43 y 50% del consumo de combustible utilizando.

### b. Frecuencia de recolección

La frecuencia de recolección de los desechos inorgánicos se encuentra limitada a la descomposición de los mismos; sin embargo, el resto de los desechos (inorgánicos valorizables y no valorizables) pueden ser resguardados por varios días antes de ser recogidos por el servicio de limpia. Lo que quiere decir, que la frecuencia de recolección, al menos de los inorgánicos puede hacerse más espaciada; ahorrando varias vueltas en la recolección. También se pueden utilizar contenedores públicos para ciertos materiales y aplicar frecuencias de recolección variables, según el tipo de residuo que se recupere.

### c. Eliminar la “recolección pirata”

La recolección debe de aplicarse de manera eficiente, pero sin exclusiones. Las rutas de recolección se aplican bajo el principio de mayor valorización de los materiales recolectados, por lo tanto, en zonas habitacionales con ingresos bajos el incentivo a la recolección es mínimo, dejando una oportunidad a la “recolección pirata” o “camiones privados” que cobra al usuario por tirar sus desechos.

## 3. Inversión

La gestión de residuos sólidos es muy costosa, pero, la recolección es el punto central de los costos de la gestión, por ello, las recomendaciones están dirigidas a la inversión en temas de recolección (renovación de la flota vehicular, realizar estudios de logística, optimización de rutas, investigación en nuevas tecnologías, entre otras).

#### a. Renovación de flota vehicular

La flota vehicular es altamente contaminante, los combustibles son deficientes y los niveles de tecnología son bajos (Steurer, 2016) 44% de los vehículos utilizados en la recolección son inservibles u obsoletos; hay estudios (Sheinbaum, 2016) que aseguran que un mayor rendimiento del combustible utilizado (entre 1.5 y 17%) en los camiones recolectores podrían hacer eficiente el consumo del combustible de la flota de camiones que aumentaría 23%, por supuesto que se requiere de la inversión en camiones híbridos.

Aunado a la propuesta de inversión en camiones nuevos debe de ir acompañada de una reducción en la frecuencia de recolección, evitando el efecto rebote que podría traer consigo el abuso de combustible “menos sucio”.

No se recomienda (Dessouky, 2003) invertir en camiones convencionales nuevos aseguran que una flotilla de camiones recolectores no es necesariamente más limpia”, sin embargo, se recomienda realizar un estudio de optimización de la recolección ya que resulta ser más eficientes que una flotilla nueva mal manejada.

#### 4. Uso concesiones en el servicio

Las concesiones para el servicio de limpia son una alternativa a la inversión, sin embargo, hay estudios (Lohri, 2014) (Massoud, 2002) (Abdrabo, 2008), que aseguran que las empresas de residuos que concesionaron algún servicio o la gestión completa no son más eficientes financieramente que las empresas que no lo hicieron.

Aunado a lo anterior habrá que considerar que antes de optar por este esquema habrá que evaluar dos cosas: primero, el servicio de limpia es costado por el gobierno, por lo que el costo deberá de cubrirse por el estado mismo (y los instrumentos económicos no tendrán efectividad); segundo, se debe de reforzar a las instituciones para ofrecer un marco regulador que evite el oportunismo y la corrupción.

#### 5. Eliminar las plantas de selección

En cuanto al esquema de gestión utilizado en la CDMX, se puede recomendar la cancelación de las plantas de separación dentro de la GRSU. Debido a que su función se duplica por las siguientes razones: a) existe una norma, NADF-024-AMBT-2013, que obliga al usuario del servicio a separar los residuos entregados; 2) tiene la función de recuperar los desechos valorizables para reciclaje o composta; sin embargo, la mayor parte de los valorizables no llega a la planta, y 3) se economizaría en costos privados y costos externos.

#### 6. Mejorar la logística en las rutas de transporte a las estaciones de transferencia

Las estaciones de transferencia realizan una función esencial dentro del proceso de gestión, ahorrar enormes costos privados (en consumo de diésel) y costos externos (emisiones contaminantes) en viajes evitados, sin embargo, la forma de trabajar en algunas alcaldías pone entre dicho su efectividad. Es necesario que se realicen los estudios precisos para hacer eficiente el descargue de los camiones sin hacer filas de espera, ya que este hecho podría contrarrestar a las emisiones ganadas por el uso de la estación de transferencia.

a. Adecuada velocidad

Este tema puede resolverse intercambiando las estaciones de transferencia, es decir, los camiones recolectores de la alcaldía “A” puedan entregar en las estaciones de transferencia de la alcaldía “B” y viceversa, de tal forma que las distancias se alarguen para evitar la congestión en el traslado y la entrega. Algunos autores (Donati, 2003) (Malandraki y Daskin, 1992) aseguran que la adecuada velocidad de traslado en la recolección podría traer beneficios ambientales.

b. Alargar la frecuencia de recolección

Otra manera de contribuir a la descongestión de entrega en la ET es que se intercale la recolección, es decir, que la mitad de la flotilla salga a recolectar lunes, miércoles y viernes y la otra mitad de la flotilla salga martes, jueves y sábados, de tal forma que la congestión de entrega estaría disminuyendo en 50% y las emisiones también se reducirían.

Los modelos de tiempo proponen alargar la frecuencia de recolección con el objetivo de disminuir la generación de emisiones, por ejemplo, en Londres se recolectan los residuos cada quince días, en la primera semana los reciclables y en la otra semana los residuos orgánicos con buenos resultados (McLeod, 2008).

7. Reducción de viajes de conducción vacía

Otra recomendación (McLeod, 2008) para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el transporte del confinamiento es reducir el “kilometraje muerto” o conducción vacía, lo cual se alcanzará disminuyendo la distancia de los sitios tratamiento y los sitios de disposición final del lugar de su generación.

La CDMX confina sus desechos a una distancia de 27 a 106 km, por cada viaje hay un kilometraje muerto de igual magnitud. Para referenciar la importancia del kilometraje muerto, se toman datos de 2018 en donde se realizaron 75mil viajes de disposición final al año de conducción vacía, esto es 26mil ton/ anuales de CO<sub>2</sub> equivalente (SEDEMA, 2018).

8. Disminuir la tasa de generación

La mejor recomendación y síntesis del problema de los residuos sólidos municipales es, sin duda, la disminución en la tasa de generación de residuos sólidos urbanos, sin embargo, es tan complicado de realizar tanto como dejar de producir y consumir. Nuevas escuelas del pensamiento, como la Economía Circular proponen recircular los desechos, en nuestra realidad, la posibilidad es lejana porque la producción de desechos que no encuentran la inserción en la producción ha venido creciendo (algunos tipos de plásticos, baterías, unicel, embalajes, entre otros). Sin embargo, se pueden llevar a cabo medidas intermedias que podrían disminuir de manera importante la generación de residuos, mientras se buscan soluciones de largo plazo.

a. Normar residuos de un solo uso

Las medidas intermedias pueden ser la aplicación de instrumentos de comando y control como la promulgación de leyes y normas que prohíban la producción y/o consumo de ciertos materiales que se sabe no es posible incorporar después de desechados a una cadena de valor posterior. Se puede prohibir el uso de productos de plástico de un solo uso, de embalajes, de productos altamente contaminantes como las baterías no recargables, etc.

b. Uso de instrumentos económicos

Una forma de intervenir en la gestión de los residuos es aplicando instrumentos económicos que incentiven el comportamiento de los individuos para limitar la generación de ciertos residuos y hacer efectiva la separación o simplemente disminuir la generación total.

Además, podrían ofrecer algunos beneficios; 1) hacer sostenible el servicio con las tarifas recaudadas, 2) posibilidad de inversión en nuevas tecnologías que permitan mejorar el tratamiento de los residuos y 3) disminuir los costos externos (contaminación de aire, suelo y mantos freáticos, etc.)

9. Aprovechamiento de gases emitidos en los rellenos sanitarios.

La última recomendación es aprovechar las emisiones de gases generados a partir de la descomposición de los residuos en los rellenos sanitarios que utiliza la CDMX para generar energía eléctrica; este tipo de prácticas requiere de grandes inversiones, quizás una concesión o una empresa de participación accionaria pública –privada podría sacar adelante un proyecto de esta magnitud. En México al menos hay un caso de éxito, Bioenergía de Nuevo León “Benlesa”, en donde la generación de energía eléctrica es utilizada para mover el transporte metropolitano de la ciudad de Monterrey y utilizado para el alumbrado público del municipio. Sin duda, este tipo de inversión pública es muy grande y debe de ir acompañado de inversión privada, que además haga un contrapeso para la eficiencia económica y ambiental de la empresa.

## Referencias bibliográficas

Alchian, A., A. (1965)/ Some economics of property rights. *Il politico*, 816-829.

Álvarez R., (2011) / *La basura es lo más rico que hay: relaciones políticas en el terreno de la basura: el caso de los quemeros y los emprendimientos sociales en el relleno norte iii del ceamse*. Editorial Dunken.

Beede, D. N. and D. E. Bloom (1995)/ *The Economics of Municipal Waste*, *The World Bank Research Observer* 10(2):113-150.

Benito Juárez (2010) / *Programa delegacional para la prestación del servicio público de limpia Benito Juárez*

Berglund, Christer (2003) / *Economic Efficiency in Waste Management and Recycling*. Lulea University of Technology.

Correa R., Francisco (2004) / "Crecimiento económico y medio ambiente: Una revisión analítica de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets"

Carpintero, (1999) / *Entre la economía y la naturaleza. La controversia sobre la valoración monetaria del medio ambiente y la sustentabilidad del sistema económico*. Madrid, los libros de la Catarata.

Castillo B. Héctor (1990) / *La Sociedad de la basura. Caciquismo urbano en la ciudad de México*. Repositorio del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM.

Castillo, B., Héctor (2011) / *La Basura y la Sociedad*, en *Residual: intervenciones artísticas en la ciudad*, Ed. Museo Universitario de Arte Contemporáneo, México D.F., pp. 135 -157

Castillo B. Héctor (2015) / *CDMX basura: Proyecto de papel. Veredas*. *Revista de pensamiento sociológico*, año 16, número 31, UAM Xochimilco, CDMX, segundo semestre, pp. 333-368

Danese, Giuseppe (2017)/ *One Man's Trash is Another Man's Treasure: A Comparative Analysis of Property Rights in Solid Waste*. Catolica Porto Business School.

Daly, H. E. (1974)/ "The economics of the steady state", *American Economic Review*, 64.

Demsetz, H. (1974)/ *Toward a theory of property rights*. In *Classic papers in natural resource economics* (pp. 163-177). Palgrave Macmillan, London.

Dessouky, M., Rahimi, M., & Weidner, M. (2003). *Jointly optimizing cost, service, and environmental performance in demand-responsive transit scheduling*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(6), 433-465.

Douglass, N., (1993) / *Instituciones, Cambio Institucional y Desempeño Económico*, México: Fondo de Cultura Económica, Cap. 1, pp. 13 – 22.

Gheorghiu, G. & Fronea, C., M. & Brăiloiu L., (2013)/ "Externalities, Public Goods and Natural Monopoly as Market Failures and Their Implications for the Consumer," *Ovidius University Annals*,

Economic Sciences Series, Ovidius University of Constantza, Faculty of Economic Sciences, vol. 0(1), pages 489-493,

GIZ (2010) / Instrumentos económicos en el sector de la gestión de residuos. Experiencias de los Países de la OCDE y de América Latina.

González, L., Liliana (2019) / El manejo científico y tecnológico de la basura en la Ciudad de México, 1887-1913 UNAM.

Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013)/ Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232.

Holtermann, S. E., (1972)/ Externalities and Public Goods. *Economica*, 39(153), 78–87.

Ibarrarán, V., Islas, I. (2003) / Valoración económica del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos municipales: estudio de caso. *Gaceta Ecológica*, núm. 67, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México

Just, R. E., Hueth, D. L., & Schmitz, A. (2005)/ *The welfare economics of public policy: a practical approach to project and policy evaluation*. Edward Elgar Publishing.

Justesen, M.K. and klitgaard, K.P. (2013)/ *Institutional Interactions and Economic Growth: The Joint Effects of Property Rights, Veto Players and Democratic Capital*. *Public Choice*, 157, 449-474.

Kreith, Frank, ed. 1994a. *Handbook of Solid Waste Management*. New York: McGraw-Hill.

Kinnaman Thomas C., (2009)/"The Economics of Municipal Solid Waste Management" *Waste Management* pp: 2615-2617.

McLeod, F., & Cherrett, T. (2008). Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies. *Waste Management*, 28(11), 2271-2278.

Malarin, H. Vaughan, W (1997)/ *An Approach to the Economic Analysis of Solid Waste Disposal Alternatives*. A Good Practice Paper. Washington, D.C. December 1997 No. ENV-119

Massoud, M., EL-FADEL, M. (2002)/ *Public–Private Partnerships for Solid Waste Management Services*. *Environmental Management* 30, 0621–0630

Matos, M. E., (2006) / *Tenochtitlán México*. Ed. Fondo de cultura económica, CDMX, México.

Mazzanti M. y Zoboli R., (2009)/"Municipal Waste Kuznets Curves: Evidence on Socio-Economic Drivers and Policy Effectiveness from the EU" *Environ Resource Econ* pp. 203-231

Meadows, D. & Randers, J. (2004)/ *Limits to growth: the 30 year update*, Chelsea Green Publishing.

Meadows, D., Meadows, D., & Randers, J. (1972)/ *The Limits to Growth*

Merrill, T. W., & Smith, H. E. (2010)/ *Property*. Oxford Introductions to US L.

Nicholson, W., Rabasco E., M. E., & Toharia Cortés, L. (1997) / *Teoría microeconómica: Principios básicos y aplicaciones* (1. edición.). Madrid: McGraw-Hill.

Lin, George & Kao, Shih-Yang (2019)/ *Contesting Eco-Urbanism from Below: The Construction of 'Zero-Waste Neighborhoods' in Chinese Cities*. *International Journal of Urban and Regional Research*.

Lohri, C. R., Camenzind, E. J., & Zurbrügg, C. (2014)/ *Financial sustainability in municipal solid waste management—Costs and revenues in Bahir Dar, Ethiopia*. *Waste management*, 34(2), 542-552.

Peet, R. and Watts, M. (1996b) *Liberation ecology: Development, sustainability, and environment in the age of market triumphalism*, in *Liberation Ecologies: Environment, Development, Social Movements*, Routledge, New York, pp. 1–45.

Ricke, K.; Drouet, L.; Caldeira, K. and Tavoni M. (2018)/ *Country-level social cost of carbon*. *Natural Climate Change*, Vol. 8, october 2018, 895-900.

Robbins, Paul, (2012)/ *Political ecology: a critical introduction*. John Wiley & Sons Ltd, 2a edition.

Samuelson, P., (1955)/ "Diagrammatic Exposition of a Theory of Public Expenditure", *The Review of Economics and Statistics*, Vol 37, No. 4, pp. 350-356.

Stern D. I. (1998)/"Progress on the environmental Kuznets Curve?" pp 173-196

Stern D. I. (2004)/ "The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve" *World Development* 32, 14-39.

Steurer, N., & Bonilla, D., (2016)/ "Building sustainable transport futures for the Mexico City Metropolitan Area", *Transport Policy*, Elsevier, vol. 52(C), pages 121-133.

Tzipi, E., Ofira, A., Mordechai S., (2006)/"Valuation of externalities of selected waste management alternatives: A comparative review and analysis", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 46, Issue 4, pages 335-364.

Tellus Institute. *Tellus packaging study—assessing the impacts of production and disposal of packaging and public policy measures*, vol. 1. Tellus Institute; 1992.

Vogtlander, Josst (2010)/ *LCA-based assessment of sustainability: the Eco-costs/Value Ratio EVR*.

Webster, C. J., & Lai, L. W. C. (2003)/ *Property rights, planning and markets: managing spontaneous cities*. Edward Elgar Publishing.

Williamson, O., (1989)/ *Transaction cost economics*, ch. 03, p. 135-182 in Schmalensee, R. and Willig, R. eds., *Handbook of Industrial Organization*, vol. 1, Elsevier.

## Páginas Web citadas

AQUAE (Fundación)

<https://www.fundacionaquae.org/consumo-de-agua-per-capita-en-el-mundo/>

Banco Central Europeo

[https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-mxn.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-mxn.en.html)

Banco Mundial

- Estimaciones de población de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y del Banco Mundial.  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.POP.DNST?view=chart>
- Datos sobre las cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos sobre cuentas nacionales de la OCDE  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?end=2014&start=1960>
- International Monetary Fund, Balance of Payments database, supplemented by data from the United Nations Conference on Trade and Development and official national sources.  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/BX.KLT.DINV.CD.WD?view=chart>
- Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos).  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?end=2014&start=1960>
- Agencia Internacional de la Energía (Estadísticas de la AIE)  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.PCAP.KG.OE?view=chart>

CEPAL (2019) / El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44423/S1800462\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44423/S1800462_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Consejo Mexicano de la Carne (2019)

[https://comecarne.org/wp-content/uploads/2020/07/Compendio\\_Estad%C3%ADstico\\_2019\\_-\\_Comecarne.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2020/07/Compendio_Estad%C3%ADstico_2019_-_Comecarne.pdf)

Greenpeace (2004) / Guía para el consumo responsable de los recursos forestales: Papel

<http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/el-papel.pdf#:~:text=El%20consumo%20de%20papel%20es%20utilizado%20como%20un,del%20planeta%20donde%20crece%20la%20demanda%20de%20papel.>

Hoornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. (2012) / What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series; knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. © World Bank.



INAP Instituto Nacional de Administración Pública (1988) / Manejo de los desechos sólidos: El caso del Distrito Federal. Gaceta Mexicana. Número 29-30

<https://revistas-colaboracion.juridicas.unam.mx/index.php/gaceta-mexicana/article/view/24716/0>

#### INECC

- (2015) / Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2013  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110175/CGCCDBC\\_2015\\_Tabla\\_inventario\\_nacional\\_GEyCEI\\_2013.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110175/CGCCDBC_2015_Tabla_inventario_nacional_GEyCEI_2013.pdf)
- (2012) / Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012  
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf>
- (2014) / Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC\\_2014\\_FE\\_tipos\\_combustibles\\_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf)
- (2017) / Estudio de la Calidad de los Combustibles Fósiles y su Impacto en el Medio Ambiente.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312845/Informe\\_Final\\_Calidad\\_Combustibles\\_2018.04.01.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312845/Informe_Final_Calidad_Combustibles_2018.04.01.pdf)
- (2019) / Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2017  
<https://www.gob.mx/inecc/documentos/investigaciones-2018-2013-en-materia-de-mitigacion-del-cambio-climatico>

#### INEGI

- (2016) / Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015. Estimadores de la población total en viviendas particulares habitadas por delegación y grupos quinquenales de edad según sexo  
<https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html#Tabulados>
- (2010) Censo de Población y vivienda
- (2016) / Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015. Estimadores de la población total en viviendas particulares habitadas por delegación y grupos quinquenales de edad según sexo  
<https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html#Tabulados>
- México en cifras. Benito Juárez, Ciudad de México (09014)  
<https://inegi.org.mx/app/indicadores/?ag=070000090014#divFV620704897362001017951002000007#divFV1003000001>
- (1935) / Quinto Censo de Población. 15 de mayo de 1930  
<https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825411503>
- (1948) / 6° Censo de Población 1940  
<https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825411831>
- (1970) / IX Censo General de Población 1970. Distrito Federal  
<https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825413255>
- (2010) Censo de Población y vivienda
- (2009) Censos económicos  
<http://www.beta.inegi.org.mx/programas/ce/2009/>
- (2010) Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales

- Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
- (2010) Censo de Población. Distrito Federal
- (2014) Cuaderno estadístico y geográfico ZMVM
- (2014) Cuaderno estadístico y geográfico Hidalgo
- (2014) Cuaderno estadístico y geográfico Morelos
- (2014) Cuaderno estadístico y geográfico Estado de México
- (2014) Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2012.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004151>

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007)/ Climate Change 2007. Informe del Grupo de Trabajo III- Mitigación del Cambio Climático.

[https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/contents.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html)

Mora Reyes José Ángel (2004) / El problema de la basura en la Ciudad de México

[http://www.paot.org.mx/contenidos/paot\\_docs/pdf/basura\\_df.pdf](http://www.paot.org.mx/contenidos/paot_docs/pdf/basura_df.pdf)

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013.

<http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/NADF-024-AMBT-2013.pdf>

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (2021) reforma D.O.F. 18-01-2021.

[https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_180121.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf)

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

Secretaria de desarrollo urbano y ecología (1988, 28 de enero).

<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>

Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003, 8 de octubre).

[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_190118.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf)

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2003) reforma D.O.F. del 26-06-019.

[http://www.rc.df.gob.mx/images/leyes/leyes/LEY\\_DE\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_DISTRITO\\_FEDERAL.pdf](http://www.rc.df.gob.mx/images/leyes/leyes/LEY_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_DISTRITO_FEDERAL.pdf)

OECD (2020),

- Municipal waste (indicator). doi: 10.1787/89d5679a-en (Accessed on 06 June 2020)

<https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>

- GDP and spending

<https://doi.org/10.1787/4537dc58-en>

Peña, Daniel (2002) /Análisis de datos multivariantes. Ed. Mc Graw Hill

PETSTAR (2019) / Informe de sustentabilidad 2019

<https://www.petstar.mx/media/2066/informe-de-sustentabilidad-2019-petstar.pdf>

Real Academia Española RAE (2020)

<https://dle.rae.es/>

(SEDEMA) Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México / Inventario de residuos sólidos (IRS)

- 2019  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2018-VF-09-09-2019.pdf>
- 2018  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2018-VF-09-09-2019.pdf>
- 2017  
[https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS\\_2017\\_FINAL\\_BAJA.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2017_FINAL_BAJA.pdf)
- 2016  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2016.pdf>
- 2015  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2015-14-dic-2016.compressed.pdf>
- 2014  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2014/IRS-2014.pdf>
- 2013  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2013/IRS-2013-Final-24-10-14-optimizado.pdf>
- 2012  
<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2012/inventario-residuos-solidos-2012.pdf>
- 2011  
[https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS\\_2011.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2011.pdf)
- 2010  
[https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS\\_2010.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2010.pdf)
- Secretaría de Finanzas  
[https://data.finanzas.cdmx.gob.mx/formato\\_lc/Front\\_ten/index.php/inicio](https://data.finanzas.cdmx.gob.mx/formato_lc/Front_ten/index.php/inicio)
- 2016  
Inventario de Emisiones de la CDMX 2014. Contaminantes criterio, tóxicos y de Efecto Invernadero.  
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/IE-CDMX-2014.pdf>
- Secretaría y Obras Públicas  
(2004) Manejo de Residuos Sólidos en el DF SEDEMA

SEDESOL (2006) / Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales  
[http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/residuos/bibliovirtual/Manual\\_para\\_el\\_Diseño\\_de\\_Rutas\\_de\\_Recolección.pdf](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/residuos/bibliovirtual/Manual_para_el_Diseño_de_Rutas_de_Recolección.pdf)

SENER (2018) / Balance de Energía 2017  
<https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>

## Bibliografía

Arellano-González, Alejandro, Carballo-Mendivil, Blanca, Ríos-Vázquez, Nidia J. y Bojorquéz-Félix, Esmeralda (2016) / Evaluación del desempeño del proceso de recolección de residuos sólidos urbanos. Revista de Estrategias del Desarrollo Empresarial, 2-3: 26-41

Barlaz, M. A., Ranjithan, R. and Weitz K. A., (1995)/ Life cycle study of municipal solid waste management –System description. EPA Cooperative Agreement 832052. USA.

Barton, J. R., Dalley, D. and Patel, V. S., (1996)/ Life cycle assessment for waste management. Waste Management, Vol. 16, Nos 1-3, pp. 35-50.

Bartone, C., and Bernstein, J., (1993)/ "Improving Municipal Solid Waste Management in Third World Countries". Resources, Conservation and Recycling 8:43-54.

Betanzo-Quezada, E., Torres-Gurrola, M., Romero-Navarrete J. y Obregón-Biosa, S., (2016) / Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: Análisis e implicación. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol.32 no.3, México.

Bjorklund, A., Dalemo, M. and Sonesson, U., (1999) / Evaluating a municipal waste management plan using ORWARE. Journal of Cleaner Production. 7: 271-280.

Bustos F. C. (2009) /La problemática de los desechos sólidos. Universidad de los Andes. Economía, XXXIV, 27 (enero-junio, 2009), pp. 121-144

Cruz R., Ariel A. (2011) / "Desarrollo Económico y Administración del Medio Ambiente: el caso de los residuos sólidos urbanos en las entidades federativas de México" Capítulo 6 Administración del desarrollo regional pp84\_102

Dinda Soumyanda (2004) / "Environmental Kuznets Curve Hypotesis: A Survey " Elsevier pp. 431-455

Dirección General de Servicios Urbanos Benito Juárez (2009) /Programa delegacional para la prestación del servicio público de limpia en Benito Juárez

Gobierno de la Ciudad de México/ Inventario de Residuos Sólidos CDMX-2014/ Gaceta Oficial de la Ciudad de México, No.183. 19 de octubre de 2016

Grossman, G.M. and Krueger, A.B. (1991)/ Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. National Bureau of Economic Research. November. Working paper No. 3914.

Iglesias P., D. (2007). Costos económicos por la generación y manejo de residuos sólidos en el municipio de Toluca, Estado de México. Equilibrio Económico, Año VIII, Vol. 3 No. 2, pp. 131-148

Kinnaman, Thomas C. and Fullerton, Don (1999)/ The Economics of Residential Solid Waste Management. NBER Working Paper No. w7326. <https://ssrn.com/abstract=197070>

Kokusai (1998) / Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos. México

Kuznets, S., (1955)/ Economic Growth and Structure: Selected Essays, "Economic Growth and Income Inequality". Yale University Press. pp 257-287

Malthus, T. R. (1798) / *Ensayo sobre el principio de la población*.

Matos M., E. (2006) / *Tenochtitlan*. México: Fondo de Cultura Económica, El Colegio de México, Fideicomiso Historia de las Américas.

Narea, S. (2008) / La problemática de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Nuortio, T., Kytojoki, J., Niska, H., & Braysy, O. (2006) / Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS, 30(2), 223–232.

Li H., Berrens R., T. Grijalva. (2007) / "Economic growth and environmental quality: a meta-analysis of environmental Kuznets curve studies" Economics Bulletin, Vol. 17, No. 5 pp. 1-11

Lipford J. y Yaudle B., (2010) / "NAFTA, Environmental Kuznets Curves, and México's Progress" Global Economy Journal.

Panayotou, Theodore (1993)/ Empirical test and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Geneva: International Labor Office, Technology and Employment Programme.

Panayotou, Theodore (1993)/ Empirical test and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Geneva: International Labor Office, Technology and Employment Programme.

Ramírez, R., (2021) / Zona Metropolitana de la Ciudad de México: Crecimiento y expansión al 2040: prospectiva territorial usando modelos de simulación urbana. UNAM

Romero M. (2003) / México 1821-1867. Población y crecimiento económico. Iberoamericana, III, 12

SEMARNAP, (1999). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos.

Solís J., y Sheinbaum C., (2016) / Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> del autotransporte en México y escenarios de mitigación. Rev. Int. Contam. Ambie., 32 (1) 7-23, UNAM.

Tevie J., Grimsrud K. and Berrens R. (2011) / "Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Biodiversity Risk in the US: A Spatial Econometric Approach"

Trujillo L. J. C., Carrillo B. B., Charris V. C. A. and Iglesias P. W. J (2013)/ "The environmental Kuznets curve (EKC): an analysis landfilled solid waste in Colombia", Research Gate, Vol. XXI (2), pp. 7-16

Valdivia-Alcalá, Ramón, Abelino-Torres, Gonzalo, López-Santiago, Marco, Zavala-Pineda, María, (2012). Valoración Económica del Reciclaje de Desechos Urbanos. Revista Chapingo Serie Científica Forestal y del Ambiente (RCHSCFA)

Wakerganel, M. y Rees, W. (1996)/ *Our Ecological Footprint: Reducing the Human Impact on the Earth*, Gabriola Island: New Society Publishers, British Columbia.

Weaver S. Christopher (2002) / Medición de emisiones de vehículos recolectores de basura en la Ciudad de México.

White, P.R., Franke, M. and Hindle, P., (1995). Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory. Blackie Academic & Professional, Glasgow.

Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Beijoco, F. (2013). Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. Waste Management, 33(4), 793–806.

## Páginas Web consultadas

Banco Mundial  
Informe sobre el Desarrollo Mundial: Desarrollo y Medio ambiente. Oxford University Press. Primera Edición. USA.

Comisión Interdepartamental del Cambio Climático (2011) / Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).  
<file:///C:/Users/Adriana/Desktop/guia%20de%20calculo%20de%20emisiones.pdf>

CONAPO (2019) /Indicadores demográficos 1950 -2050  
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050/resource/880f0f3e-6421-4d00-982e-581c73cbfd7>

CONEVAL / Medición de la Pobreza en México /Indicador de ingreso corriente per cápita  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva\\_estruc/promo/eic\\_2015\\_presentacion.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva_estruc/promo/eic_2015_presentacion.pdf)

FAO Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor. Producción y Sanidad animal  
<http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>

García, Manuel (2007) /Curso 2007-2008: Plantas o estaciones de transferencia  
[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45915/componente45914.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45915/componente45914.pdf)

Guido, Acurio y Rossin, Antonio (1997) Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. BID– Organización Panamericana. Washington, D. C.  
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Diagn%C3%B3stico-de-la-situaci%C3%B3n-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-municipales-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Gobierno de la Ciudad de México / Presupuesto de egresos de la CDMX. Gaceta oficial de la CDMX

- Ejercicio fiscal 2017  
[http://www.data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal\\_old/uploads/gacetas/e6f472fabadd79dcad8e06fc7252455d.pdf](http://www.data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/e6f472fabadd79dcad8e06fc7252455d.pdf)
- Ejercicio fiscal 2018  
[file:///D:/Escritorio%20Adri/Doctorado/Tesis\\_Doctorado/Tesis/Cap%204/Bibliografia/Gaceta%20of\\_2017.pdf](file:///D:/Escritorio%20Adri/Doctorado/Tesis_Doctorado/Tesis/Cap%204/Bibliografia/Gaceta%20of_2017.pdf)

GTZ, (2003) / La basura en el limbo. Desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos. <http://centro.paot.org.mx/index.php/acervo/123-libro-digital/893-basura-en-el-limbo>

INECC

- (1996) /Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas  
[http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/121/105\\_1996\\_Estaciones\\_transferencia\\_residuos\\_solidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/121/105_1996_Estaciones_transferencia_residuos_solidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- (1999) / Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos  
[http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/mini\\_manejo\\_residuos\\_solidos.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/mini_manejo_residuos_solidos.pdf)

OCCC (2013) / Guía Práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)  
[https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/wp-content/blogs.dir/9/files/2013/07/Guia-practica-calcul-emisiones\\_rev\\_ES.pdf](https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/wp-content/blogs.dir/9/files/2013/07/Guia-practica-calcul-emisiones_rev_ES.pdf)

PNUD (2019) / Informe de Desarrollo Humano Municipal 2010-2015. Transformando México desde lo local <http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/library/poverty/informe-de-desarrollo-humano-municipal-2010-2015--transformando-.html>

## Anexo 1

Tabla 1.1A. PIB per cápita anual y población de países de la OCDE, 2010  
(dólares, miles de personas)

Clave	País	Ingreso	Población	Clave	País	Ingreso	Población
LUX	Luxemburgo	85,578.9	506.95	ISR	Israel	28,834.7	7,623.56
SGP	Singapur	75,343.9	3,771.72	GRC	Grecia	28,169.4	11,121.34
NOR	Noruega	57,961.4	4,889.25	SVN	Eslovenia	27,842.3	2,049.26
CHE	Suiza	53,019.8	7,824.91	MLT	Malta	27,832.4	414.51
SAU	Arabia Saudita	51,521.9	27,425.68	CZE	Republica Checa	27,575.4	10,517.25
USA	Estados Unidos	48,395.8	309,326.09	PRT	Portugal	27,280.2	10,573.10
NLD	Países bajos	45,075.1	16,615.39	SVK	República Eslovaca	24,992.9	5,431.02
IRL	Irlanda	43,331.1	4,554.76	RUS	Rusia	22,008.3	142,389.97
DNK	Dinamarca	43,037.1	5,543.82	EST	Estonia	21,779.6	1,331.48
AUS	Australia	42,787.4	22,031.75	HUN	Hungría	21,586.0	10,000.02
SWE	Suecia	42,252.3	9,378.13	POL	Polonia	20,804.8	38,516.69
AUT	Austria	42,049.2	8,361.07	LTU	Lituania	20,053.9	3,097.29
CAN	Canadá	40,113.5	34,004.89	HRV	Croacia	19,771.9	4,296.35
BEL	Bélgica	39,865.2	10,895.59	CHL	Chile	18,129.1	17,063.93
DEU	Alemania	39,703.6	81,776.94	ARG	Argentina	18,061.9	40,788.45
ISL	Islandia	39,611.7	318.04	LVA	Letonia	17,602.6	2,097.55
FIN	Finlandia	38,982.2	5,363.34	TUR	Turquía	17,244.6	73,142.16
GBR	Reino Unido	36,371.6	62,759.46	ROU	Romania	16,979.1	20,246.80
FRA	Francia	35,936.0	64,773.17	MEX	México	15,257.7	113,748.67
JPN	Japón	34,994.4	128,057.35	BGR	Bulgaria	14,598.6	7,395.60
ITA	Italia	34,857.3	59,277.41	BRA	Brasil	14,359.9	194,890.68
OECD	OECD	34,513.9	1,243,038.93	CRI	Costa Rica	12,811.1	4,533.89
CYP	Chipre	33,445.9	829.44	ZAF	Sudáfrica	11,806.1	50,724.11
EU28	Unión Europea	33,343.0	504,286.22	COL	Colombia	10,934.6	45,509.58
KOR	Corea	31,740.5	49,554.11	CHN	China	9,231.6	1,359,755.10
ESP	España	31,713.7	46,562.48	IDN	Indonesia	8,624.0	238,518.80
NZL	Nueva Zelanda	31,175.2	4,350.70	IND	India	4,295.8	1,230,980.69

Fuente: Elaboración propia con base a OCDE iLibrary



Tabla 1.2A Densidad poblacional mundial

Países	Densidad (per/km <sup>2</sup> )	Población 2010	Países	Densidad (per/km <sup>2</sup> )	Población 2010
Mongolia	2	2,812,000	Egipto	80	80,500,000
Australia	3	22,522,000	Macedonia del Norte	80	2,059,794
Canadá	3	34,298,000	Camboya	81	14,605,000
Islandia	3	319,580	Benín	82	9,461,000
Libia	3	5,923,000	Serbia	82	7,216,649
Mauritania	3	3,369,000	Grecia	84	11,086,406
Namibia	3	2,116,000	Rumanía	84	20,095,996
Surinam	3	540,000	Jordania	85	7,575,000
Botsuana	4	2,051,000	Malasia	88	29,062,000
Guyana	4	756,000	Sierra Leona	89	6,426,000
Gabón	6	1,684,635	Costa Rica	90	4,613,000
Kazajistán	6	16,674,000	España	93	46,818,216
Rep. centroafricana	7	4,418,636	Chipre	93	862,010
Rusia	8	143,506,383	Dominica	95	71,000
Bolivia	9	10,078,000	Turquía	95	74,724,269
Omán	10	2,993,000	Austria	100	8,408,121
Chad	10	12,360,989	Albania	101	2,903,008
Rep. del Congo	11	3,749,000	Eslovenia	101	2,055,496
Turkmenistán	11	5,174,085	Cuba	102	11,236,670
Malí	12	15,075,000	Moldavia	105	3,559,541
Noruega	13	4,985,870	Ghana	106	25,387,710
Arabia Saudita	13	28,376,000	E. Árabes Unidos	107	8,946,777
Belice	14	332,000	Azerbaiyán	107	9,235,085
Níger	14	17,114,761	Hungría	107	9,931,925
Argentina	15	41,261,000	Armenia	110	3,274,285
Argelia	15	36,717,000	Eslovaquia	110	5,404,322
Nueva Guinea	15	7,407,000	Portugal	114	10,542,398
Sudán del Sur	15	9,830,698	Siria	114	21,082,966
Finlandia	16	5,401,267	Togo	118	6,679,000
Nueva Zelanda	16	4,399,000	Francia	119	65,276,983
Paraguay	16	6,363,000	Polonia	122	38,063,792
Sudán	17	32,661,000	Cabo Verde	126	508,000
Angola	19	23,703,000	Indonesia	127	241,991,000
Bután	19	729,000	Kiribati	128	104,000
Islas Salomón	19	538,000	Tailandia	129	66,210,000
Somalia	19	12,376,302	Dinamarca	130	5,580,516
Uruguay	19	3,413,000	Uganda	131	31,537,000
Zambia	19	14,023,193	República Checa	133	10,505,445
Vanuatu	20	245,000	Malawi	136	16,166,000
Suecia	21	9,482,855	Guatemala	137	14,949,000

Brasil	23	196,604,000	Tonga	137	103,000
Chile	23	17,254,000	China	141	1,347,350,000
Perú	23	29,797,694	Edos. Fed Micronesia	146	102,000
Bahamas	25	348,000	Catar	149	1,733,000
Eritrea	27	3,213,972	Gambia	164	1,848,000
Kirguistán	27	5,478,000	Andorra	166	78,115
Laos	27	6,348,000	Nigeria	176	162,805,000
Rep. del Congo	28	66,755,153	Nepal	184	27,041,000
Estonia	29	1,325,217	Seychelles	189	87,000
Mozambique	31	25,017,000	Santo Tomé y Príncipe	191	183,000
Estados Unidos	32	311,663,358	Suiza	193	7,954,662
Letonia	32	2,044,813	Antigua y Barbuda	195	86,000
Venezuela	32	28,888,369	Italia	197	59,394,207
Zimbabue	32	12,459,000	República	197	9,580,000
Liberia	34	3,743,000	San Cristóbal Nieves	200	52,000
Guinea Ecuatorial	35	994,000	Luxemburgo	203	524,850
Yibuti	37	865,000	Corea	205	24,673,385
Madagascar	37	21,743,967	Kuwait	207	3,697,000
Palaos	39	18,000	Pakistán	220	175,310,000
Colombia	40	46,045,000	Alemania	225	80,327,900
Guinea-Bisáu	41	1,492,000	Liechtenstein	228	36,475
Irán	43	75,150,000	Jamaica	251	2,755,000
Sudáfrica	43	52,129,000	Trinidad	260	1,335,000
Camerún	44	20,906,388	Reino	261	63,495,088
Guinea	45	11,162,000	Vietnam	265	87,840,000
Montenegro	45	62,031	Santa	269	167,000
Afganistán	46	29,709,000	San V. y Granadinas	282	110,000
Lituania	46	3,003,641	Islas	294	53,000
Nicaragua	46	5,997,000	El	297	6,239,000
Fiyi	47	853,000	Granada	309	105,000
Tanzania	47	44,348,000	Sri	310	20,315,000
Yemen	48	25,130,000	Filipinas	314	94,180,000
Panamá	49	3,724,000	Burundi	322	8,958,406
Tayikistán	55	7,816,000	Japón	338	127,831,000
Burkina Faso	59	16,082,000	Israel	352	7,763,000
México	59	115,683,000	Bélgica	363	11,075,889
Ecuador	60	15,266,000	Haití	364	10,100,320
Suazilandia	60	1,048,000	Tuvalu	367	11,000
Lesoto	64	1,941,000	India	370	1,217,197,000
Georgia	65	4,497,617	Comoras	379	705,000
Irlanda	65	4,589,287	Ruanda	387	10,200,000
Uzbekistán	65	29,123,000	Países Bajos	403	16,730,348
Bulgaria	66	7,327,224	Líbano	439	4,588,000

Costa de Marfil	66	21,397,000	Corea del Sur	499	49,937,000
Túnez	66	10,761,000	Nauru	500	10,000
Samoa	66	188,000	San Marino	556	33,376
Brunéi	68	393,000	Mauricio	614	1,252,000
Kenia	68	39,500,000	Estado de Palestina	645	3,882,986
Senegal	68	13,301,000	Taiwán	645	23,225,000
Timor Oriental	72	1,078,000	Barbados	653	281,000
Irak	73	31,760,000	Bangladés	1.03	152,862,000
Marruecos	73	32,579,000	Maldivas	1.083	325,000
Honduras	74	8,352,000	Malta	1.305	417,546
Birmania Myanmar	74	50,110,000	Baréin	1.558	1,195,000
Bosnia Herzegovina	75	3,839,265	Hong Kong	6.464	7,110,000
Ucrania	75	45,453,282	Singapur	7.261	5,184,000
Etiopía	76	84,238,000	Mónaco	18.012	36,024
Croacia	76	4,275,984			

## Anexo 3

### 0. Introducción

En la Tabla 3.1A. podemos observar las fuentes utilizadas para la construcción de la base de datos, así como las unidades utilizadas.

Tabla 3.1A. Definición de la variable y su fuente

Variable	Definición	Unidad	Fuente
<i>res</i>	Residuos	Kilogramo persona trimestral	INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, 2010.
<i>Pob</i>	Población	Número de personas	INEGI. Censo, 2010
<i>Dens</i>	Densidad poblacional	Número de personas / kilómetro <sup>2</sup>	INEGI. Censo de Población y vivienda, 2010
<i>Auto</i>	automóvil	# de hogares en el municipio con automóvil	INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.
<i>Y</i>	Ingreso	Ingreso promedio por hogar trimestral	ENIGH, 2010
<i>Refri</i>	refrigerador	# de hogares en el municipio con refrigerador	INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.
<i>ue_t</i>	Unidades económicas totales	# de unidades económicas totales de comercio al por menor por municipio	INEGI. Censo Económico, 2010
<i>mdo</i>	mercados	# de mercados establecidos en el municipio	INEGI. Cuaderno estadístico y geográfico ZMVM, Hidalgo, Morelos y Estado de México, 2014
<i>g_en</i>	Gasto en energía	Gasto promedio del hogar en energía eléctrica (miles de pesos)	ENIGH, 2010

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1. Análisis descriptivo

En la Tabla 2A se encuentra las demarcaciones del estudio ordenados de mayor (Cuajimalpa de Morelos en la Ciudad de México) a menor ingreso (Yahualica en Hidalgo) lo que hace posible comparar el ingreso anual por hogar y la generación de residuos.

Tabla 3.2A. Comparación de la Generación de residuos e ingreso, 2010

Municipio	Residuos (kg/persona/año)	Ingreso anual (\$/hogar)	Municipio	Residuos (kg/persona/año)	Ingreso anual (\$/hogar)	Municipio	Residuos (kg/persona/año)	Ingreso anual (\$/hogar)
Cuajimalpa de Morelos	750	835,532	Miacatlán	137	147,768	Ocoyoacac	266	106,480
Benito Juárez	699	410,536	Ayala	231	147,624	Amecameca	495	106,112
Miguel Hidalgo	715	377,496	Nezahualcóyotl	272	146,996	Chalco	294	105,712
Amatepec	838	366,656	Cuautla	302	146,536	Almoleya	388	105,504
Huixquilucan	39	328,012	Metepiec	51	146,208	Jantetelco	187	105,152
Coyoacán	668	309,876	Ecatepec de Morelos	44	144,824	Tepetlixpa	99	104,080
Jaltenco	55	290,128	Zacualtipán de Ángeles	248	144,008	Atlatlahucan	270	102,732
Emiliano Zapata	275	275,832	Temixco	236	143,808	Huehuetoca	292	98,884
Mineral de la Reforma	258	250,764	Lerma	54	140,360	Ixmiquilpan	203	98,228
Tlalpan	514	243,808	Ixtapaluca	420	140,204	Temascalapa	152	97,580
Álvaro Obregón	550	238,300	Xochimilco	554	139,708	Melchor Ocampo	211	97,272
Texcoco	286	237,432	Tláhuac	459	138,584	Villa del Carbón	407	96,964
Atizapán de Zaragoza	298	233,292	Ozumba	402	138,024	Tezontepec de Aldama	266	96,912
Cuautitlán Izcalli	350	231,448	San Mateo Atenco	226	134,848	Tlayacapan	199	96,768
Cuauhtémoc	1504	222,704	Chicoloapan	292	134,684	Calimaya	78	93,448
La Magdalena Contreras	458	217,348	Atenco	454	133,648	San Bartolo Tutotepec	56	92,840
Iztacalco	893	199,560	Tlaquiltenango	260	133,520	Nopaltepec	263	90,896
Tepotztlán	198	189,352	Zumpahuacán	178	133,132	Tlalmanalco	347	90,488
Venustiano Carranza	1016	188,232	Atlacomulco	351	131,772	Almoleya de Juárez	91	90,072
Polotitlán	337	188,172	Coyotepec	178	128,468	Puente de Ixtla	267	89,768
Chiconcuac	80	187,720	Zinacantepec	196	127,816	Ixtapan de la Sal	294	87,700
Cuernavaca	400	185,856	Jilotepec	174	127,644	Huejutla de Reyes	163	85,024
Gustavo A. Madero	913	185,616	Tultitlán	40	125,640	Yautepec	224	82,144
Naucalpan de Juárez	350	185,168	La Paz	198	123,816	Tepalcingo	216	81,704
Tecámac	320	184,048	Cuautitlán	261	123,088	Jilotzingo	223	80,924
Azcapotzalco	427	183,232	Juchitepec	239	121,848	Tequixquiac	108	77,352
Pachuca de Soto	518	180,028	Tultepec	219	121,052	Tepeji del Río de Ocampo	226	74,504

Zumpango	343	176,448	Nicolás Romero	179	120,716	Villa Victoria	54	70,960
Coacalco de Berriozábal	394	168,956	Milpa Alta	238	117,580	Sultepec	42	69,148
Morelos	77	167,980	Apaxco	159	113,420	Axochiapan	76	61,544
Tlalnepantla de Baz	357	161,968	Tizayuca	449	113,220	El Oro	212	56,664
Iztapalapa	710	161,324	Teoloyucan	173	112,216	Juárez Hidalgo	114	52,132
Toluca	267	159,432	Valle de Chalco Solidaridad	255	109,452	La Misión	10	49,796
Jiutepec	389	154,956	Tulancingo de Bravo	366	107,928	Yahualica	5	42,576
Xochitepec	230	148,188	Chimalhuacán	238	107,656			

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 Análisis Multivariado

La Tabla 3.A deja ver cada una de las demarcaciones que integran los grupos conformados por el Cluster realizado con la variable de control ingreso que se eligió para hacer los grupos.

Tabla 3.3A. demarcaciones que integran cada grupo por Cluster

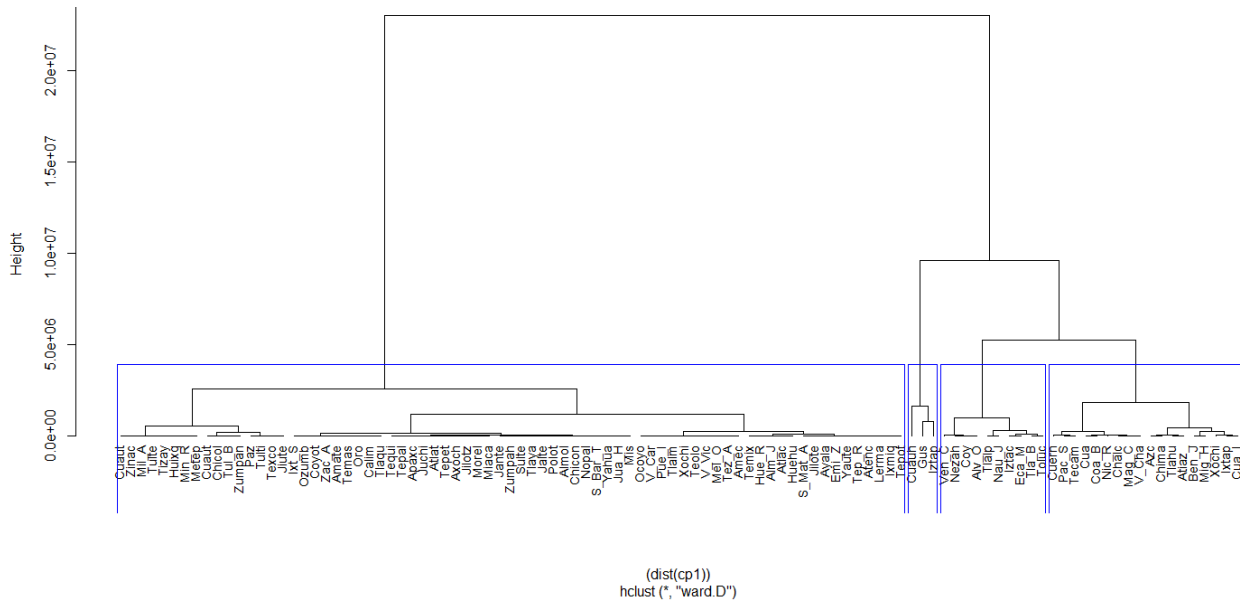
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Huejutla de Reyes	Milpa Alta	Azcapotzalco	Coyoacán
Ixmiquilpan	Tláhuac	Gustavo A. Madero	Cuajimalpa de Morelos
Juárez Hidalgo	Xochimilco	Iztacalco	Benito Juárez
La Misión	Almoloya	Iztapalapa	Miguel Hidalgo
San Bartolo Tutotepec	Tizayuca	Magdalena Contreras	Amatepec
Tepeji del Río de O	Tulancingo de Bravo	Álvaro Obregón	Huixquilucan
Tezontepec de Aldama	Zacualtipán de Ángeles	Tlalpan	Jaltenco
Yahualica	Amecameca	Cuauhtémoc	Emiliano Zapata
Almoloya de Juárez	Apaxco	Venustiano Carranza	
Calimaya	Atenco	Pachuca de Soto	
Huehuetoca	Atlacomulco	Mineral de la Reforma	
Ixtapan de la Sal	Coyotepec	Atizapán de Zaragoza	
Jilotzingo	Cuautitlán	Coacalco de Berriozábal	
Melchor Ocampo	Chalco	Chiconcuac	
Nopaltepec	Chicoloapan	Morelos	
El Oro	Chimalhuacán	Naucalpan de Juárez	
Sultepec	Ecatepec de Morelos	Polotitlán	
Temascalapa	Ixtapaluca	Tecámac	
Tequixquiac	Jilotepec	Tepotzotlán	
Tlalmanalco	Juchitepec	Texcoco	
Villa del Carbón	Lerma	Tlalnepantla de Baz	
Villa Victoria	Metepec	Toluca	

Axochiapan	Nezahualcóyotl	Zumpango	
Puente de Ixtla	Nicolás Romero	Cuautitlán Izcalli	
Tepalcingo	Ocoyoacac	Cuernavaca	
Tlayacapan	Ozumba	Jiutepec	
Yautepec	La Paz		
	San Mateo Atenco		
	Teoloyucan		
	Tepetlixpa		
	Tultepec		
	Tultitlán		
	Zinacantepec		
	Zumpahuacán		
	Valle de Chalco S		
	Atlatlahucan		
	Ayala		
	Cuatla		
	Jantetelco		
	Miacatlán		
	Temixco		
	Tlaquiltenango		
	Xochitepec		

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la Gráfica 3.1A. encontramos el ejercicio de Cluster realizado con la variable de control CP1 que se hizo con el método de Ward con K=4, y se limitó su uso debido a que la clasificación entre grupos no fue tan homogénea como se esperaba además que según la Tabla 4.A tampoco cumplió con una congruente distribución intra-grupos.

Gráfica 3.1A. Dendrograma con cuatro grupos (CP1)



Fuente: Elaboración propia, 2019

Se puede observar en la Tabla 3.4.A. que existe incongruencias entre los grupos G2 y G3, esto tiene se explica por una mala redistribución, de las demarcaciones entre estos grupos, razón por la que no se eligió la variable CP1 como variable de control.

Tabla 3.4.A. Análisis de cluster con variable de control CP1

	G1	G2	G3	G4
# Observaciones	31	21	36	16
Mínimo	10,644	20,231	19,338	30,772
Mediana	23,362	31,911	36,924	52,077
Promedio	23,172	33,803	42,254	64,593
Máximo	41,995	72,532	94,374	208,883
desviación estándar	6,574	10,680	15,365	42,728

Fuente: Elaboración propia, 2019



### 3.2.4 Modelo OLS

En la Tabla 3.5A se observa la salida de la estimación del modelo lineal (OLS) que se utilizó como punto de comparación con los modelos de ecuaciones simultáneas (IV, 2OLS).

Tabla 3.5A Modelo lineal

lm(formula = lres ~ y + y2 + pob)					
Residuals:					
	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-3.7904	-0.5174	0.2015	0.861	1.7852
Variable	Coeficiente	Error estándar	t value	Pr(> t )	
intercepto	8.54E+00	3.71E-01	23.036	< 2e-16	***
Y	5.58E-05	1.30E-05	4.282	4.27E-05	***
y2	-1.98E-10	6.91E-11	-2.86	0.00515	**
Pob	3.44E-06	3.98E-07	8.631	9.80E-14	***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 1.209 on 100 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.5956, Adjusted R-squared: 0.5835					
F-statistic: 49.1 on 3 and 100 DF, p-value: < 2.2e-16					

Fuente: elaboración propia, 2019

Tabla 3.6A Prueba de Heteroscedasticidad

Como se observa en la prueba BP el modelo lineal utilizado en el trabajo no tiene problemas de heteroscedasticidad. Donde Ho: Heteroscedasticidad y Ha: Homoscedasticidad

<p>studentized Breusch-Pagan test</p> <p>bptest(modelo_lin6e)</p> <p>data: modelo_lin6e</p> <p>BP = 2.917, df = 3, p-value = 0.4046</p>
---

Tabla 3.7A Prueba de Error de especificación en regresión (linealidad)

<p>RESET test</p> <p>data: modelo_lin6e</p> <p>RESET = 22.9, df1 = 1, df2 = 99, p-value = 5.97e-06</p>
--

Tabla 3.8A Prueba de Autocorrelación

Ello no significa que la correlación entre los errores se dé en todos los periodos, sino que puede darse tan sólo entre algunos de ellos. En presencia de autocorrelación, los estimadores MCO siguen siendo insesgados pero no poseen mínima varianza.

Durbin-Watson test
data: modelo_lin6e
DW = 2.4085, p-value = 0.9813
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

Tabla 3.9A Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad Jarque Bera Test, indica que no hay suficiente evidencia de que contemos con una muestra normal

data: residuales
X-squared = 27.627, df = 2, p-value = 1.002e-06

### 3.2.4 Modelos IV

En la Tabla 3.10A se observa la salida de la estimación del modelo de variables instrumentales (IV)

Tabla 3.10A. Modelo IV

ivreg(formula = lres ~ y + pob + y2   y2 + g_en + auto + ue_t)					
Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-4.8132	-0.6019	0.1679	0.9458	2.7913	
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	6.81E+00	1.01E+00	6.716	1.87E-11	***
Y	1.25E-04	3.88E-05	3.211	0.00132	**
Pob	2.52E-06	6.45E-07	3.898	9.70E-05	***
y2	-5.32E-10	2.07E-10	-2.573	0.01009	*
Diagnostic tests:					
	df1	df2	statistic	p-value	
Weak instruments	3	99	14.146	9.60E-08	***
Weak instruments	3	99	344.718	< 2e-16	***
Wu-Hausman	2	98	3.767	0.0265	*
Sargan	1	NA	0.02	0.8871	
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Residual standard error: 1.368 on Inf degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.4824, Adjusted R-squared: 0.4669
Wald test: 117 on 3 DF, p-value: < 2.2e-16

Fuente: elaboración propia, 2019

### Pruebas del modelo IV

Se realizaron 3 pruebas para revisar el modelo de IV, se observan en la Tabla 6A las pruebas indican lo siguiente:

Weak instruments: La hipótesis nula indica: que el instrumento es débil, los resultados del modelo nos dejan ver que se rechaza la hipótesis nula, así que podemos asumir que el instrumento utilizado es lo suficientemente fuerte.

Wu-Hausman: la prueba refleja que tan consistente es el modelo IV con OLS, si OLS es más eficiente sería preferible elegirlo. La Hipótesis nula (Ho) hay igualdad de consistencia entre OLS y IV. Para los resultados de nuestro modelo, se observa significancia estadística (por ser  $p < 0.05$ ), así que estamos seguros que podemos llamar al modelo IV consistente y se confirma en no tomar al modelo OLS.

Sargan: Test de restricciones sobre identificadas, los resultados prueban que el instrumento utilizado en el modelo IV es válido, no está sobre identificado el instrumento es exógeno y no esta correlacionado con los residuales del modelo.

### 3.2.4 Modelos 2OLS

En la Tabla 3.11A se observa la salida de la estimación del modelo de regresión lineal en dos pasos (2OLS)

Tabla 3.11A. Modelo 2OLS, 1er paso

lm(formula = y ~ y2 + g_en + auto + ue_t)					
Residuals:					
	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-30133	-4604	-1333	4180	28295
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	1.240e+04	2.70E+03	4.587	1.32E-05	***
y2	4.209e-06	2.19E-07	19.238	< 2e-16	***
g_en	1.356e+01	2.77E+00	4.905	3.67E-06	***
auto	2.024e-02	5.86E-03	3.457	0.000806	***
ue_t	1.273e+05	6.83E+04	1.865	0.065117	.
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 8014 on 99 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.8951, Adjusted R-squared: 0.8908					
F-statistic: 211.1 on 4 and 99 DF, p-value: < 2.2e-16					

Fuente: elaboración propia, 2019

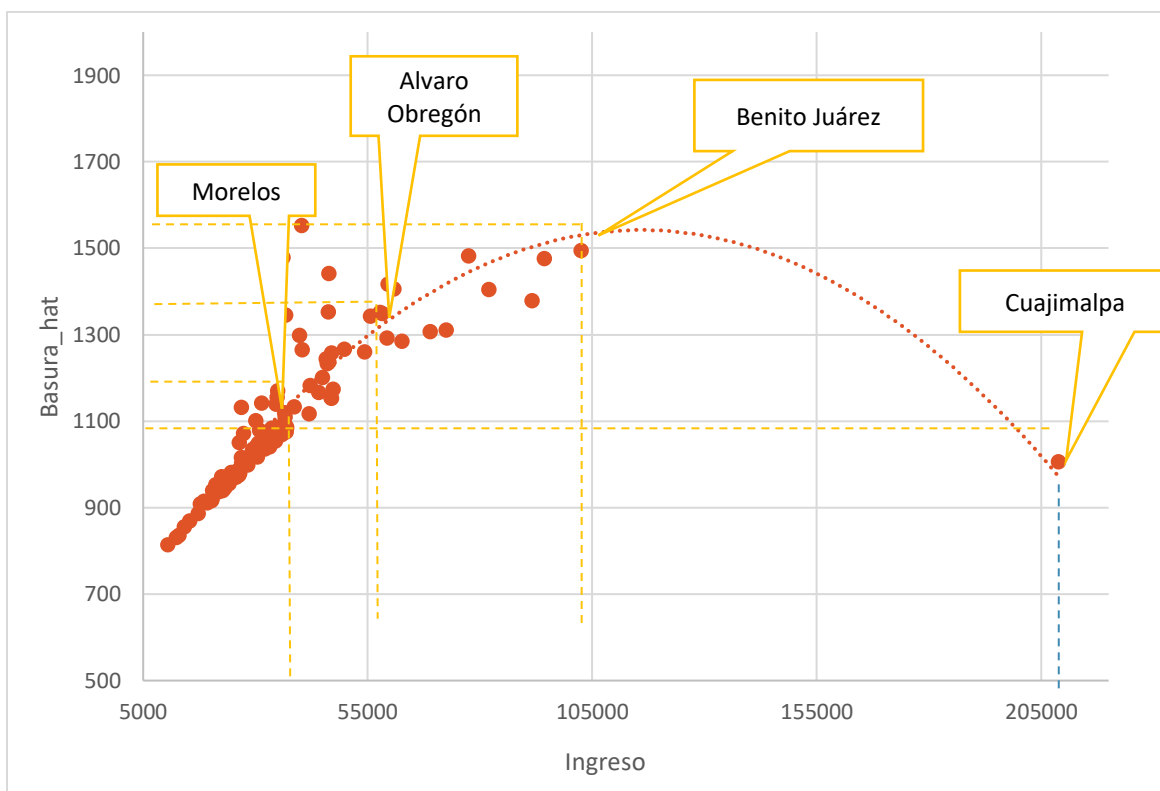
Tabla 3.12A. Modelo 2OLS, 2o paso

lm(formula = lbas ~ yhat + y2 + pob)					
Residuals:					
	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-3.848	-0.7849	0.2161	0.8818	1.8801
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	4.47E+00	7.11E-01	6.288	8.50E-09	***
yhat	1.21E-04	2.71E-05	4.474	2.03E-05	***
y2	-5.18E-10	1.35E-10	-3.83	0.000224	***
pob	2.60E-06	4.89E-07	5.318	6.40E-07	***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 1.201 on 100 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.6013, Adjusted R-squared: 0.5894					
F-statistic: 50.28 on 3 and 100 DF, p-value: < 2.2e-16					

Fuente: elaboración propia, 2019

Conclusión 3: Criterios de elección del municipio para estudio de caso

Gráfica 3.2A. Curva de Kuznets



Fuente: elaboración propia con base a las estimaciones reportadas

## ANEXO 4

Figura 4.1A. Campamento del Servicio de limpia



Fuente: Elaboración propia con Google-Maps

Tabla 4.1A. Ingreso per cápita mensual, 2010 y 2015

Municipio	Ingreso corriente total per cápita ICTPC, 2015	Ingreso corriente total per cápita ICTPC, 2010
Benito Juárez	9,545	8,595
Miguel Hidalgo	8,749	6,227
Cuauhtémoc	6,165	4,639
Iztacalco	5,554	3,661
Coyoacán	5,470	5,008
Cuajimalpa	4,816	3,655
Azcapotzalco	4,682	4,171
Venustiano Carranza	4,520	3,649
Álvaro Obregón	4,441	3,859
Tlalpan	4,252	4,083
G_A. Madero	3,946	3,243
Magdalena Contreras	3,747	3,627
Iztapalapa	3,700	3,118
Xochimilco	3,379	3,361
Tláhuac	3,128	2,641
Milpa Alta	2,933	2,396

Fuente: Elaboración propia con base a CONEVAL 2010 y 2015

Tabla 4.2A. Rutas de recolección, distancia y emisiones generadas

Clave ruta	Estaciona- ruta (km)	Ruta (km)	Ruta x2 (km)	Ruta x3 (km)	Ruta-ct (km)	ct- estaciona	Total	Total x2	Total x3
802_p_s	2.63	1.8	3.5	5.3	1.40	0.75	6.53	8.29	10.04
802_ps	2.25	2.3	4.6	7.0	1.12	0.75	6.44	8.76	11.07
804_al	3.02	3.6	7.2	10.8	3.50	0.75	10.86	14.45	18.05
806_p_s	2.84	3.5	6.9	10.4	1.54	0.75	8.60	12.06	15.52
807_ss	2.13	6.5	13.0	19.5	1.68	0.75	11.08	17.59	24.11
809_al	3.12	1.8	3.6	5.4	4.38	0.75	10.07	11.88	13.68
809_as	2.78	0.9	1.9	2.8	4.18	0.75	8.64	9.56	10.49
809_pn	2.70	0.9	1.8	2.7	4.02	0.75	8.38	9.29	10.20
810_ga	2.19	3.4	6.8	10.3	0.49	0.75	6.86	10.28	13.71
812_i	2.88	3.0	5.9	8.9	3.49	0.75	10.08	13.04	16.00
812_vc	2.79	1.1	2.3	3.4	3.41	0.75	8.08	9.21	10.33
815_lv	0.55	4.1	8.1	12.2	1.10	0.75	6.46	10.52	14.57
815_np	0.27	0.4	0.7	1.1	1.48	0.75	2.85	3.20	3.55
815_vn	0.47	3.7	7.3	11.0	1.44	0.75	6.33	10.00	13.66
818_m	2.86	3.2	6.3	9.5	3.78	0.75	10.55	13.70	16.86
820_po	2.90	1.1	2.2	3.3	2.12	0.75	6.86	7.96	9.05
821_ps	1.75	3.2	6.3	9.5	0.61	0.75	6.27	9.42	12.58
825_n	2.68	3.4	6.7	10.1	2.49	0.75	9.29	12.67	16.04
826_n	2.50	2.3	4.6	6.9	2.91	0.75	8.45	10.75	13.04
826_vc	2.77	2.6	5.1	7.7	3.29	0.75	9.38	11.95	14.52
827_al	3.15	3.3	6.6	9.9	4.04	0.75	11.24	14.55	17.85
828_p	1.44	1.5	3.1	4.6	2.20	0.75	5.93	7.47	9.01
829_pne	1.73	2.7	5.4	8.1	1.21	0.75	6.40	9.10	11.81
832_p_s	2.34	0.2	0.3	0.5	1.53	0.75	4.78	4.94	5.11
832_pne	1.79	3.6	7.1	10.7	1.11	0.75	7.23	10.80	14.38
832_ps	2.23	1.3	2.6	3.8	1.11	0.75	5.37	6.64	7.92
833_p_s	2.59	0.9	1.8	2.7	1.61	0.75	5.86	6.77	7.68
833_pne	2.28	1.8	3.6	5.4	1.71	0.75	6.54	8.34	10.14
839_re	1.36	1.8	3.7	5.5	0.29	0.75	4.22	6.05	7.87
839_sca	1.15	1.0	2.1	3.1	0.31	0.75	3.24	4.27	5.31
841_ss	1.51	2.3	4.6	6.9	1.49	0.75	6.06	8.37	10.68
843_dl	1.88	0.9	1.8	2.6	2.45	0.75	5.97	6.84	7.72
846_pn	1.55	2.6	5.2	7.8	0.59	0.75	5.48	8.08	10.68
847_sca	1.59	1.3	2.5	3.8	0.11	0.75	3.72	4.99	6.27
847_x	2.16	3.0	6.0	9.0	0.26	0.75	6.17	9.17	12.17
848_no	0.79	3.1	6.2	9.2	2.11	0.75	6.73	9.81	12.89
848_np	0.65	3.0	6.0	9.0	1.83	0.75	6.24	9.26	12.28
848_vn	0.81	2.3	4.5	6.8	1.84	0.75	5.66	7.93	10.19

867_sca	1.90	3.0	6.0	9.1	0.10	0.75	5.77	8.79	11.81
868_m	3.20	4.0	8.1	12.1	4.11	0.75	12.10	16.15	20.20
869_e	3.14	1.3	2.6	4.0	2.08	0.75	7.29	8.62	9.94
869_m	3.02	1.3	2.6	3.9	2.03	0.75	7.11	8.42	9.73
870_car	2.35	1.7	3.3	5.0	2.35	0.75	7.13	8.80	10.48
870_z	2.66	1.3	2.6	3.9	2.36	0.75	7.07	8.37	9.67
871_no	1.38	3.4	6.7	10.1	2.62	0.75	8.12	11.49	14.86
871_np	1.72	3.2	6.5	9.7	2.57	0.75	8.28	11.52	14.77
872_no	2.04	2.2	4.4	6.6	3.34	0.75	8.32	10.50	12.69
872_np	2.12	1.4	2.8	4.2	3.34	0.75	7.61	9.01	10.41
873_al	2.74	1.5	3.1	4.6	2.18	0.75	7.21	8.75	10.29
873_po	2.67	0.9	1.8	2.7	2.16	0.75	6.49	7.40	8.32
874_i	1.17	2.5	5.0	7.5	1.60	0.75	6.00	8.49	10.98
874_vn	0.99	0.6	1.1	1.7	1.76	0.75	4.07	4.65	5.22
875_lv	1.06	4.5	9.0	13.5	1.06	0.75	7.37	11.88	16.38
876_no	1.09	3.6	7.2	10.9	2.20	0.75	7.66	11.27	14.89
876_vn	1.22	1.4	2.9	4.3	2.00	0.75	5.42	6.86	8.31
877_pn	1.44	2.5	5.0	7.5	0.76	0.75	5.46	7.98	10.49
878_no	2.59	3.7	7.3	11.0	3.40	0.75	10.39	14.05	17.70
879_al	2.79	4.0	8.0	12.0	3.89	0.75	11.43	15.42	19.41
880_no	1.75	3.8	7.7	11.5	2.65	0.75	8.99	12.82	16.65
880_nui	1.72	0.8	1.7	2.5	3.08	0.75	6.39	7.24	8.09
881_au	1.92	0.5	0.9	1.4	2.65	0.75	5.79	6.25	6.72
881_nh	1.65	2.8	5.6	8.3	2.41	0.75	7.60	10.38	13.16
882_no	2.60	1.6	3.1	4.7	3.80	0.75	8.71	10.27	11.83
882_np	2.36	0.7	1.4	2.0	3.78	0.75	7.57	8.25	8.93
882_uhe	2.35	0.5	1.0	1.5	3.68	0.75	7.28	7.79	8.29
883_au	2.19	1.0	2.0	3.0	2.73	0.75	6.67	7.68	8.68
883_jod	2.27	0.6	1.3	1.9	3.15	0.75	6.81	7.45	8.08
883_nh	2.16	1.1	2.2	3.3	2.88	0.75	6.88	7.96	9.04
883_p	2.35	0.5	1.1	1.6	3.16	0.75	6.80	7.34	7.88
884_jod	2.19	0.4	0.9	1.3	3.01	0.75	6.39	6.83	7.28
884_ma	1.86	1.1	2.3	3.4	2.96	0.75	6.70	7.84	8.98
884_nh	2.15	1.9	3.7	5.6	2.80	0.75	7.56	9.42	11.28
884_p	2.38	1.6	3.3	4.9	3.12	0.75	7.90	9.54	11.18
885_al	2.54	3.5	7.0	10.5	3.33	0.75	10.14	13.66	17.17
886_lv	0.50	2.1	4.3	6.4	0.85	0.75	4.23	6.36	8.49
886_sca	0.76	1.4	2.8	4.1	0.48	0.75	3.37	4.74	6.12
901_dvc	0.73	0.6	1.1	1.7	1.51	0.75	3.55	4.12	4.69
901_ts	1.31	1.0	1.9	2.9	1.42	0.75	4.44	5.41	6.38
906_n	3.05	1.4	2.8	4.2	3.00	0.75	8.19	9.59	10.99
908_ei	2.10	1.9	3.9	5.8	2.04	0.75	6.85	8.80	10.74
909_dvn	1.44	5.8	11.6	17.4	2.79	0.75	10.77	16.56	22.35

911_dvc	0.38	5.6	11.3	16.9	1.67	0.75	8.43	14.06	19.69
911_np	0.30	0.8	1.6	2.4	1.64	0.75	3.51	4.32	5.13
912_dvc	0.84	4.4	8.8	13.1	1.57	0.75	7.54	11.92	16.29
912_isb	1.61	2.1	4.3	6.4	2.04	0.75	6.53	8.66	10.79
916_dvn	1.50	1.1	2.3	3.4	2.62	0.75	6.00	7.13	8.26
916_np	1.33	3.7	7.4	11.2	2.56	0.75	8.36	12.08	15.80
917_sj	2.66	1.4	2.9	4.3	2.46	0.75	7.30	8.74	10.18
918_dvn	1.48	4.5	9.0	13.5	2.96	0.75	9.69	14.19	18.68
919_im	2.23	2.6	5.3	7.9	2.04	0.75	7.66	10.31	12.96
921_dvc	1.35	3.6	7.2	10.8	2.09	0.75	7.80	11.42	15.03
921_isb	1.33	1.4	2.8	4.1	2.27	0.75	5.74	7.12	8.50
926_np	1.83	4.4	8.8	13.3	3.05	0.75	10.05	14.46	18.88
926_pn	2.47	0.9	1.9	2.8	3.87	0.75	8.03	8.97	9.91
927_spp	2.38	2.5	5.0	7.5	3.27	0.75	8.89	11.38	13.87
934_dvc	0.76	2.7	5.4	8.0	2.25	0.75	6.43	9.12	11.80
934_dvn	1.11	1.2	2.4	3.5	2.41	0.75	5.45	6.63	7.80
935_spp	2.74	2.1	4.1	6.2	3.08	0.75	8.63	10.69	12.76
936_spp	3.00	2.0	4.0	6.0	3.37	0.75	9.12	11.13	13.14
939_m	3.24	2.1	4.3	6.4	2.87	0.75	9.01	11.16	13.31
939_mg	3.59	1.1	2.3	3.4	2.88	0.75	8.35	9.47	10.60
943_n	2.31	3.3	6.5	9.8	3.30	0.75	9.62	12.87	16.13
949_cdd	1.99	2.1	4.2	6.3	2.46	0.75	7.28	9.37	11.45
949_n	1.86	2.2	4.5	6.7	2.23	0.75	7.08	9.31	11.55
955_ac	1.95	2.5	5.1	7.6	1.62	0.75	6.87	9.42	11.96
955_dvs	2.00	0.5	0.9	1.4	1.54	0.75	4.74	5.20	5.65
956_dvs	0.67	6.2	12.3	18.5	0.70	0.75	8.29	14.46	20.64
957_n	3.00	1.8	3.5	5.3	3.16	0.75	8.67	10.43	12.19
959_m	2.95	2.6	5.1	7.7	2.91	0.75	9.16	11.71	14.26
960_sji	2.97	2.7	5.4	8.2	2.18	0.75	8.62	11.35	14.07
961_a	2.11	1.6	3.3	4.9	1.32	0.75	5.82	7.47	9.11
961_dvs	1.91	1.8	3.6	5.3	1.17	0.75	5.61	7.39	9.17
962_ac	1.94	1.8	3.6	5.4	1.71	0.75	6.20	8.00	9.81
962_cuma	1.27	0.5	1.0	1.5	1.17	0.75	3.70	4.22	4.73
962_dvs	1.39	3.3	6.7	10.0	0.57	0.75	6.04	9.39	12.73
963_n	2.15	4.2	8.4	12.6	3.14	0.75	10.22	14.41	18.59
964_im	2.62	2.4	4.9	7.3	2.04	0.75	7.86	10.30	12.75
965_cdd	2.19	2.2	4.4	6.7	2.64	0.75	7.80	10.02	12.25
965_n	2.72	1.3	2.5	3.8	3.03	0.75	7.74	8.99	10.25
965_sj	2.48	0.3	0.5	0.8	2.78	0.75	6.27	6.53	6.79
966_sji	3.08	2.0	3.9	5.9	2.09	0.75	7.89	9.86	11.84
967_n	2.49	2.2	4.4	6.5	3.43	0.75	8.85	11.03	13.21
968_dvs	1.00	2.6	5.3	7.9	0.61	0.75	5.00	7.64	10.29
968_t	1.55	2.2	4.5	6.7	1.35	0.75	5.89	8.12	10.35



969_dvc	1.53	2.8	5.5	8.3	2.52	0.75	7.56	10.31	13.07
969_dvn	1.71	1.9	3.9	5.8	2.69	0.75	7.10	9.05	11.00
969_sji	3.03	1.5	3.0	4.5	2.12	0.75	7.39	8.88	10.37
970_np	0.48	5.5	11.0	16.6	1.83	0.75	8.58	14.10	19.62
971_t	1.69	3.6	7.2	10.8	1.57	0.75	7.60	11.19	14.79
972_a	2.25	1.4	2.9	4.3	0.99	0.75	5.43	6.88	8.32
972_dvs	1.51	2.8	5.6	8.4	0.57	0.75	5.62	8.41	11.19
973_dvc	0.28	5.3	10.5	15.8	1.15	0.75	7.43	12.68	17.93
974_8a	3.03	1.3	2.6	3.9	3.92	0.75	8.99	10.28	11.57
974_spp	2.82	1.6	3.3	4.9	3.60	0.75	8.82	10.46	12.10
975_pn	2.42	0.5	1.0	1.5	3.85	0.75	7.52	8.03	8.54
976_an	1.70	4.5	9.0	13.5	2.60	0.75	9.55	14.04	18.53
976_n	1.89	1.9	3.9	5.8	2.94	0.75	7.51	9.45	11.39
977_np	2.36	3.8	7.5	11.3	3.06	0.75	9.92	13.68	17.43
977_pn	2.55	1.1	2.3	3.4	3.92	0.75	8.37	9.52	10.67
978_ac	2.36	0.6	1.2	1.8	1.92	0.75	5.63	6.23	6.83
978_cc	2.49	2.0	3.9	5.9	1.76	0.75	6.95	8.90	10.85
Alcaldía	281.50	318.7	637.4	956.2	320.52	105.75	1026.49	1345.21	1663.92
Promedio	2.00	2.3	4.5	6.8	2.27	0.75	7.28	9.54	11.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3A. Emisiones totales generadas en el proceso de recolección

Colonia	Distancia km	Emisiones de kg CO <sub>2</sub> r=1.5	Emisiones de kg CO <sub>2</sub> r=2	Emisiones de kg CO <sub>2</sub> r=2.5
8 de Agosto	8.99	198.34	148.76	119.01
Acacias	10.50	200.98	150.73	120.59
Actipan	17.20	212.63	159.47	127.58
Álamos	50.74	277.24	203.24	162.59
Albert	7.21	195.24	146.43	117.14
Américas Unidas	11.70	203.06	152.30	121.84
Ampliación Nápoles	9.55	199.31	149.48	119.59
Atenor Salas	8.64	197.73	148.30	118.64
Carmen	7.13	195.10	146.33	117.06
Centro Urbano Miguel Alemán	3.70	189.14	141.86	113.49
Ciudad de los deportes	14.33	207.64	155.73	124.58
Crédito Constructor	6.95	194.79	146.09	116.87
Del lago	5.97	193.08	144.81	115.85
Del Valle Centro	44.25	259.69	194.77	155.81
Del Valle Norte	36.01	245.35	184.01	147.21
Del Valle Sur	31.56	237.61	178.21	142.57
Ermita	7.29	195.39	146.54	117.23
Extremadura Insurgentes	6.85	194.61	145.96	116.77
General Anaya	6.86	194.63	145.97	116.78

Independencia	6.00	193.14	144.86	115.89
Insurgentes San Borja	11.52	202.74	152.06	121.65
Insurgentes Mixcoac	14.77	208.40	156.30	125.04
Iztaccihuatl	10.08	200.23	150.17	120.14
Josefa Ortiz de Domínguez	12.45	204.36	153.27	122.62
Letrán Valle	16.56	211.51	158.64	126.91
Merced Gómez	8.35	197.22	147.92	118.33
Miguel Alemán	6.70	194.37	145.77	116.62
Miravalle	7.11	195.07	146.30	117.04
Mixcoac	17.43	213.02	159.77	127.81
Moderna	21.90	220.80	165.60	132.48
Nápoles	33.96	241.78	181.34	145.07
Narvarte Oriente	54.41	277.37	208.03	166.42
Narvarte Poniente	66.22	297.93	223.44	178.76
Narvarte Unidad IMSS	6.39	193.82	145.37	116.29
Nativitas	17.00	212.27	159.20	127.36
Niños Héroes	20.53	218.42	163.82	131.05
Noche Buena	7.08	195.02	146.26	117.01
Nonoalco	23.11	222.90	167.18	133.74
Periodista	5.93	193.01	144.76	115.81
Piedad Narvarte	30.06	235.00	176.25	141.00
Portales Norte	28.11	231.61	173.71	138.97
Portales Oriente	12.61	204.63	153.48	122.78
Portales sur	39.34	251.15	188.37	150.69
Postal	13.95	206.97	155.23	124.18
Residencial Emperadores	4.22	190.04	142.53	114.03
San José Insurgentes	22.41	221.69	166.27	133.01
San Juan	12.82	205.01	153.76	123.01
San Pedro de los Pinos Oriente	24.84	225.92	169.44	135.55
San Pedro de los Pinos Poniente	9.12	198.58	148.93	119.15
San Simón	16.39	211.21	158.41	126.73
Santa Cruz Atoyac	13.85	206.80	155.10	124.08
Tlacoquemecatl	16.43	211.29	158.47	126.77
Unidad Habitacional Esperanza	7.28	195.37	146.53	117.22
Vértiz Narvarte	19.23	216.16	162.12	129.70
Villa de Cortés	16.71	211.77	158.83	127.06
Xoco	6.17	193.44	145.08	116.06
Zacahuitzco	7.07	195.00	146.25	117.00
BENITO JUAREZ	963.49	12096.62	9067.78	7254.22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3.1A. Distancia del total de la GRSU

Tipo de gestión	Tratamiento	Ubicación	Mejor caso (km)	Caso promedio (km)	Peor caso (km)
Recolección			1028.7	1666.1	8460
Tratamiento	Composta	Bordo Poniente	138	172.5	207
	Planta de selección	Santa Catarina	54	81	108
		Aragón	108	126	144
	plantas de compactación	Iztapalapa	40	40	40
	disposición final	La Cañada	284	284	284
		Chicoloapan	316	316	316
		Cuautitlán	98	98	98
		El Milagro	192	192	192
	P_compost_DF	Cañada	40	40	40
	comp_selecc	Santa Catarina	33	33	33
		total tratamiento	1303	1382	1462
Disposición final	P_selecc_DF	Aragón	94	94	94
		Santa Catarina	37	37	37
		total de disposición final	131	131	131
Total			2463	3180	10053

Fuente: Elaboración propia

Nota: Para el caso de la recolección de los residuos se refiere al 1°, 2° y 3er escenario

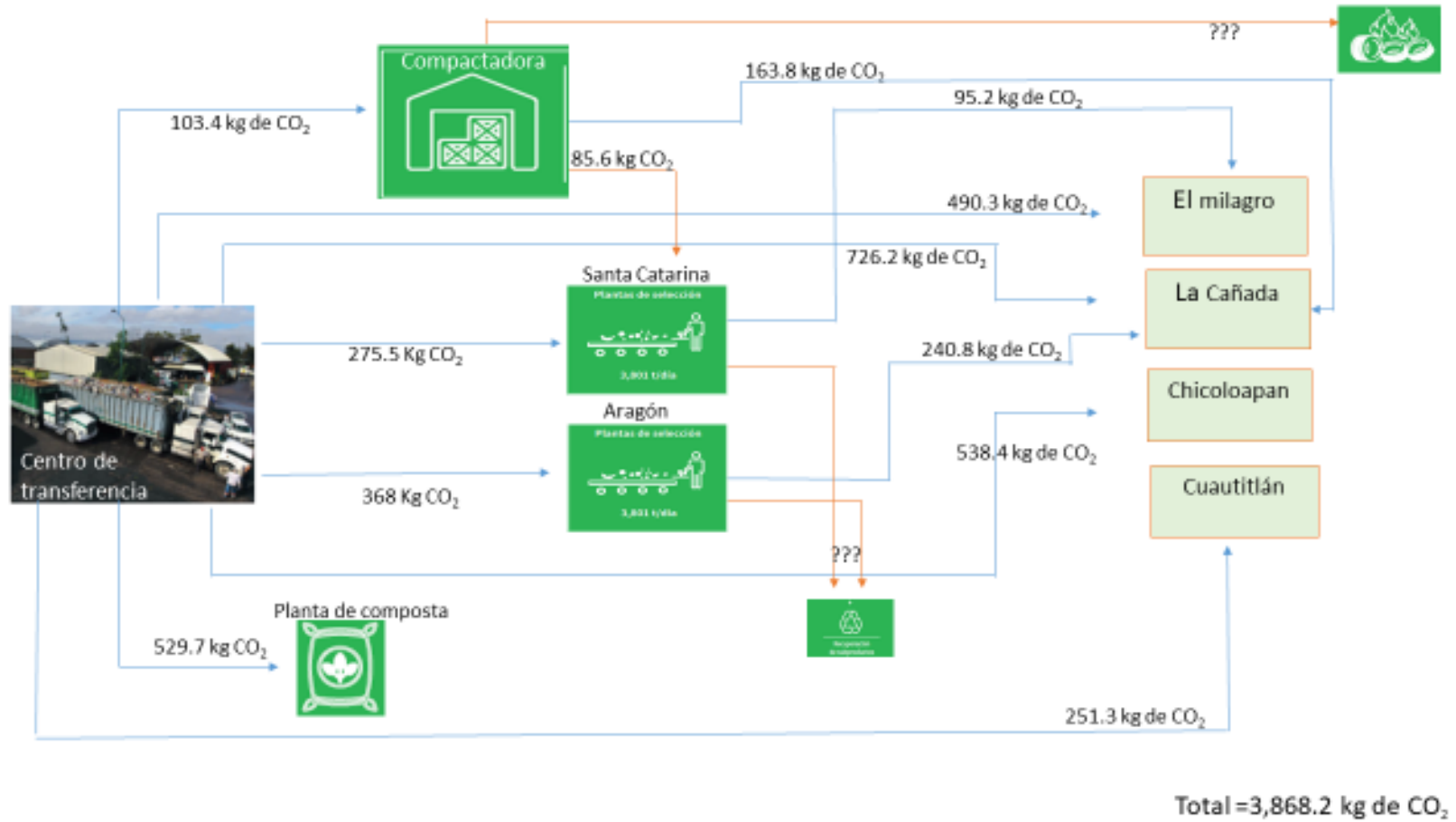
Para el caso del tratamiento el caso medio se hizo con el promedio de los dos extremos

Tabla 4.4A. Distancia, emisiones de CO<sub>2</sub> y CSC en la GRSU

		Distancia		Emisiones CO <sub>2</sub>		Viajes	CSC	
		Km	Km	ton	ton	#	\$	\$
ET- Pcomposta	Bordo Poniente	138.0	207.0	0.4	0.5	2 o 3	223.7	335.5
ET- Planta de selección	Santa Catarina	53.9	107.5	0.1	0.3	1 o 2	87.3	174.6
	Aragón	108.0	144.0	0.3	0.4	3 o 4	175.0	233.4
ET-Plantas de compactación	Iztapalapa	40.4	40.4	0.1	0.1	2	65.5	65.5
ET-Disposición final	La Cañada	283.8	283.8	0.7	0.7	3	460.0	460.0
	Chicoloapan	315.6	315.6	0.5	0.5	2	341.0	341.0
	Cuautitlán	98.2	98.2	0.3	0.3	1	159.2	159.2
	El Milagro	191.6	191.6	0.5	0.5	2	310.5	310.5
Pcomposta-DF	Cañada	40.2	40.2	0.2	0.2	2	103.7	103.7
Pselecc-DF	Aragón	94.1	94.1	0.2	0.2	1	152.5	152.5
	Santa Catarina	37.2	37.2	0.1	0.1	1	60.3	60.3
Pcompact-Pselección	Santa Catarina	33.5	33.5	0.1	0.1	1	54.2	54.2
Total		1,434	1,593	3.5	3.9	21 a 24	2192.8	2450.3

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2A Mapa de emisiones de CO<sub>2</sub> (estimación alta)



Fuente: Elaboración propia

ENTREVISTA REALIZADA EL 5 DE DICIEMBRE DE 2019

AL JEFE DE LIMPIA DE LA ALCALDÍA BENITO JUÁREZ

Sr. Javier Armenta Servín

1. ¿Qué tipo de camiones utilizan para la recolección de los residuos?  
Hay modelos de 1979 y los más recientes son de 2010
2. ¿Cuánto tiempo dura una la recolección?  
No hay una estadística, es variable, depende de la ruta y el tipo de camión
3. ¿Cuánto recolecta un camión?  
8 toneladas por camión
4. ¿En las paradas están andando los camiones o se apagan?  
Los camiones no se apagan, están trabajando todo el día
5. ¿Cuánto gastan en pesos en la recolección total?  
No tengo ese dato
6. ¿Cuánto gastan en litros de diésel o gasolina?  
Se suministra 40 litros de diésel o gasolina diarios
7. ¿Qué porcentaje de los camiones son de gasolina y qué porcentaje son diésel?  
95% diésel y 5% gasolina
8. ¿A cuánto asciende la depreciación de un camión al año?
9. ¿Se realiza servicio a los camiones?  
Se realiza un servicio en el taller mecánico contratado debe pasar la verificación semestral
10. ¿A cuánto asciende el servicio?
  
11. ¿Cuánto cuesta remplazar la flota de camiones?  
Un camión nuevo cuesta \$2,400, 000
12. ¿Qué porcentaje del personal de los camiones recolectores son voluntarios?  
No existen voluntarios, sin embargo, el responsable del camión en algunas ocasiones invita a trabajar a familiares (pero esto está fuera de la nómina)
13. ¿Cuántos salarios mínimos ganan los choferes de camiones?
  
14. ¿Cuántos son del personal de transferencia?  
20 personas pagadas por la CDMX
15. ¿Cuántos salarios mínimos ganan?
  
16. ¿Cuántos son de oficinas y revisor?  
25 personas  
¿Cuántos salarios mínimos ganan?
  
17. ¿El sistema de transferencia de los residuos esta concesionado?  
Si para traslados a su destino final
18. ¿Porque hay trabajadores de una empresa diferente a la CDMX en el centro de transferencia?

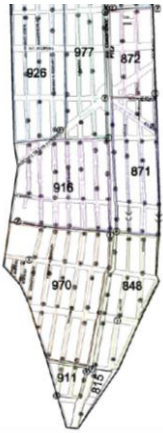
Porque existe una concesión

19. ¿Cuánto cuesta la concesión del servicio que realiza la empresa?
20. ¿Los vehículos de transferencia son del gobierno CDMX o son concesionados?  
Los vehículos son de la alcaldía
21. ¿Cuáles son los mayores problemas a los que se enfrenta la recolección?  
Que se ocupan los espacios destinados a paradas, las ha tomado como estacionamientos de bicicletas o bien como estacionamiento por parquímetro.
22. ¿se puede mejorar el servicio?  
Si, a través de nuevas unidades por parte del gobierno  
Con educación por parte del usuario (campañas de separación y de concientización de no tirar residuos en las calles o en los contenedores como parques o centros públicos.

Figuras 4.3A. Rutas de la recolección en la alcaldía Benito Juárez

rez

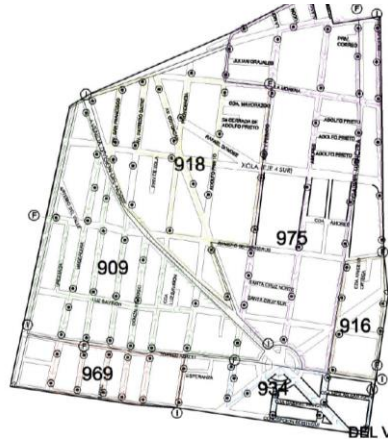
Narvarte Poniente



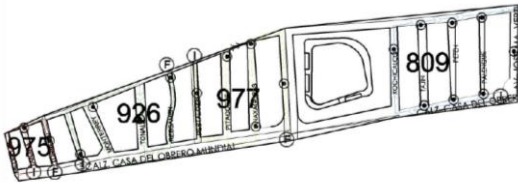
Nápoles



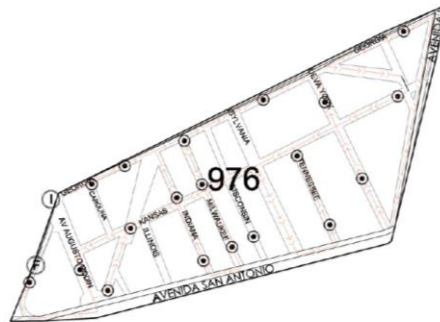
Del Valle Norte



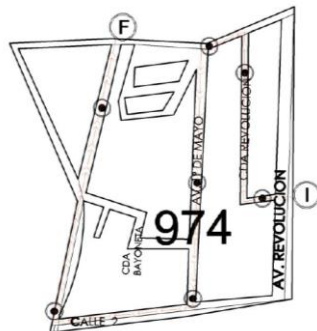
Piedad Narvarte



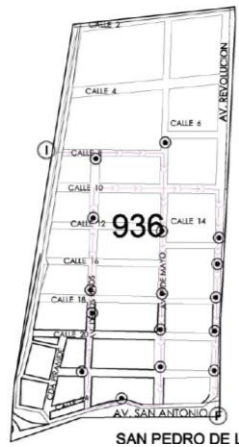
Ampliación Nápoles



San Pedro de los Pinos O 8 de agosto



San Pedro de los Pinos P

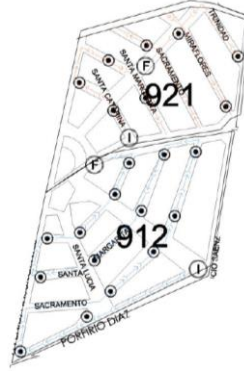




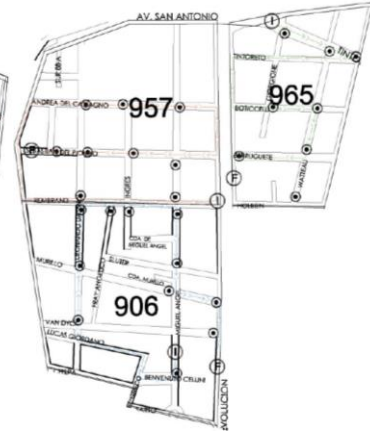
Del valle centro



Insurgentes San Borja



Nonoalco



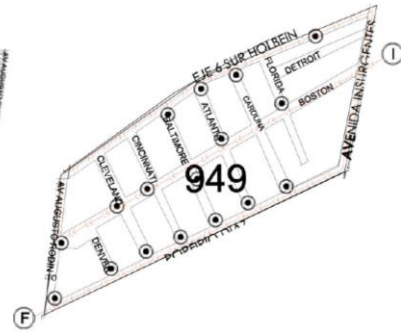
Ciudad de los deportes



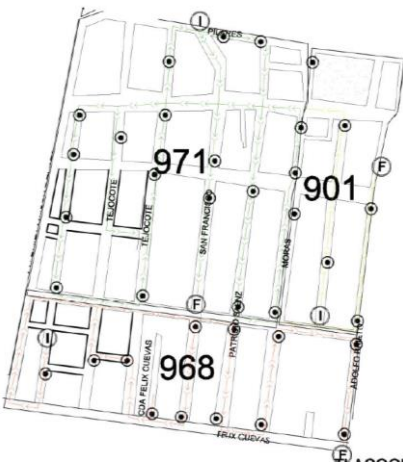
San Juan



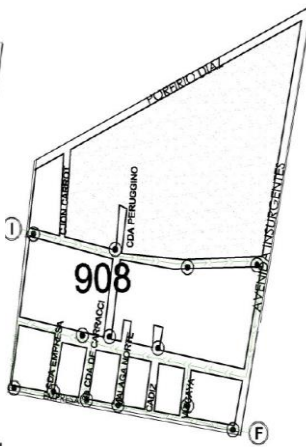
Noche Buena



Tlacoquemecatl



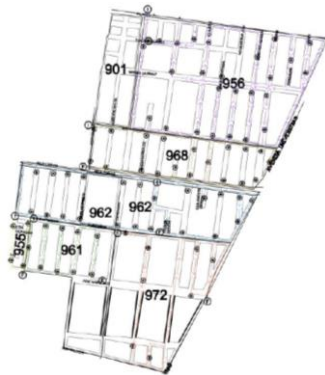
Extremadura Insurgentes



Centro Urbano Miguel



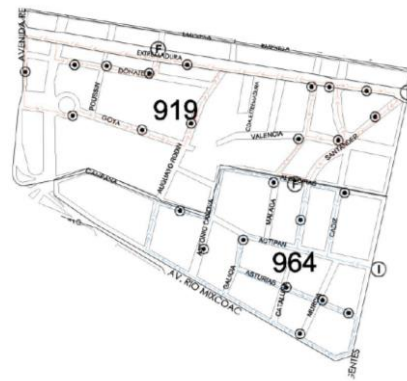
Del Valle Sur



San José Insurgentes



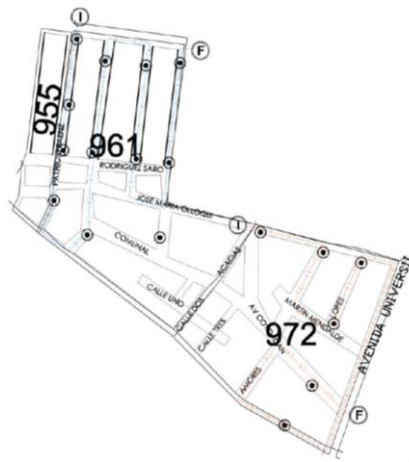
Insurgentes Mixcoac



Mixcoac



Acacias



Actipan



Xoco



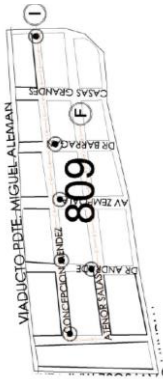
Crédito constructor



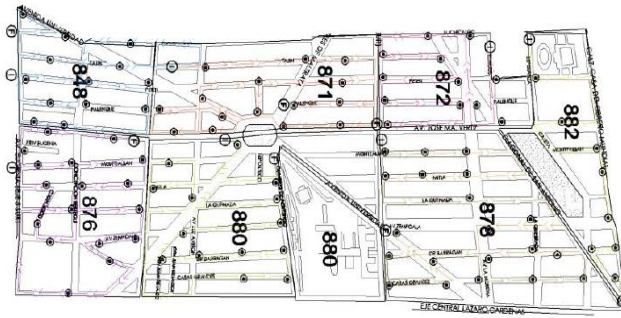
Merced Gómez



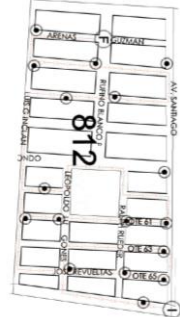
Atenor Salas



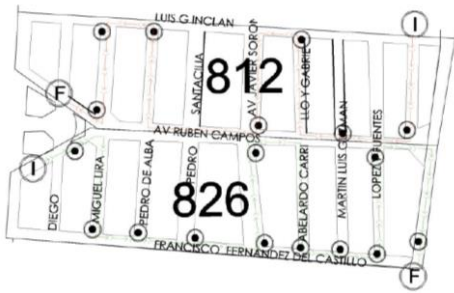
Narvarte Oriente



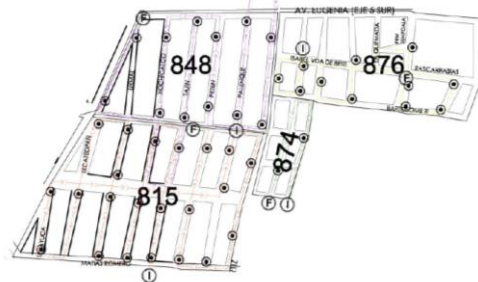
Iztaccihuatl



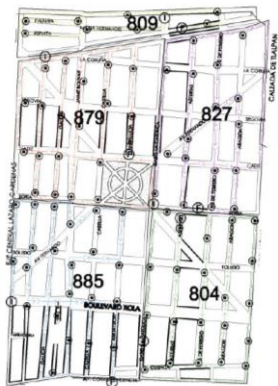
Villa de Cortes



Vertiz Narvarte



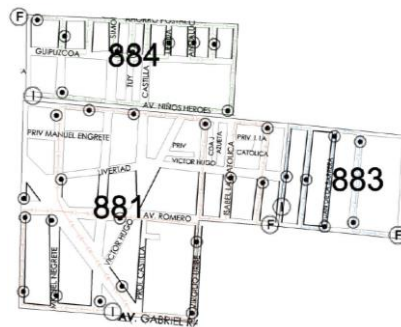
Álamos



Postal



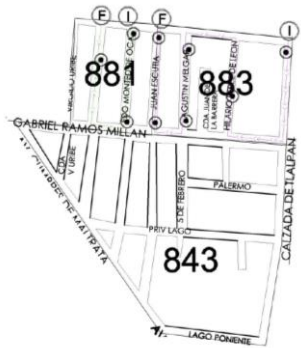
Niños Héroes



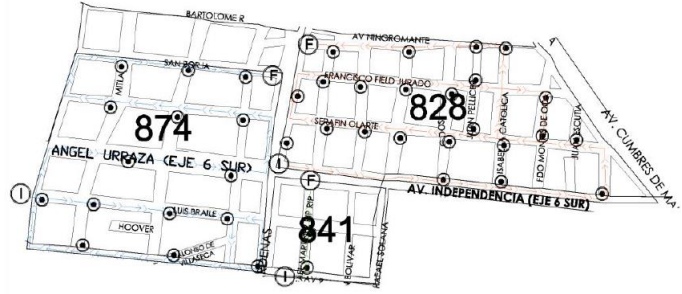
Del lago



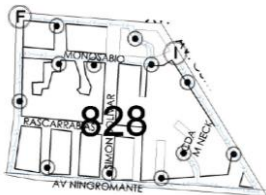
Américas Unidas



Independencia



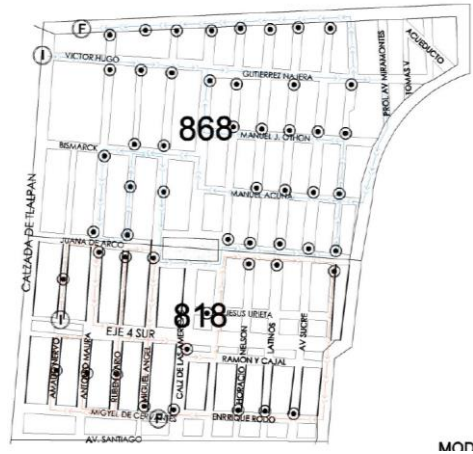
Periodista



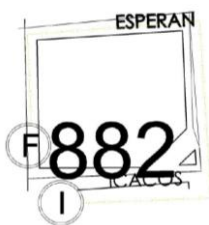
Nativitas



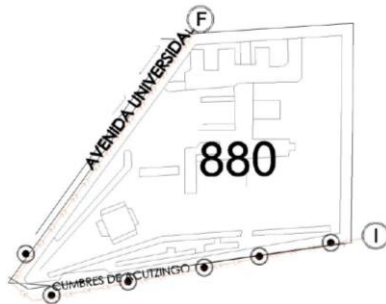
Moderna



Unidad Habitacional Esperanza



Narvarte IMSS



Miguel Alemán

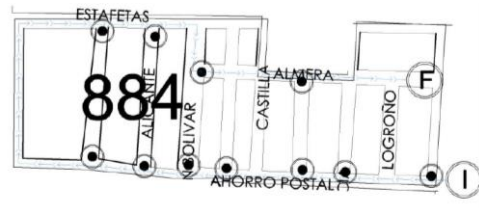
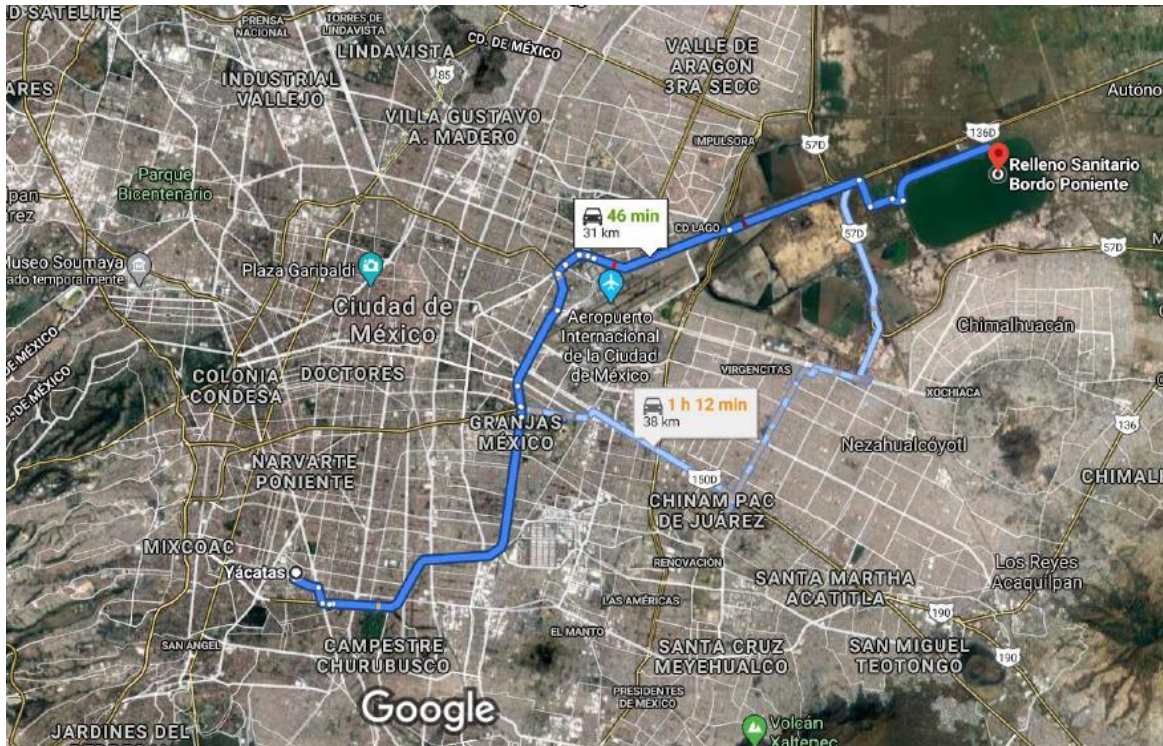




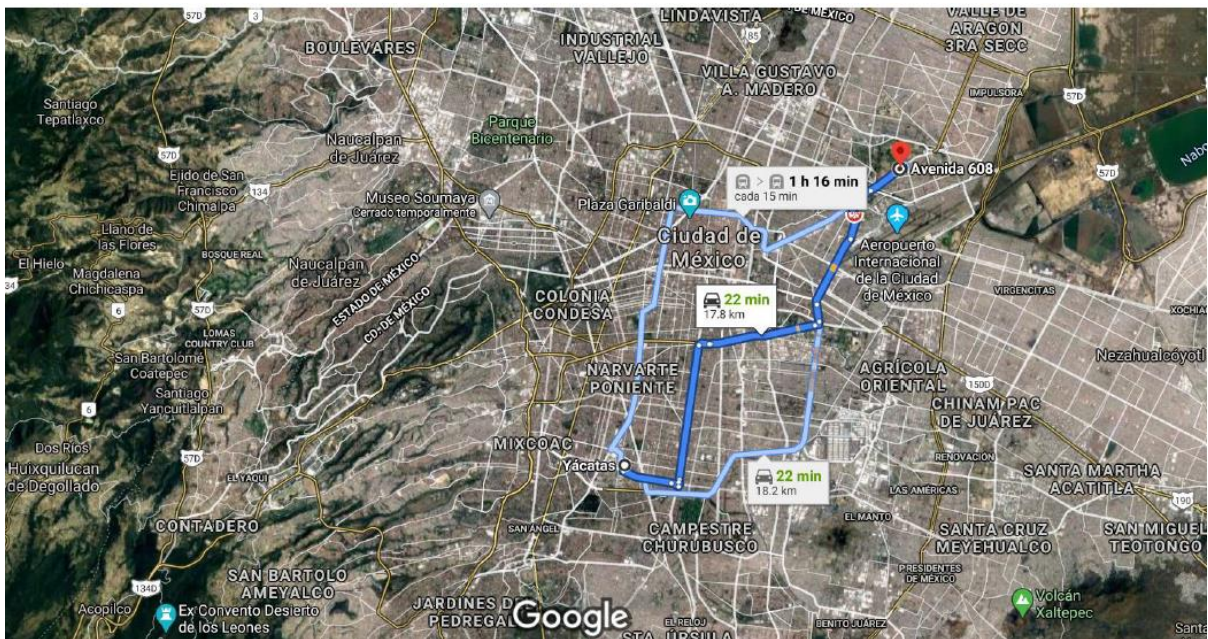


Figura 4.4A. Mapa del Centro de transferencia-Bordo Poniente



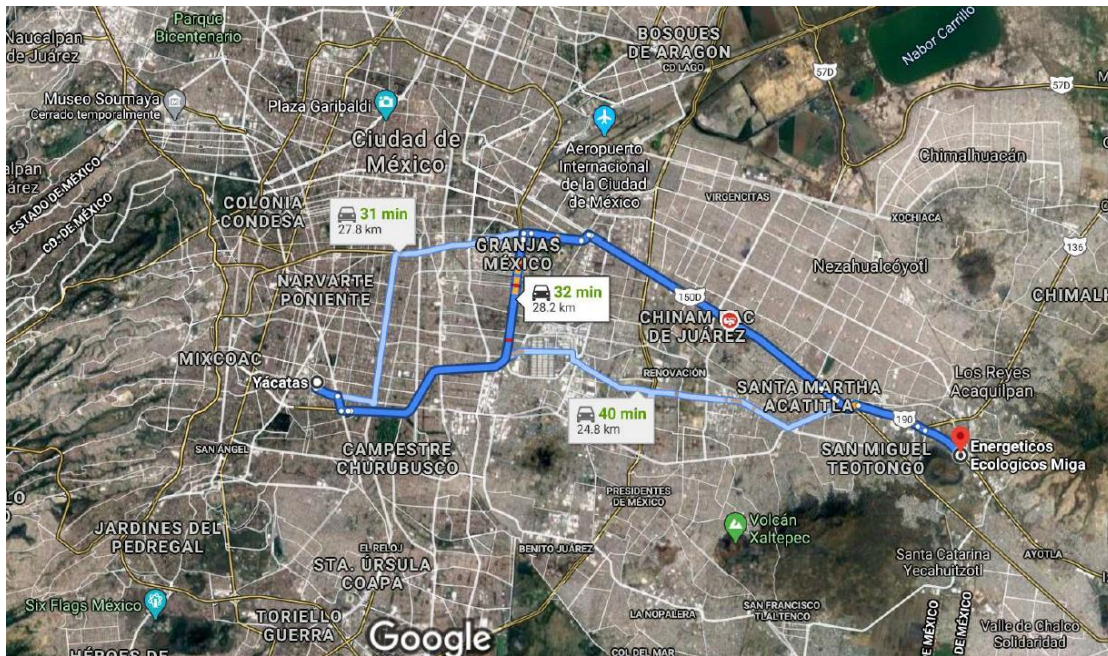
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics,Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.5A. Mapa de la Planta de selección San Juan de Aragón



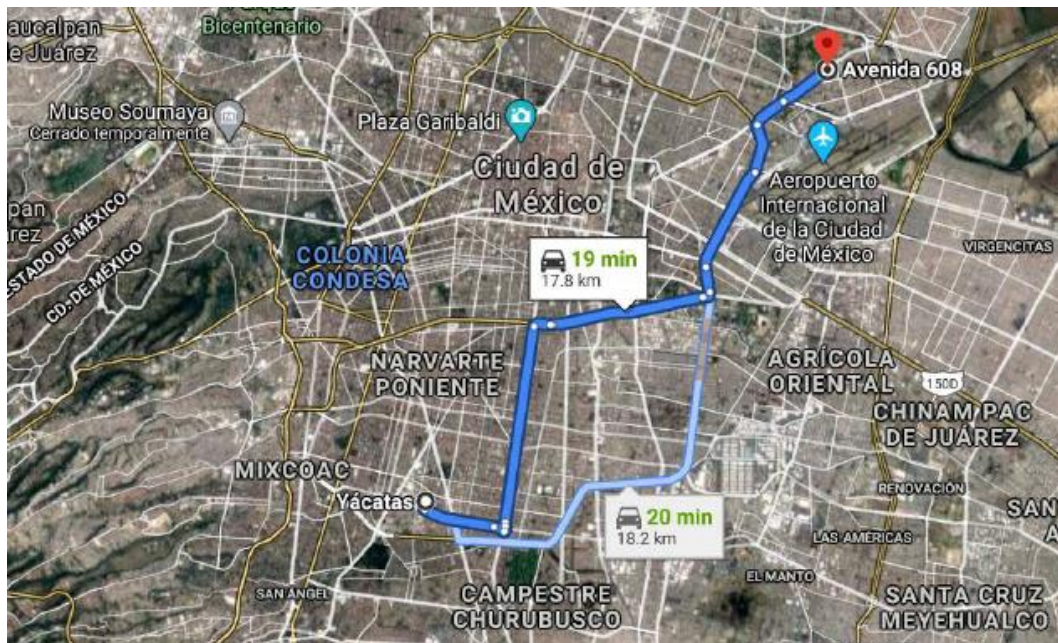
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics,Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.6A. Mapa de la Planta de selección San Juan de Aragón a la Planta de selección Santa Catarina



Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics,Datos del mapa© 2020 INEGI

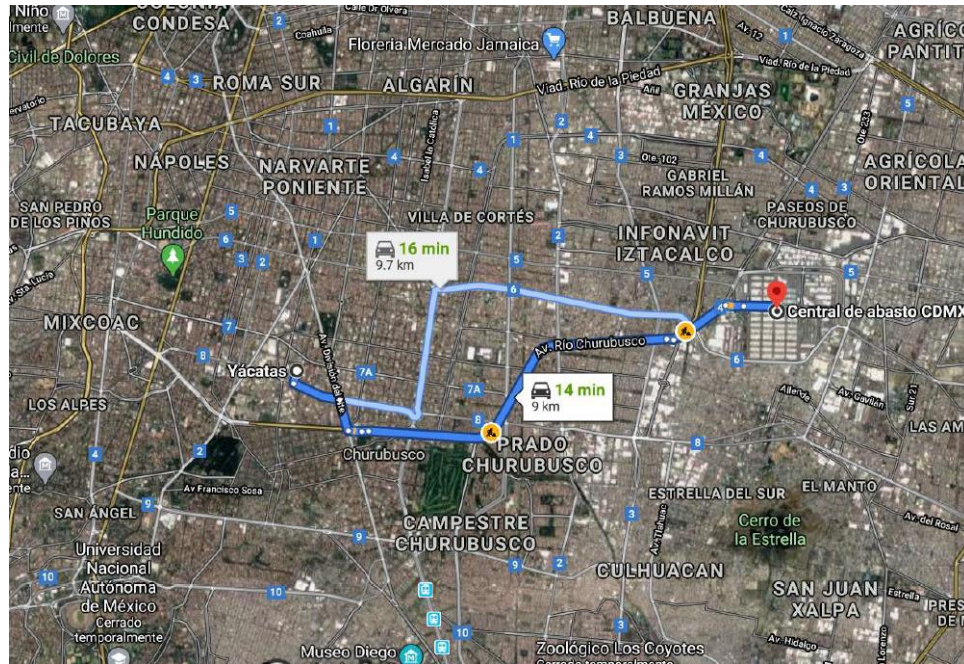
Figura 4.7A. Planta de Compactación Aragón



Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics,Datos del mapa© 2020 INEGI

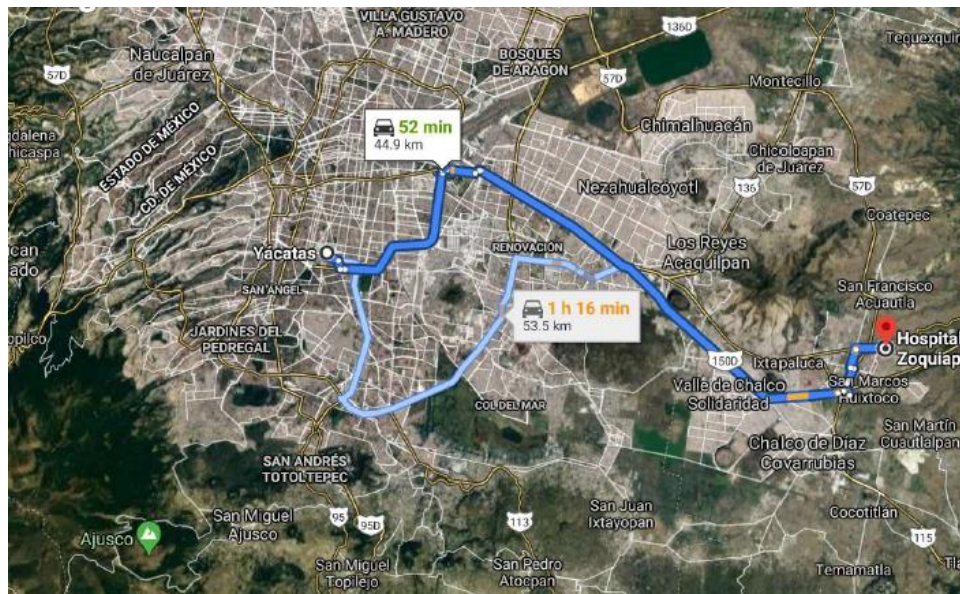


Figura 4.8A. Planta de Compactación Aragón a la Planta de Compactación Central de Abastos



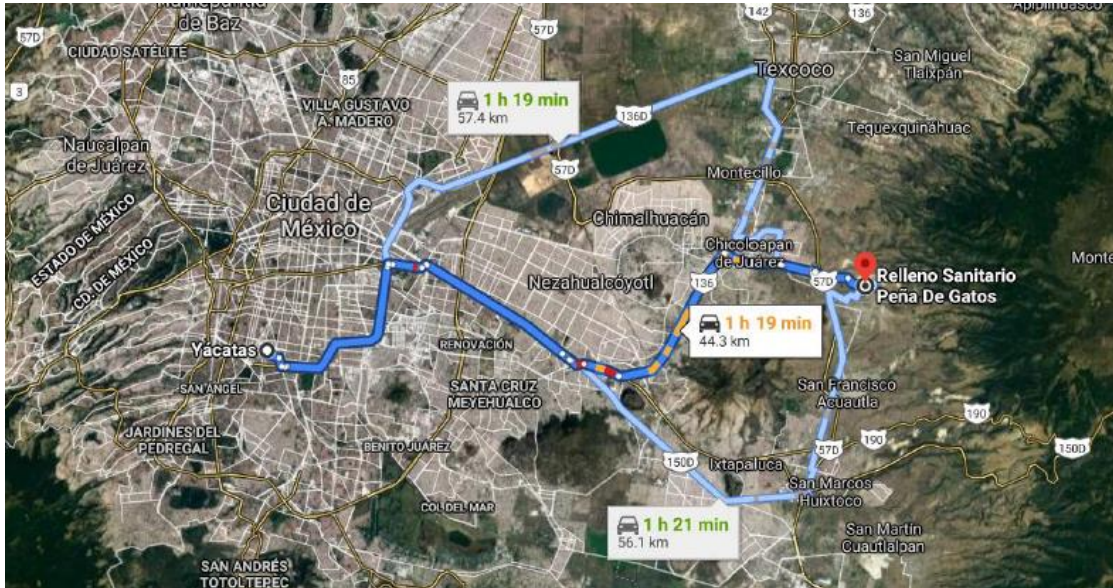
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics,Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.9A. Disposición final “La Cañada”



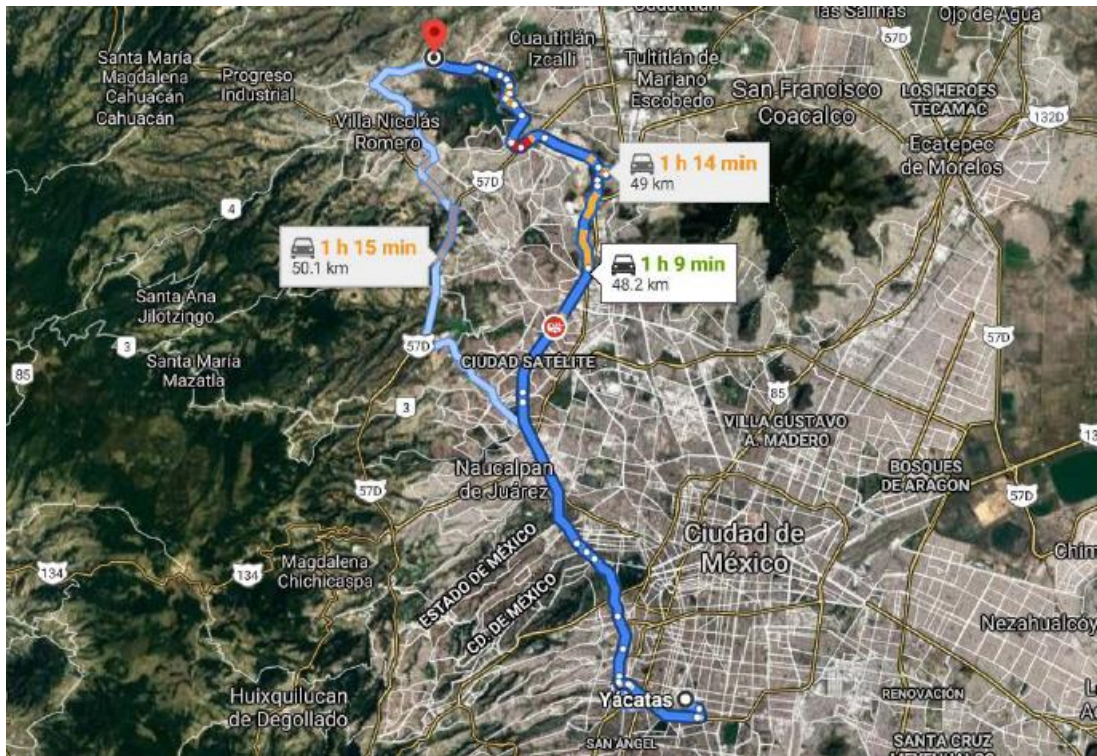
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics,Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.10A. Disposición final “Chicoloapan (Peña de los Gatos)”



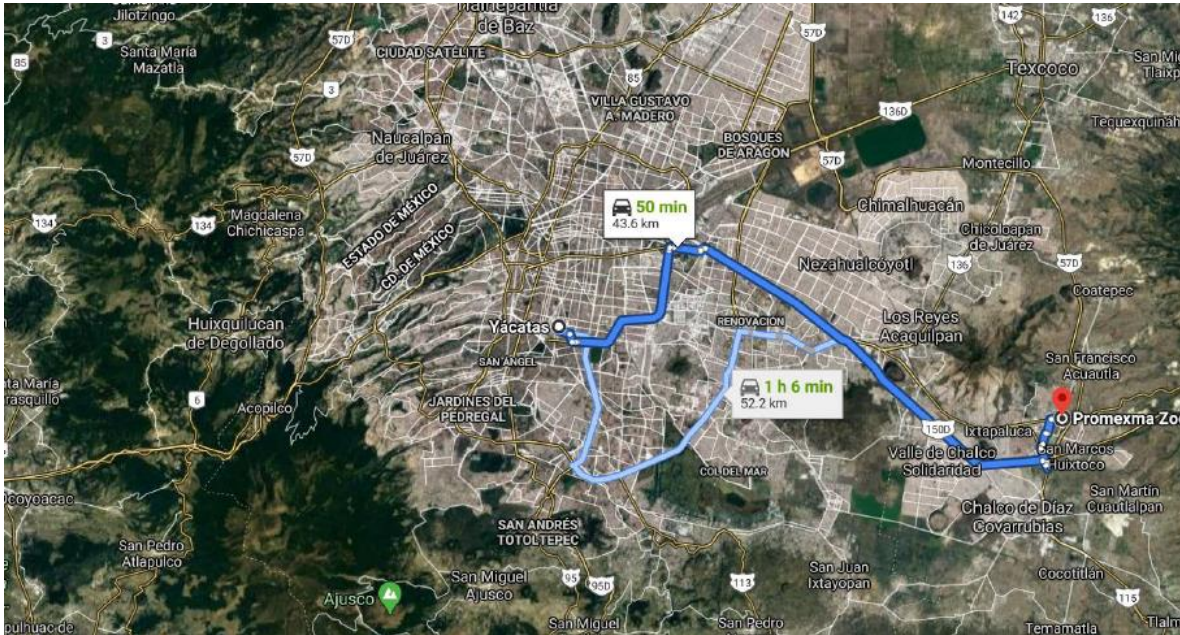
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.11A. Disposición final “Cuautitlán Izcalli”



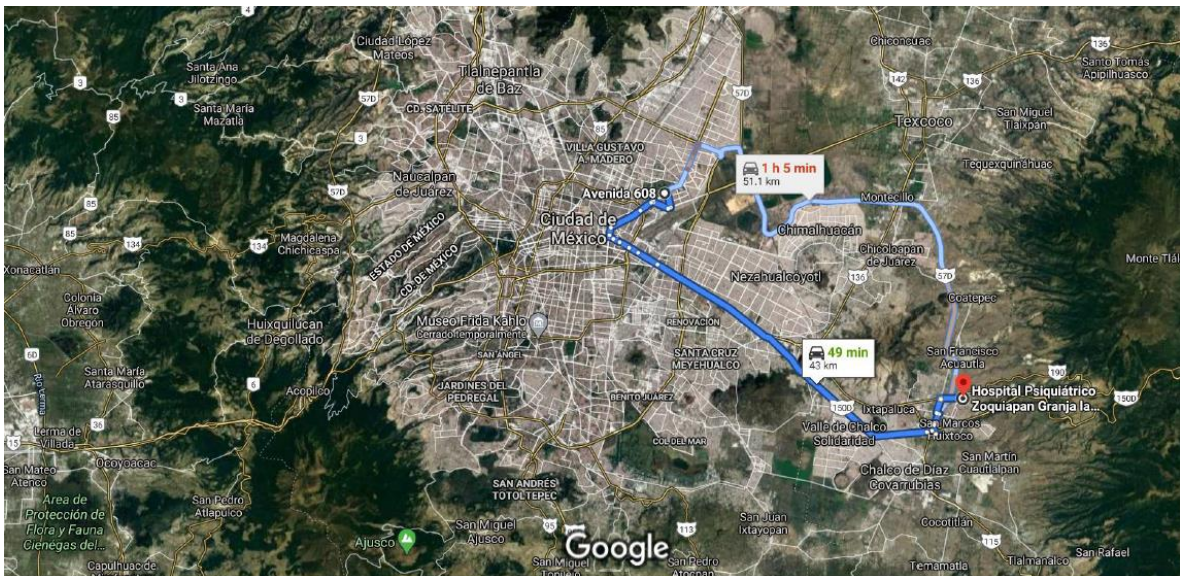
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.12A. Disposición final “Mina el Milagro”



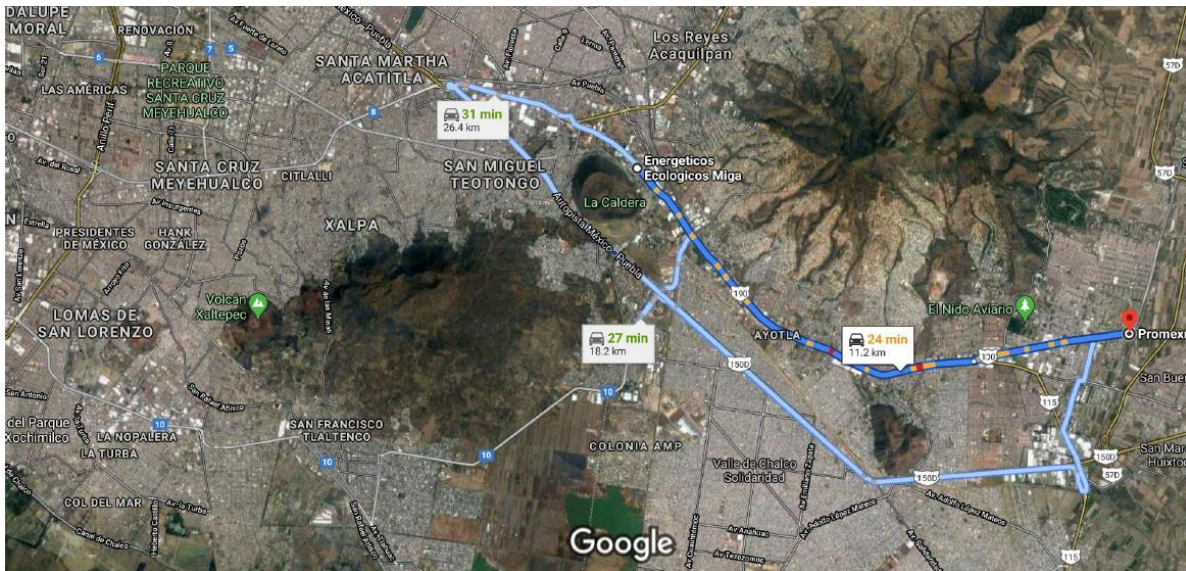
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.13A. Planta de selección Aragón al relleno sanitario la Cañada



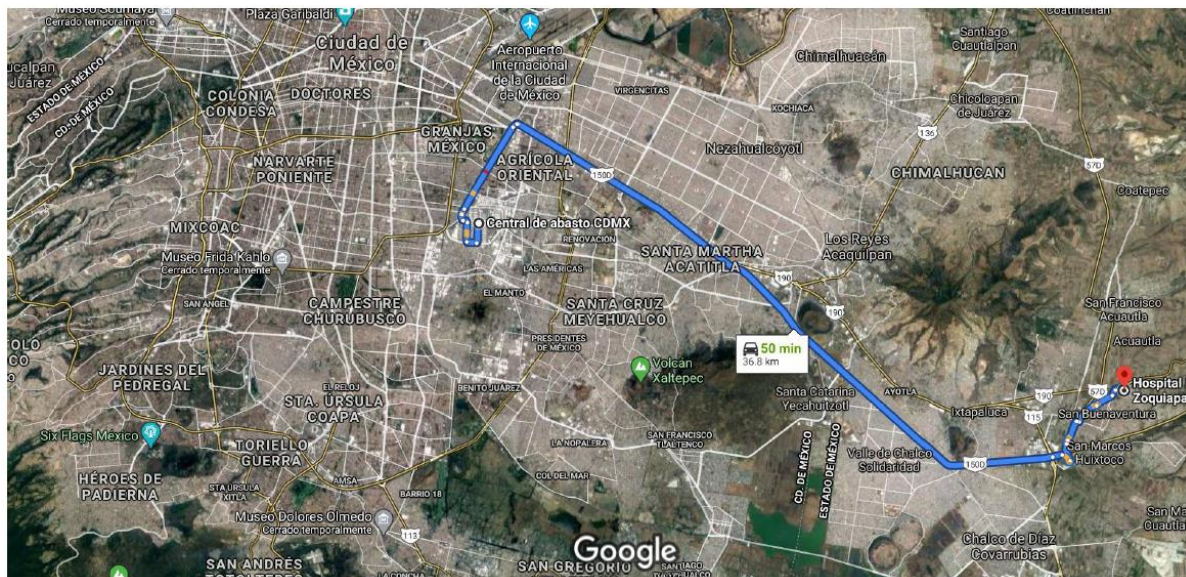
Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.14A. Planta de selección Santa Catarina al relleno sanitario el Milagro



Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI

Figura 4.15A. Planta de compactación al relleno sanitario de la Cañada



Fuente: Imágenes©2020 TerraMetrics, Datos del mapa© 2020 INEGI