



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD DE BIOLOGÍA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN**  
**FINAL DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DE MANEJO ESPECIAL MEDIANTE**  
**ACV**

Tesis que para obtener el grado de  
**MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presenta

**MARINA VELARDE SÁNCHEZ**

Asesora

**DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES**

Co-asesora

**Dra. Hilda Rosalba Guerrero García Rojas**

Morelia Michoacán Septiembre de 2018



## Análisis de Ciclo de Vida

CAPÍTULO I .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
1 MARCO TEÓRICO.....	9
1.1 Residuos hospitalarios .....	9
1.2 Generación de residuos hospitalarios de manejo especial .....	10
1.3 Gestión integral de residuos hospitalarios de manejo especial.....	11
1.3.1 Etapa de Manejo Interno de Residuos Hospitalarios de Manejo Especial .....	12
1.3.2 Etapa de manejo externo de residuos hospitalarios .....	13
1.4 Ley general de salud.....	16
1.5 Marco legal en materia de residuos de manejo especial .....	17
1.6 Metodologías de evaluación de impacto ambiental.....	18
1.7 Análisis de ciclo de vida .....	31
1.7.1 Familia de normas ISO 14000 .....	33
1.7.2 Definición de objetivos y alcance .....	34
1.7.3 Análisis del inventario de ciclo de vida.....	34
1.7.4 Evaluación de impactos de ciclo de vida .....	35
1.7.5 Interpretación del Ciclo de Vida .....	37
1.8 ANTECEDENTES .....	37
1.8.1 Impacto ambiental del sector hospitalario.....	37
1.8.2 Evaluación de los impactos ambientales de la gestión de residuos hospitalarios.....	38
1.8.3 Aplicación de la evaluación del ciclo de vida y análisis de económico en el manejo de desechos de atención de salud. ....	38
1.8.4 Evaluaciones comparativas del ciclo de vida de los tratamientos de incineración y no incineración de residuos médicos .....	39
1.8.5 Análisis del potencial de reciclaje de los desechos plásticos médicos ..	40
1.8.6 Impacto ambiental y financiero de un programa de reciclaje hospitalario.....	41
1.8.7 Evaluación del ciclo de vida comparativo de máscaras laríngeas .....	42
CAPITULO II .....	44
2.JUSTIFICACIÓN .....	45
2.1 Conceptualización.....	46
2.2 Hipótesis .....	46
2.3 Objetivos .....	46
2.3.1 Objetivo general.....	46
2.3.2 Objetivos específicos .....	46



## Análisis de Ciclo de Vida

2.4 Plan general de trabajo .....	41
CAPITULO III .....	42
3 Desarrollo de análisis de ciclo de vida .....	43
3.1 Definición del objetivo y alcance .....	45
3.1.2 Objetivo del análisis de ciclo de vida .....	45
3.1.3 Alcance del análisis de ciclo de vida .....	45
3.1.4 Metodología de evaluación de impacto del ciclo vida .....	49
3.1.5 Tipos y fuentes de datos del inventario.....	49
3.2 Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV) .....	52
3.3 Evaluación de impacto del ciclo de vida.....	61
3.3.1 Clasificación del impacto ambiental de la gestión de residuos hospitalarios .....	61
3.3.2 Caracterización del impacto ambiental global.....	63
3.3.3 Impacto ambiental por categoría .....	66
3.4 Interpretación del análisis de ciclo de vida.....	87
3.4.1 Identificación de aspectos significativos sobre el impacto ambiental.....	87
3.4.2 Análisis de incertidumbre .....	90
3.4.3 Conclusiones del análisis de ciclo de vida .....	105
3.4.4 Limitaciones y recomendaciones del análisis de ciclo de vida.....	106
CAPITULO IV .....	107
4 Métodos de valoración para servicios ambientales .....	108
4.1 Tarifas de usuario .....	109
4.1.1 Impuestos orientados a la internalización de las externalidades .....	109
4.1.2 Subsidios .....	109
4.1.3 Programas de depósitos-reembolso .....	110
4.1.4 Creación o facilitación de mercado .....	110
4.1.4 Costo efectividad .....	111
4.2 Desarrollo metodológico para evaluación de costo efectividad.....	112
4.2.1 Definición del escenario problema .....	112
4.2.2 Objetivos.....	112
4.2.3 Descripción de proyectos de gestión de RHME.....	112
4.2.4 Medición de costos pos sistema de gestión.....	116
4.2.5 Proyección de generación por categoría de residuos hospitalarios de manejo especial .....	120
4.2.6 Estimación de ganancias por sistema de recuperación mixto .....	122
4.2.7 Estimación de costos por gestión de RHME .....	126



## Análisis de Ciclo de Vida

4.2.8 Costos generales por proyecto de gestión de residuos .....	129
4.3 Análisis de costo efectividad .....	129
4.3.1 Relación costo efectiva .....	129
4.3.2 Análisis incremental de los sistemas de gestión actual y propuesto....	130
4.3.3 Conclusiones .....	132
4.3.4 Limitaciones y recomendaciones .....	133
5 Discusión.....	135
6 Limitaciones .....	139
7 Conclusiones.....	140
Bibliografía .....	143
ANEXOS .....	148



## Análisis de Ciclo de Vida

### Tablas

Tabla 1 Clasificación de los residuos hospitalarios .....	10
Tabla 2 Tasa de generación de los RHME.....	11
Tabla 3 Ventajas y desventajas de la EIA .....	20
Tabla 4 Categorías de impacto ambiental .....	35
Tabla 5 Composición de los RHME.....	45
Tabla 6 Fuentes de información del ICV. Escenarios de residuos .....	50
Tabla 7 Inventario de ciclo de vida transporte .....	53
Tabla 8. ICV de disposición de RHME en RESA.....	55
Tabla 9 Proceso de esterilización.....	57
Tabla 10 Inventario de ciclo de vida. Transporte y disposición final de remanentes .....	58
Tabla 11 ICV. Escenario de reciclaje .....	59
Tabla 12 Clasificación de la gestión de los residuos hospitalarios .....	62
Tabla 13. Asuntos significativos del sistema de gestión actual .....	88
Tabla 14. Asuntos significativos del sistema de gestión mixto .....	89
Tabla 15. Modelos de caracterización y bases de datos. Modelación del escenario actual.....	95
Tabla 16. Factores de caracterización por método para el escenario actual .....	99
Tabla 17. Factores de caracterización por método para el escenario mixto .....	102
Tabla 18. Datos de proyección de generación de RHME .....	115
Tabla 19. Datos de maquinaria necesaria para proceso de reciclaje (pelletizado) .....	115
Tabla 20. Estimación de costos para gestión de RSU por día .....	117
Tabla 21. Estimación de costos por capacidad de carga del sistema de gestión mixto.....	120
Tabla 22 Ganancias para de sector de pepena.....	123
Tabla 23. Ganancias de venta de material reciclado (sector privado) .....	126
Tabla 24. Costos del sistema de gestión actual .....	127
Tabla 25. Costos del proceso de esterilización y reciclaje .....	128
Tabla 26. Costos generales de los sistemas de tratamiento para los RHME .....	129
Tabla 272. Comparación de resultados de ACV para RH .....	136

### Figuras

Figura 1 Etapas de la gestión de RHME .....	12
Figura 2 Esquema general de ACV .....	31
Figura 3 Tipos de ACV .....	33
Figura 4 Etapas del ACV .....	33
Figura 5 Límites del sistema del sistema .....	46
Figura 6 Escenarios de disposición final .....	47
Figura 7 Escenario de tratamiento de RHME actual .....	48
Figura 8 Ruta de disposición final .....	52
Figura 9 Estudio de caracterización .....	54
Figura 10 Huella ambiental del escenario actual.....	63
Figura 11 Huella ambiental del escenario mixto.....	63
Figura 12 Potenciales impactos del escenario actual y el escenario mixto .....	65
Figura 13 Impacto a cambio climático (disposición final) .....	66



## Análisis de Ciclo de Vida

Figura 14 impacto a cambio climático (reciclaje).....	67
Figura 15 Impacto a agotamiento de ozono (disposición final).....	67
Figura 16 Impacto a agotamiento de ozono (reciclaje).....	68
Figura 17 Impacto a acidificación terrestre (disposición final) .....	69
Figura 18 impacto a acidificación terrestre (reciclaje) .....	69
Figura 19 Impacto a eutrofización de agua fresca (disposición final).....	70
Figura 20 Impacto a eutrofización de agua fresca (reciclaje) .....	71
Figura 21 Impacto a eutrofización marina (disposición final).....	71
Figura 22 impacto a eutrofización marina (reciclaje) .....	72
Figura 23 impacto a toxicidad humana (disposición final) .....	72
Figura 24 impacto a toxicidad humana (reciclaje) .....	73
Figura 25 impacto a formación de oxidantes fotoquímicos (disposición final) .....	74
Figura 26 impacto a formación de oxidantes fotoquímicos (reciclaje) .....	74
Figura 27 impacto a formación de material particulado (disposición final) .....	75
Figura 28 impacto a formación de material particulado (reciclaje) .....	76
Figura 29 impacto a ecotoxicidad marina (disposición final) .....	76
Figura 30 impacto a ecotoxicidad marina (reciclaje) .....	77
Figura 31 impacto a ecotoxicidad en agua fresca (disposición final).....	77
Figura 32 impacto a ecotoxicidad en agua fresca (reciclaje).....	78
Figura 33 impacto a radiación ionizante (disposición final) .....	79
Figura 34 impacto a radiación ionizante (reciclaje) .....	79
Figura 35 Impacto a uso de suelo agrícola (disposición final) .....	80
Figura 36 Impacto a uso de suelo agrícola (reciclaje) .....	80
Figura 37 impacto a uso de suelo urbano (disposición final).....	81
Figura 38 impacto a uso de suelo urbano (reciclaje).....	81
Figura 39 impacto a uso de suelo natural (disposición final) .....	82
Figura 40 impacto a uso de suelo natural (reciclaje) .....	82
Figura 41 Impacto a agotamiento de agua (disposición final) .....	83
Figura 42 Impacto a agotamiento de recursos fósiles (disposición final) .....	83
Figura 43 Impacto a agotamiento de recursos fósiles (reciclaje).....	84
Figura 44 Impacto a agotamiento de recursos minerales (disposición final) .....	85
Figura 45 Impacto a agotamiento de recursos minerales (reciclaje) .....	85
Figura 46 Impacto a ecotoxicidad terrestre (disposición final).....	86
Figura 47 Impacto a ecotoxicidad terrestre (reciclaje).....	86
Figura 48 Análisis de incertidumbre de la EICV respecto a la calidad de los datos del escenario actual .....	91
Figura 49 Análisis de incertidumbre de la EICV respecto a la calidad de los datos escenario mixto .....	93
Figura 50 Comparación de la incertidumbre con respecto al método de EICV para el escenario actual .....	98
Figura 51 Comparación de la incertidumbre con respecto al método de EICV para escenario mixto .....	101
Figura 52 Comparación ambiental entre el escenario de residuos actual y el escenario mixto .....	104
Figura 53 Generación de RHME/20 años .....	121
Figura 54 Proyección de la generación de RHME en 20 años .....	121
Figura 55 Proyección de ganancias compra (sector pepenador) .....	122



Figura 56 Proyección de ganancias venta material potencialmente recuperable 124  
Figura 57 Plano de costo efectividad de los sistemas de gestión de RHME ..... 132

# CAPÍTULO I



### INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de las instituciones hospitalarias es brindar las condiciones necesarias para prevenir y recuperar el estado de salud de la población. Sin embargo, al realizar las actividades médicas (prevención, curación, operaciones, etc.) ejercen efectos negativos potenciales para la salud pública y el medio ambiente, mediante los recursos que utilizan y los residuos que generan (Marmolejo R. et al. 2010). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el mundo se generan más de 5 millones de toneladas de residuos hospitalarios (RH) al año, de los cuales el 90% son residuos hospitalarios no peligrosos, el 10% restante son considerados residuos peligrosos. Lo que implica un problema serio debido a que solo el 20% del total de los RH generados reciben algún tipo de tratamiento y disposición final adecuado (OMS, 2016).

Uno de los principales desafíos a los que se enfrenta las instituciones de salud es mejorar los sistemas de gestión integral de los residuos hospitalarios, así como comenzar a evaluar las cargas ambientales causadas por los diversos métodos empleados para su tratamiento y disposición final. Sumado a este desafío se encuentra la tarea de investigar cual es la composición de los RHME, a fin de identificar cuál sería el mejor método para su tratamiento y contribuir a la protección del medio ambiente y la salud pública. El objetivo de este trabajo es identificar el impacto ambiental y económico de la gestión de residuos hospitalarios en dos escenarios distintos mediante la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida.





# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 Residuos hospitalarios

El desarrollo científico en el área de la salud ha conducido a una variabilidad en las prácticas médicas, logrando el tratamiento y prevención de padecimientos cada vez más complicados. Durante los procesos que implican brindar servicios de prevención, tratamiento y control de enfermedades (crónicas o agudas) las unidades médicas o establecimientos hospitalarios dependen del uso de tecnología, recursos naturales e insumos médicos (James 2007), mismos que en parte son desechados después de su uso, generando residuos tanto peligrosos (RPBI) como residuos no peligrosos (residuos generales) (García V. et al. 2015). De hecho, la OMS menciona dos grandes categorías de residuos: los residuos hospitalarios generales (comunes o no peligrosos) y residuos peligrosos (RPBI) (OMS, 2016).

En México, la legislación divide los residuos hospitalarios en dos grandes categorías: Los residuos hospitalarios peligrosos (RHP) regulados por la NOM-087-ECOL-SSA1-2002, (DOF 2014), y los residuos de manejo especial (RHME), (LGPGIR,DOF 2015). Los RHP tienen categorías de composición definidas (Tabla 1). Sin embargo, en el caso de los RHNP usualmente son presentados en una sola categoría como residuos generales (RG).

En este trabajo la nomenclatura a usar para los residuos hospitalarios generales o comunes, será la que marca la normativa mexicana: **Residuos Hospitalarios de Manejo Especial (RHME)**.



## Análisis de Ciclo de Vida

Tabla 1 Clasificación de los residuos hospitalarios

País Dependencia <sup>o</sup>	RHP										Referencia
	RG	RI	RE	RP	RR	RPA	RPC	RF	RQ		
OMS	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓		(OMS, 2016).
USEPA Alemana	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓		(Monge 1997)
<b>México</b>	✓	*	✓	✓							(Velázquez-González et al. 2005)
Lituania	✓				✓	✓					(Gusca et al. 2015)
Brasil	✓	✓	✓								(Ferreira R. et al. 2005)
Perú	✓	✓	✓								(Mazzetti S. et al. 2004)
Chile	✓		✓	✓	✓						(Ministerio de Salud 2010)
Perú	✓	✓	✓								(Monge 1997)
Chile		✓				✓	✓	✓			(Neveu C & Matus C 2007)
Colombia	✓			✓							(Marmolejo et al. 2010)
Venezuela	✓	✓	✓	✓							(Subero et al. 2004)

\*: La nomenclatura es Residuos de Manejo Especial (RHME).

Fuente: Elaboración Propia a partir de los autores antes citados.

Acrónimos:

RG-residuos generales  
 RI-residuos infecciosos  
 RP-residuos peligrosos  
 RR-residuos radioactivos

RPA-residuos patológicos  
 RPC-residuos punzocortantes  
 RF-residuos farmacéuticos  
 RQ-residuos quirúrgicos.

La clave de una buena gestión integral radica en su correcta clasificación. No importa qué tipo de tratamiento se use, si no se efectúa una clasificación adecuada se generarán gastos extras e impactos negativos sobre el ambiente y la salud humana (Cifuentes & Iglesias 2008).

### 1.2 Generación de residuos hospitalarios de manejo especial

La OMS reporta que del total de los residuos generados de la atención sanitaria el 10% son residuos de carácter peligroso (tóxico, infeccioso o radiactivo) y el 90% restante son considerados no peligrosos, los cuales son similares a los residuos sólidos municipales en características y composición entre los que se encuentran



## Análisis de Ciclo de Vida

principalmente papel, cartón y plásticos, mientras que el resto se componen de alimentos (orgánicos), metal, vidrio, textiles y madera (OMS, 2016).

Por otro lado, existen distintos indicadores para reportar la tasa de generación de RHME, algunos de ellos son RHME/cama/día o residuos hospitalarios-persona-día (RHME/paciente-día). La Tabla 2 presenta diferentes tasas de generación de RHME las cuales oscilan de 0.5 a 5.3 kg de RH/cama/día. Esto es esperado debido a que los RHME pueden incluir diferentes materiales como residuos de cocina, papel, cartón y plásticos.

Tabla 2 Tasa de generación de los RHME

País o Dependencia	Generación de RHME kg/cama/día	Referencia
Lituania	1.2	(Gusca et al. 2015)
Kazajistán	5.3	(Gusca et al. 2015)
Venezuela	2.8	(Subero et al. 2004)
Colombia	3.1	
Brasil	3.3	
India	2.0	(Marmolejo et al. 2010)
Turquía	2.0	
Vietnam	1.4	
Filipinas	0.5	
Mongolia	3.4	(Diaz et al. 2008)
Perú	3.8	(Monge 1997)

Fuente: Elaboración propia a partir de los autores citados.

### 1.3 Gestión integral de residuos hospitalarios de manejo especial

En los últimos años se han realizado esfuerzos para crear diferentes marcos normativos en el mundo que permitan llevar a cabo una clasificación homogénea de todos los residuos hospitalarios. Sin embargo, la revisión de la literatura muestra que las clasificaciones existentes están enfocadas en los RHP y en el caso de los RHME no existen tal clasificación. Situación que dificulta la implementación de sistemas de gestión integral adecuados que permitan evitar los daños ambientales y de salud por su manejo y disposición final (Blandón & Castellanos 2010). Se



## Análisis de Ciclo de Vida

entiende por sistema de gestión integral para el manejo de RHME al conjunto de actividades realizadas dentro y fuera de las instituciones de salud, que incluyen desde la generación hasta la disposición final de los residuos (Figura 1) (Fleitas-Estévez et al. 2013).

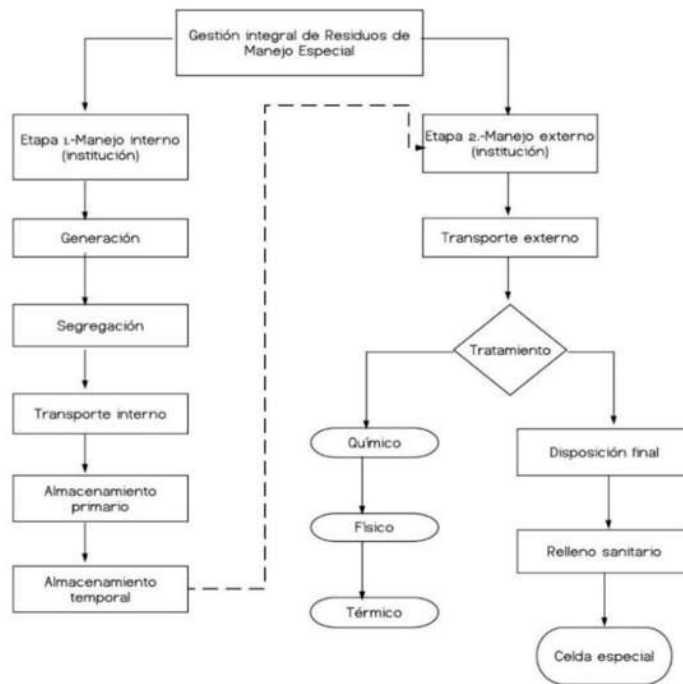


Figura 1 Etapas de la gestión de RHME

### 1.3.1 Etapa de Manejo Interno de Residuos Hospitalarios de Manejo Especial

**Generación:** Esta fase consiste en desechar los materiales y empaques previamente utilizados durante la atención médica (gasas, abatelenguas, guantes, cartón, etc.) a estos residuos se suman residuos orgánicos y administrativos.

**Segregación:** En esta fase los RHME son separados desde el sitio de generación (Monge 1997; Ferreira R. et al. 2005; Mazzetti S. et al. 2004). Pero para poder hacer una separación óptima de los RHME, es indispensable contar con una adecuada clasificación, a fin de evitar gastos extras e impactos negativos al ambiente,



## Análisis de Ciclo de Vida

ocasionados por los tratamientos empleados para su eliminación (Cifuentes & Iglesias 2008).

**Almacenamiento primario:** Esta fase consiste en depositar los RHME, en recipientes apropiados, que garanticen su identificación y seguridad para su transportación interna, y de esta manera evitar exposiciones de riesgo laborales y ambientales (Mata S. & Reyes G. 2006; Rodríguez S. 2008).

**Transporte interno:** En esta fase los RHME son depositados en vehículos para ser transportados a el lugar dispuesto para su almacenamiento temporal (Mata S. & Reyes G. 2006). Estos vehículos deben ser silenciosos, estables, ligeros e higiénicos a fin de permitir el transporte con un mínimo esfuerzo (Cifuentes & Iglesias 2008).

**Almacenamiento temporal:** En esta fase, existe una sección a nivel intrahospitalario para acopiar los RHME, en espera de ser transportados al lugar de reciclaje, tratamiento o disposición final (Cifuentes & Iglesias 2008), este lugar debe contar con las características de espacio suficiente, instalación de luz, adecuada ventilación y contenedores apropiados para su debido aislamiento (Mata S. & Reyes G. 2006).

### 1.3.2 Etapa de manejo externo de residuos hospitalarios

**Transporte externo:** En esta fase, los RHME recorren un trayecto desde el almacenamiento temporal (dentro del centro hospitalario), hasta el lugar de tratamiento y disposición final (Mata S. & Reyes G. 2006)



## Análisis de Ciclo de Vida

**Tratamiento:** En esta fase se realiza un proceso químico, térmico, físico o biológico, diseñado para disminuir los riesgos ambientales (MSP 2010; Mata S. & Reyes G. 2006), así como para reducir el volumen y realizar la adecuada eliminación de una forma segura (Rodríguez S. 2008; Monge 1997). Alguno de los tratamientos empleados para el manejo de los RHME, implican la incineración, disposición final y esterilización (optativa para ciertos residuos) entre otros.

**Disposición en relleno sanitario:** La disposición de los RHME en México, se lleva a cabo en una celda de manejo especial (Bellido et al. 2004) en el relleno sanitario, el cual está construido bajo los criterios de ingeniería y normas operacionales específicas, las cuales permiten el confinamiento de los residuos en forma segura en términos de prevención de contaminación ambiental (DOF 2004). La OMS sugiere que para disponer cualquier tipo de RH en el relleno sanitario estos deberían ser sometidos a un tratamiento físico o químico (esterilización, incineración o desinfección) a fin de disminuir la presencia de cualquier tipo de agente patógeno que pueda afectar la salud humana o el medio ambiente (Rodríguez 2008). En general el relleno sanitario debe cumplir con los requerimientos señalados por la NOM-083-SEMARNAT-2003 para su construcción y operación (DOF 2004), cumpliendo con tres criterios importantes para operar eficazmente la celda especial.

1. Pre-tratamiento de los residuos, este busca evitar el ingreso de residuos hospitalarios contaminados, para evitar riesgos ambientales.
2. Aislamiento o confinamiento de los residuos, este proceso busca evitar el contacto de los residuos hospitalarios con el ambiente externo, mediante la impermeabilización de las celdas con materiales sintéticos o naturales.



## Análisis de Ciclo de Vida

3. Barrera geológica, se logra eligiendo una zona estable, homogénea e impermeable. Esta representa la última barrera de control ambiental, en caso de que los otros dispositivos fallen (OMS 2014).

**Esterilización:** La esterilización es un proceso mediante el cual se pretende conseguir la muerte de todas las formas patógenas microbianas (WHO-OMS 2004). Para realizar este proceso se emplean diferentes tipos de máquinas entre las cuales se encuentran el empleo de la autoclave, la cual está diseñada para tratar una gama de distintos desechos infecciosos, incluyendo cultivos, objetos punzocortantes, materiales contaminados, residuos quirúrgicos, residuos "blandos" (incluidas las gasas, vendajes, cortinas, batas y ropa de cama) y residuos de laboratorio (excepto los residuos químicos) (OMS 2014).

El autoclave ha sido adaptada para el tratamiento de la mayoría de los desechos médicos, esta cuentan con un recipiente metálico diseñado para soportar altas presiones, con una puerta de sellado hermético, una disposición de tubos y válvulas a través de las cuales se introduce vapor de agua para la esterilización de los materiales, esto junto con el tiempo y la temperatura adecuada es un método confiable para el tratamiento de los desechos médicos(OMS 2014).

**Reciclaje:** El reciclaje es un proceso físico o químico cuyo objetivo es convertir los desechos en nuevos productos o en materia prima para su posterior reutilización. Proceso que contribuye a reingresar estos residuos al ciclo de producción, la cadena de valor y proteger el medio ambiente (Medina 2001). La jerarquía de la gestión de los residuos se basa en gran medida en el gran concepto de las "3R"es decir, reducir, reutilizar y reciclar (SEMARNAT 2016). Uno de los principales objetivos de



## Análisis de Ciclo de Vida

la segregación es llevar acabo la práctica de recuperación de los residuos desde la fuente inicial (punto de generación), en lugar de adoptar soluciones en la tumba (punto de almacenamiento temporal antes de la disposición final) (OMS 2014). De acuerdo la OMS existe un sistema de clasificación internacional para identificar diferentes tipos de plásticos, los cuales están sujetos a un plan de reciclaje, siempre y cuando estos pasen por un proceso de esterilización, los cuales se enlistan a continuación:

- Polietileno de baja densidad -LDPE-4
- Polietileno de alta densidad-HDPE-2
- Polipropileno-5
- Teraftalato de polietileno Pet-1
- Policarbonato-PC

El reciclaje se ha convertido en una práctica cada vez más popular entre las instituciones de salud en países como Reino Unido (Inglaterra). La Fundación Trust recicla materiales como el cartón y el papel o en su caso implementa el compostaje para los desechos alimenticios, mediante su programa de recuperación, el cual comenzó a partir del año 2007 y tiene como objetivo principal disminuir la cantidad de residuos enviados a los vertederos (OMS 2014). Actualmente en México la práctica, el conocimiento y las normas (explicadas a continuación en la sección 2.4.de este capítulo) no permiten el reciclaje de residuos hospitalarios, pese a que existen algunos reportes a nivel internacional sobre los beneficios económicos y ambientales de esta práctica entre las instituciones hospitalarias.

### 1.4 Ley general de salud

La ley general de salud en su capítulo VI, artículo 464 prohíbe la manipulación y reciclaje de cualquier tipo de insumo, envase o contenedor de uso médico. Aquella





## Análisis de Ciclo de Vida

persona o instancia que realice actos con agentes patógenos o sus vectores, serán acreedores a una pena de ocho años de prisión y una multa equivalente de cien a dos mil días de salario mínimo de acuerdo a la zona económica que se trate (DOF 2008).

De acuerdo a esta ley las siguientes actividades son las principales acciones acreedoras a las multas penales y económicas:

1. A quien falsifique o adultere material para envases, empaques de medicamento, etiquetado, leyendas o sus números claves de identificación. Se aplicará una pena de uno a nueve años de prisión y una multa de veinte mil a cincuenta mil días de salario mínimo.
2. Por último, a aquella persona que, venda, comercialice, distribuya o transporte material para envase, empaques de medicamento usados, medicamentos, fármacos, materias primas, aditivos falsificados, alterados o contaminados. Ya sea dentro de los establecimientos de salud o cualquier otro lugar, le será impuesta una pena de uno a nueve años de prisión y multa de veinte mil a cincuenta mil días de salario mínimo (DOF 2008).

### 1.5 Marco legal en materia de residuos de manejo especial

La norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 establece los criterios para clasificar los Residuos de Manejo Especial (RME) y determinar cuáles están sujetos al plan de manejo, así como, el procedimiento para su inclusión o exclusión del listado oficial. Esta norma tiene los siguientes objetivos:



## Análisis de Ciclo de Vida

- Establecer los criterios que deberán considerar las entidades federativas y sus municipios para solicitar a la SEMARNAT la inclusión o exclusión de otros RME al listado oficial de conformidad con la fracción IX del artículo 19 de la ley.
- Establecer los elementos y procedimientos para la elaboración e implementación de los planes de manejo para los RME (DOF, 2011).

Para formular y aplicar cambios a los planes de manejo de los RME deben ser considerados el nombre, denominación o razón social del solicitante, nombre del representante legal, domicilio para oír y recibir notificaciones, estudios de evaluación del residuo (objeto del plan) y diagnóstico de la situación actual del manejo del residuo.

Una vez formulado y modificado el plan de manejo para incluir o excluir algún tipo de residuo, este deberá ser presentado ante la SEMARNAT de la entidad federativa que corresponda para su evaluación. Una vez aceptada la propuesta, se podrá implementar un registro de los planes de manejo presentados por los particulares y dar su conocimiento al público en general (DOF, 2011).

### 1.6 Metodologías de evaluación de impacto ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento técnico-administrativo que sirve para identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales relacionados a un producto o servicio con el fin de proponer enfoques alternativos, rediseñar e incorporar medidas adecuadas de prevención y mitigación ambiental (ILCD 2010). Existen numerosos tipos de metodologías empleadas para



## Análisis de Ciclo de Vida

la EIA. Sin embargo, ningún método por sí solo puede ser utilizado para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de impacto ambiental, por lo tanto, el punto clave está en seleccionar adecuadamente el método más apropiado (FAO 2012). La Tabla 3 describe las ventajas y desventajas de cada método.





Tabla 3 Ventajas y desventajas de la EIA

Métodos de EIA	Ventajas	Desventajas
Ad hoc/panel de expertos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método rápido y fácil de llevar a la práctica, permitiendo su adaptación a las necesidades particulares del proyecto.</li> <li>Identifica los impactos ambientales en el área de conocimiento del experto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Omite impactos ambientales fuera del área conocida para los expertos.</li> <li>Dependen del grado de conocimiento y experiencia de los expertos.</li> </ul>
Matriz de Leopold	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permite la estimación subjetiva de los impactos ambientales mediante una escala numérica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>subjetividad.</li> <li>No considera los impactos indirectos del proyecto.</li> </ul>
Método cartográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Este método es útil cuando existen variaciones espaciales de los impactos (que no son posibles con matrices).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No permite comparaciones alternativas.</li> </ul>
Método de batelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los resultados son cuantitativos y pueden compararse con otras evaluaciones.</li> <li>Es un método sistematizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los índices de evaluación ambiental son desarrollados solo para la zona local, no son válidos zonas distintas.</li> <li>Las listas de indicadores son limitadas, no toma en cuenta las relaciones entre los componentes ambientales y las interacciones causa- efecto.</li> <li>Metodología rígida.</li> </ul>
Análisis de ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proceso sistemático (cuna-tumba).</li> <li>Normado/carácter científico</li> <li>Rigurosidad en la obtención de datos</li> <li>Evaluación de impactos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere entrenamiento</li> <li>Costo (económico, tiempo)</li> </ul>

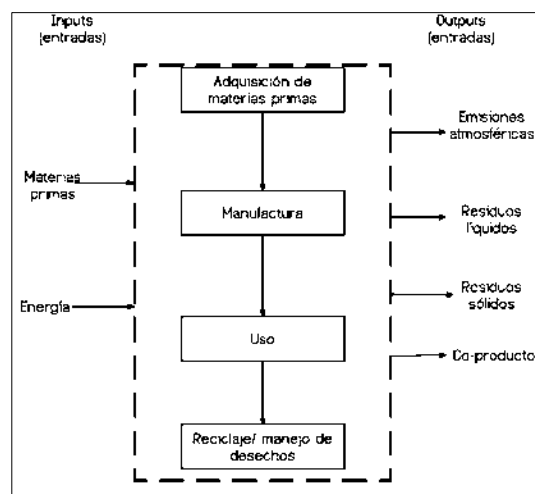
0 Debido a las ventajas y desventajas del método de Análisis de Ciclo de Vida, este será método será utilizado en esta  
 1 investigación para la evaluación del impacto ambiental de la gestión de los RHME. Este método se describirá en forma  
 2 detallada a continuación.

3

#### 4 1.7 Análisis de ciclo de vida

5 El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es una herramienta metodológica utilizada para  
6 medir, cuantificar y caracterizar los impactos ambientales asociado a cada una de las  
7 etapas del ciclo de vida de un producto (extracción de materias primas, procesamiento,  
8 producción, transporte, distribución, uso, reutilización, reciclado y disposición final)  
9 (ILCD 2010). Básicamente se enfoca en el rediseño de la producción del producto o  
10 servicio, bajo el criterio que los recursos energéticos y las materias primas no son  
11 recursos ilimitados y que, normalmente, estos son utilizados más rápido de cómo se  
12 replazan (Romero 2003).

13 Una de las principales características de la herramienta de ACV, es su principio  
14 holístico, es decir, que se basa en que todas las propiedades de un sistema, de manera  
15 que este no puede ser determinado o explicado de manera individual. Es necesario la  
16 integración de todos los aspectos que participan, es de ahí el concepto "Ciclo de Vida".  
17 Los principales elementos que se tienen en cuenta para el desarrollo del ACV, se  
18 conocen como inputs(entradas) y outputs (salidas), ver Figura 2.



19  
20  
21  
Figura 2 Esquema general de ACV  
Elaboración propia a partir de (ISO 14044 2006b).



- 22
- Inputs/entradas: Es el uso de recursos y materias primas, transporte,
- 23
- 24
- 25
- Outputs/salidas: Son aquellas emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los
- 26
- 27

28 Existen diferentes clasificaciones para el ACV de un producto que incluye todas las

29 entradas y salidas de los procesos que participan. Aquel ACV que contempla la

30 extracción de materias primas, transporte, procesamientos materiales, manufactura,

31 uso del producto, reciclaje y la gestión final es identificado como ACV “de la cuna a la

32 tumba”. Cuando el alcance del sistema se limita a las entradas y salidas, desde que

33 se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el mercado se le

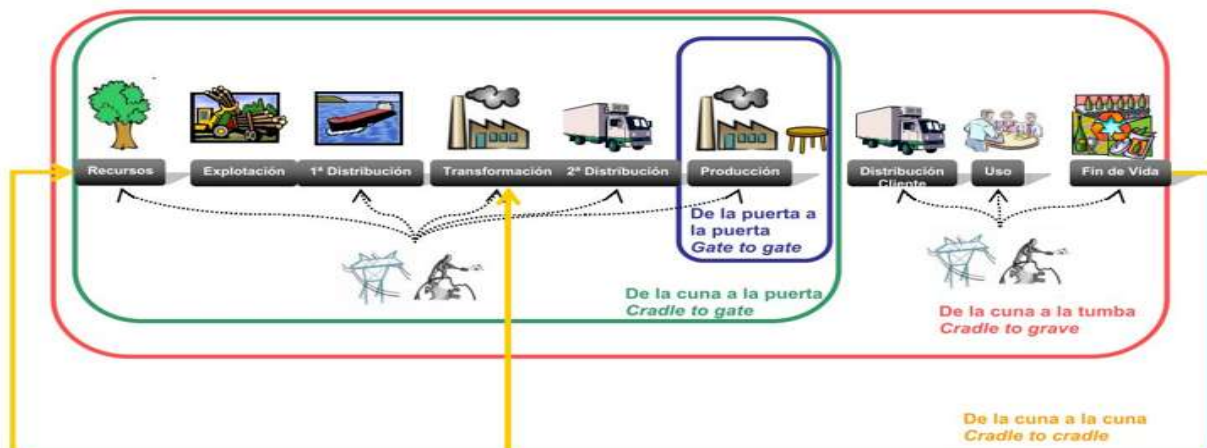
34 denomina como “de la cuna a la puerta” y cuando solo se tienen en cuenta las entradas

35 y salidas del sistema producto (procesos de fabricación), se le denomina “de la puerta

36 a la puerta”. Para esa investigación existe el enfoque de ACV, basado en tener en

37 cuenta que las corrientes de salida del fin de vida del sistema, pueden ser valoradas

como materias primas y/o entradas al mismo sistema u otro. Este ACV se denomina





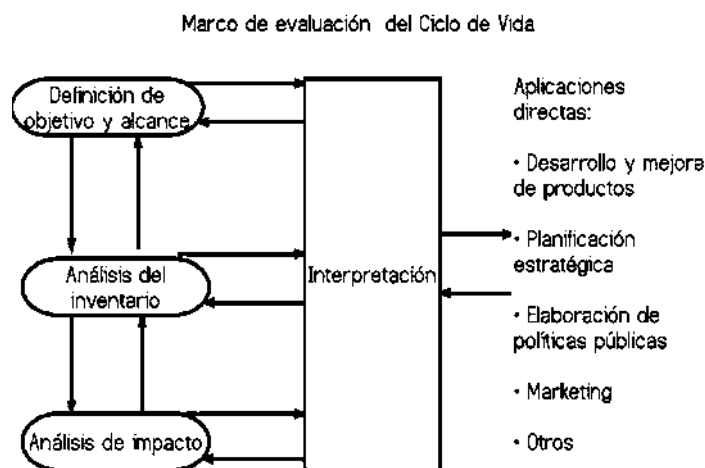
38 “de la cuna a la cuna” (EPA, 2016), La Figura 3 muestra los tipos de ACV antes  
39 descritos.

40 **Figura 3 Tipos de ACV**

### 41 1.7.1 Familia de normas ISO 14000

42 La Organización Internacional de Normalización (International Organization for  
43 Standardization) (ISO) localizada en Suiza, es el organismo que desarrolló una serie  
44 de estándares enfocados a la administración y gestión ambiental (ISO 14040 2006).  
45 Estos estándares incluyen la familia o serie de normas ISO 14000. A continuación, se  
46 describen las normas ISO para el desarrollo del ACV.

- 47 • **ISO 14040 (2006) Gestión ambiental:** Esta norma ofrece los principios y  
48 marcos de referencia del ACV.
- 49 • **ISO 14044 (2006) Metodología del ACV:** esta norma detalla la metodología  
50 para realizar el ACV, el cual consta de cuatro fases importantes ver (Figura 4).



51  
52  
53

Figura 4 Etapas del ACV  
\*Elaborado con información de la (ISO 14044 2006b).



## 54 **1.7.2 Definición de objetivos y alcance**

55 La definición del objetivo es la primera fase de cualquier evaluación de ciclo de vida,  
56 independientemente si el estudio de ACV se limita al desarrollo de un conjunto de  
57 datos de un proceso unitario o si es un estudio completo. Durante la definición del  
58 objetivo, se definen el uso previsto del estudio, así como el alcance de acuerdo con  
59 los límites del sistema, de igual manera se especifican las razones por las cuales se  
60 ha realizado el estudio, las personas a quienes se prevé comunicar los resultados del  
61 estudio y si se pretende utilizar los resultados en aseveraciones comparativas para su  
62 divulgación al público (ISO 14044 2006). El alcance debe reflejar claramente la  
63 extensión del estudio lo cual implica, de acuerdo a la norma ISO 14040 (2006) definir  
64 el sistema producto a estudiar, funciones del sistema del producto, selección de la  
65 unidad funcional, establecimiento de los límites del sistema, tipos de impacto a evaluar,  
66 metodología de evaluación, interpretación y requisitos de calidad de los datos

## 67 **1.7.3 Análisis del inventario de ciclo de vida**

68 Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para  
69 identificar y cuantificar todos los efectos ambientales asociados a la unidad funcional.  
70 Esta fase se define como las entradas y salidas de materias y energía de un sistema  
71 generando cargas ambientales negativas o positivas. Los siguientes puntos  
72 indispensables para pasar a la siguiente fase la cual se identifica como la Evaluación  
73 del Impacto del Ciclo de Vida.

74 ❖ **Recopilación de datos:** En esta etapa se debe recopilar y/o calcular la  
75 demanda de materia y energía requeridas por el sistema producto. Estos datos





76 son de carácter cuantitativo y/o cualitativo y forman parte del inventario de ciclo  
77 de vida

78 ❖ **Cálculo de los datos:** En esta etapa todos los procedimientos de cálculo deben  
79 estar explícitamente documentados y los supuestos explicados.

80 ❖ **Validación de los datos:** Una comprobación de validez de los datos, se lleva a  
81 cabo durante el proceso de recolección de datos de acuerdo a los requisitos de  
82 calidad de que marca la norma ISO 14044 (2006).

### 83 1.7.4 Evaluación de impactos de ciclo de vida

84 La evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV) es la fase del ACV dirigida a conocer  
85 y evaluar la magnitud y los potenciales impactos ambientales de un proceso o servicio  
86 utilizando los resultados del ICV (ISO 14044 2006). La EICV establece una serie de  
87 pasos o etapas de evaluación:

#### 88 1.- Clasificación

89 Las categorías representan los potenciales impactos ambientales a los cuales se  
90 quieren asignar los resultados de la EICV. Existen diferentes categorías, la selección  
91 de estas dependerá del objetivo del estudio, tipo de y el nivel de exactitud de los datos.  
92 Algunas las categorías de del método ReCiPe (2008) son las siguientes (Tabla 4).

93 Tabla 4 Categorías de impacto ambiental

Categorías	Indicador	Categoría de impacto
Cambio climático	kg CO <sub>2</sub> -eq	Salud humana
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11-eq	
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> -eq	
Radiación ionizante	kg U-eq	
Material particulado	kg COV-eq	
Toxicidad humana	kg 1,4-DCB-eq	
Acidificación terrestre	kg de SO <sub>2</sub> -eq	Ecosistemas
Eutrofización en agua dulce	kg de PO <sub>4</sub> -eq	
Eco toxicidad marina	kg 1,4-DCB-eq	
Eco-toxicidad en agua dulce	kg 1,4-DCB-eq	



Eco-toxicidad terrestre

---

Transformación del suelo natural	m <sup>2</sup> de suelo agrícola, bosque, selva, etc.	Recursos
Uso de suelo agrícola		
Uso de suelo urbano		
Agotamiento de combustibles fósiles	kg Sb-eq	
Agotamiento de minerales	kg Fe-eq	

---

94

95 **2.- Caracterización**

96 En la etapa de caracterización una vez que cada sustancia del ICV se ha asignado a  
97 una o más categorías de impacto ambiental a través de la clasificación, se compara su  
98 valor con respecto a la sustancia de referencia de dicha categoría. Esto se lleva a cabo  
99 a través de los factores de caracterización y representan la contribución de la sustancia  
100 a una determinada categoría de impacto.

101 Además de los pasos obligatorios a realizar en la EICV, existen otros pasos  
102 adicionales, declarados como opcionales por la norma ISO 14044, los cuales pueden  
103 darse dependiendo del objetivo y alcance previsto, estos se explican a continuación:

104 ❖ Normalización: conversión de los resultados de la caracterización a unidades  
105 globales neutras, dividiendo cada uno por un factor de normalización. A través  
106 de estos factores se representa el grado de contribución de cada categoría de  
107 impacto sobre el problema medioambiental local.

108 ❖ Agrupación: clasificación de las categorías de impacto en otros grupos que  
109 engloben categorías de impacto con efectos similares.

110 ❖ Ponderación: conversión de los resultados de los valores caracterizados a una  
111 unidad común y sumable, multiplicándolos por su factor de ponderación (ISO  
112 14044 2006b).



### 113 **1.7.5 Interpretación del Ciclo de Vida**

114 En esta última fase es en la que los resultados del ICV y EICV son interpretados, de  
115 acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente. En esta fase se realiza un análisis  
116 de los resultados y se marcan las conclusiones (ISO 14044 2006b).

## 117 **1.8 ANTECEDENTES**

### 118 **1.8.1 Impacto ambiental del sector hospitalario**

119 Los reportes en América Latina sobre los impactos ambientales ocasionados por el  
120 tratamiento y disposición de residuos hospitalarios son escasos, y los existentes están  
121 enfocados principalmente en el cálculo de la huella de carbono, derivada de la  
122 transportación de los residuos hacia los vertederos (C. & Alatrística.B 2013).

123 Se afirma que el Servicio Nacional de Salud (NHS) del Reino Unido genera emisiones  
124 que ascienden a más de 18 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq anuales, lo que  
125 representa el 25% de la huella de carbono del sector público. Estas emisiones se  
126 derivan principalmente del uso de equipos eléctricos y del transporte de residuos  
127 hospitalarios a vertederos (NHS 2009).

128 García Sanz-Calcedo et al. (2011), reporta en su investigación realizada en 70 centros  
129 de atención primaria a la salud de Extremadura España, que las emisiones de estos  
130 centros son de aproximadamente 27, 000 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. El 80% de estas  
131 emisiones se derivan de los sistemas de climatización, calentamiento de agua con gas  
132 LP e iluminación, y el 20% restante es originado por el transporte de residuos  
133 hospitalarios y personal médico. Motivo por el que es importante considerar y estudiar



134 los impactos ambientales asociados no solo al transporte de los residuos, sino  
135 también, a los métodos empleados para el tratamiento y gestión de los RH.

### 136 **1.8.2 Evaluación de los impactos ambientales de la gestión de residuos** 137 **hospitalarios**

138 Los hospitales generan una cantidad significativa de residuos. Para evitar que estos  
139 residuos representen una amenaza para la salud humana y el medio ambiente, estos  
140 deben ser identificados y eliminados adecuadamente (SSD 2007). Las investigaciones  
141 sobre ACV posibilitan realizar una evaluación sobre los impactos ambientales de un  
142 producto o servicio y, por consiguiente, contribuye a establecer propuestas para  
143 mejorar la practica en los procesos del ciclo de vida (extracción de materias primas,  
144 producción, uso y fin de vida) de un productos o servicio.

### 145 **1.8.3 Aplicación de la evaluación del ciclo de vida y análisis de económico en el** 146 **manejo de desechos de atención de salud.**

147 Soares et al. (2013), evaluaron los impactos ambientales y económicos asociados al  
148 tratamiento de los RH en tres escenarios distintos; escenario (A) desinfección en  
149 microondas, (B) incineración y el escenario (C) desinfección química con cal más  
150 disposición final en vertedero. Obtuvieron como resultados que para el escenario A,  
151 los mayores impactos fueron en las categorías de cambio climático, salud humana y  
152 ecosistemas (año de la especie) atribuidos al uso de electricidad. En el caso del  
153 escenario B, se observó que la mayor contribución fue hacía las categorías de impacto  
154 al cambio climático, salud humana y agotamiento de combustibles fósiles, debido al  
155 uso de electricidad y consumo de gas LP. Por último, en el escenario C, la mayor



156 contribución fue hacia la categoría de agotamiento fósil, asociado a la etapa de  
157 producción, seguida del transporte.

158 Después de aplicar la metodología de ciclo de vida concluyeron, que hubo una  
159 contribución positiva hacia la reducción en la categoría a cambio climático, mostrando  
160 que el tratamiento de desinfección en microondas presentó el mejor desempeño  
161 ambiental con (12,46) Pt, seguido por la autoclave con un total de (48, 46) Pt y por  
162 último la desinfección con cal con un total de (160,28) Pt.

163 La evaluación de costos para cada escenario fue en base a la unidad funcional del  
164 ACV (1 kg-día/230 kg-año), la energía empleada en cada tratamiento y el  
165 mantenimiento de los equipos. El costo por desinfección en microondas fue de 0.12\$  
166 USD/1kg, para el tratamiento en autoclave de 1.10 \$ USD/ 1kg y por último para la  
167 desinfección química con cal fue de 1.53\$ USD/ 1Kg, concluyendo que la desinfección  
168 en microondas es la mejor opción de tratamiento en cuestión económica y ambiental.

169 Sin embargo, al realizar la evaluación de cada uno de los tratamientos no existió algún  
170 tipo de clasificación de los residuos hospitalarios, que permitiera identificar su  
171 composición y características y de esta manera proponer cual es el escenario que  
172 pudiera ser más conveniente para el tratamiento de los residuos hospitalarios.

#### 173 **1.8.4 Evaluaciones comparativas del ciclo de vida de los tratamientos de** 174 **incineración y no incineración de residuos médicos**

175 Zhao et al (2009), en sus investigaciones comparan los impactos ambientales de  
176 aplicar dos tecnologías distintas para el tratamiento de los RHP, una es la incineración  
177 de residuos peligrosos (HWI) y la otra es esterilización en autoclave con relleno



178 sanitario (AL), para el análisis de contribución consideraron nueve categorías de  
179 impacto; agotamiento abiótico (AD), calentamiento global (GW), agotamiento del  
180 ozono (OD), toxicidad humana (HT), eco toxicidad acuática de agua dulce (FAET), eco  
181 toxicidad terrestre (TET), creación de oxidantes fotoquímicos, acidificación y  
182 eutrofización.

183 Obtuvieron como resultados que la mayor contribución para el tratamiento de HWI fue  
184 en las categorías de GW, acidificación, eco toxicidad acuática y toxicidad humana,  
185 mientras que para el escenario de (AL) hubo una contribución positiva hacia la  
186 reducción de impacto en las categorías de AD, HT, TET eutrofización y acidificación,  
187 y la categoría negativa más alta fue hacia FAET. Concluyeron que el mejor escenario  
188 para tratar los RHP es el escenario de esterilización en autoclave con rellenos  
189 sanitario.

190 El análisis de esta investigación está dirigido exclusivamente hacia los residuos  
191 hospitalarios peligrosos, lo cual dificulta identificar cual sería la mejor opción para tratar  
192 los RHME. Sin embargo, esta evaluación muestra un panorama de los impactos  
193 ambientales de emplear distintos métodos, lo cual fomenta el interés de estudiar e  
194 identificar los posibles impactos ambientales asociados al tratamiento de la corriente  
195 de los RHME, y contribuir a brindar diferentes opciones para su tratamiento, sin  
196 perjudicar al medio ambiente.

### 197 **1.8.5 Análisis del potencial de reciclaje de los desechos plásticos médicos**

198 Lee & Ellenbecker (2002) en sus investigaciones evaluaron el potencial de reciclaje de  
199 282 toneladas de RH producidos por cinco establecimientos de atención sanitaria. La  
200 investigación incluyó las áreas de cafeterías, quirófanos, laboratorios, sala de



201 urgencias e instalaciones de ambulancias de dos centros médicos y tres hospitales  
202 veterinarios de Massachusetts E.U.A

203 Los resultados determinaron que el mayor potencial de reciclaje para los residuos  
204 hospitalarios generados en las unidades de atención médica, es para los plásticos  
205 generados en las áreas de cafetería, representado con un 18 % del total de los  
206 residuos generados, mientras que el porcentaje de reciclaje más bajo es para las áreas  
207 de oficina con un 5%. Para determinar el potencial de reciclaje clasificaron los plásticos  
208 de acuerdo a su composición y normativa vigente de reciclaje de estos RH.

209 Este estudio se enfocó exclusivamente en el reciclaje de RH plásticos, omitiendo la  
210 existencia de otros RH potencialmente recuperables. La implementación en este  
211 estudio, sobre prácticas de segregación adecuadas para todos los RH generados en  
212 las unidades de estudio, permitiría conocer la composición y características de los  
213 residuos, y así determinar cuáles otros residuos pueden ser sometidos al tratamiento  
214 de reciclaje.

#### 215 **1.8.6 Impacto ambiental y financiero de un programa de reciclaje hospitalario**

216 Riedel (2011) en su investigación determinó el impacto ambiental y financiero de un  
217 programa de reciclaje de residuos en un hospital perteneciente a Cincinnati, Ohio,  
218 conforme al modelo de reducción de residuos de la Agencia de Protección Ambiental  
219 (WARM).

220 En el estudio se midió la cantidad de RHNP generados en la unidad médica, la práctica  
221 de reciclaje y los costos de eliminación durante los meses de septiembre de 2008 a



222 marzo de 2009, para comparar la práctica de eliminación de los RHNP con el mismo  
223 periodo de seis meses durante el año 2007-2008.

224 Los resultados de la investigación revelaron que el hospital genera en promedio 222  
225 toneladas de RH por semestre, los cuales tienen un costo de tratamiento (RESA) de  
226 \$12,993.00 USD, pero al realizar prácticas de recuperación de materiales reciclables  
227 como cartón y plástico, hubo una disminución en la generación de residuos de 40,2 t  
228 y un ahorro de \$4,672.88 USD. El beneficio ambiental del programa de reciclaje fue  
229 lograr una reducción de 34 toneladas métricas de GEI.

230 Esta investigación no muestra un desglose de los residuos recuperados, sería  
231 importante para esta o futuras investigaciones, enfocadas en el estudio de la  
232 recuperación y reciclaje de los residuos hospitalarios no peligroso, analizar y mostrar  
233 cuales otros residuos generados por las unidades médicas, pueden ser potencialmente  
234 recuperables, basándose en estudios de caracterización y composición apegándose a  
235 las normativas vigentes de cada país.

### 236 **1.8.7 Evaluación del ciclo de vida comparativo de máscaras laríngeas**

237 Eckelman et al. (2012) en sus investigaciones evaluaron el uso de máscaras laríngeas  
238 desechables (MLA) y mascarillas reutilizables (MLA 1). Mediante la aplicación de la  
239 metodología de **ciclo de vida**, la unidad funcional de las mascarillas laríngeas  
240 desechables y reutilizables se tomó como el mantenimiento de la permeabilidad de las  
241 vías por las MLA (40 desechables) y MLA 1 de 40 usos.

242 Este estudio es de la cuna a la tumba que incluye las entradas y salidas para la  
243 fabricación, transporte, uso y fin de vida de las mascarillas laríngeas. Obtuvieron como





244 resultados que las MLA reutilizables tuvieron 50% menos efectos ambientales  
245 negativos en casi todas las categorías de impacto seleccionadas (cambio climático,  
246 acidificación, carcinogénesis, eutrofización, eco toxicidad, consumo de agua y  
247 agotamiento de ozono). En el caso de la MLA desechables las categorías de impacto  
248 que más contribuyeron fueron las categorías de eutrofización y acidificación, atribuido  
249 al uso de electricidad, incineración de residuos y descarga de aguas residuales. En el  
250 caso específico de la categoría de impacto al cambio climático la MLA reutilizable  
251 contribuyo con 7,4 kg de CO<sub>2</sub>eq en todo su ciclo de vida y en el caso de las 40 MLA  
252 desechables estas contribuyeron con 11,3 kg CO<sub>2</sub>eq.

253 Lo que da un indicio que debe de existir un uso más eficiente de los materiales  
254 desechables, así como investigar los impactos ambientales del fin de vida de los  
255 materiales, con el objetivo de proponer un tratamiento adecuado a las grandes  
256 cantidades de RH generados en las instituciones de salud.

257



258

259

260

261

262

263

264

# CAPITULO II

265

266

267

268

269

270



271 **2.JUSTIFICACIÓN**

272 A nivel mundial los residuos hospitalarios de manejo especial constituyen una de las  
273 fracciones de residuos de más rápido incremento. Esto representa diferentes  
274 problemas ambientales y de salud pública, debido a que para su tratamiento deben  
275 emplearse diferentes métodos como incineración, esterilización, disposición en relleno  
276 sanitario y en algunos casos el reciclaje informal. Entre los insumos de mayor demanda  
277 por parte de las instituciones de salud se encuentran principalmente los materiales  
278 desechables. El uso continuo de estos insumos genera una gran cantidad de diferentes  
279 residuos plásticos (venoclisis, guantes de látex y sondas entre otros) cuya disposición  
280 generalmente se hace a través relleno sanitario o incineración.

281 Algunas investigaciones en el plano internacional (Riedel 2011; Lee et al. 2002;  
282 Kaseva & Gupta 1996) enfocadas en los residuos sólidos hospitalarios reportan que,  
283 los materiales generados por las instituciones de salud pueden ser potencialmente  
284 recuperables y compatibles con programas de reciclaje que valorizan los materiales  
285 descartados por los centros hospitalarios. Lo cual representa una oportunidad para la  
286 disminución de los impactos ambientales asociados a su tratamiento. Esto justifica la  
287 necesidad de investigar las características, composición e impactos ambientales  
288 asociados a la gestión de los RHME en dos escenarios distintos, con el objetivo de  
289 contribuir a brindar mejores opciones para su tratamiento y disposición final, de manera  
290 que generen un menor impacto ambiental y al mismo tiempo se obtenga un beneficio  
291 económico de la venta de materiales reciclados. El cual puede ser aprovechado en  
292 programas de gestión ambiental, y de esta manera incluir a las instituciones de salud  
293 en políticas de servicios más verdes.



## 294 **2.1 Conceptualización**

### 295 **Problema**

296 Se desconoce cuál escenario (disposición final o reciclaje) es el mejor tratamiento de  
297 gestión de para los RHME, con un menor impacto ambiental y económico.

### 298 **Pregunta de investigación**

299 ¿Cuál de las dos alternativas de gestión para RHME genera un menor impacto  
300 ambiental y tiene un mayor beneficio económico?

## 301 **2.2 Hipótesis**

302 La disposición de RS en relleno sanitario genera una huella ambiental, mayormente  
303 desconocida en México en particular para RHME. El reciclaje es la alternativa para  
304 mitigar esa huella ambiental.

## 305 **2.3 Objetivos**

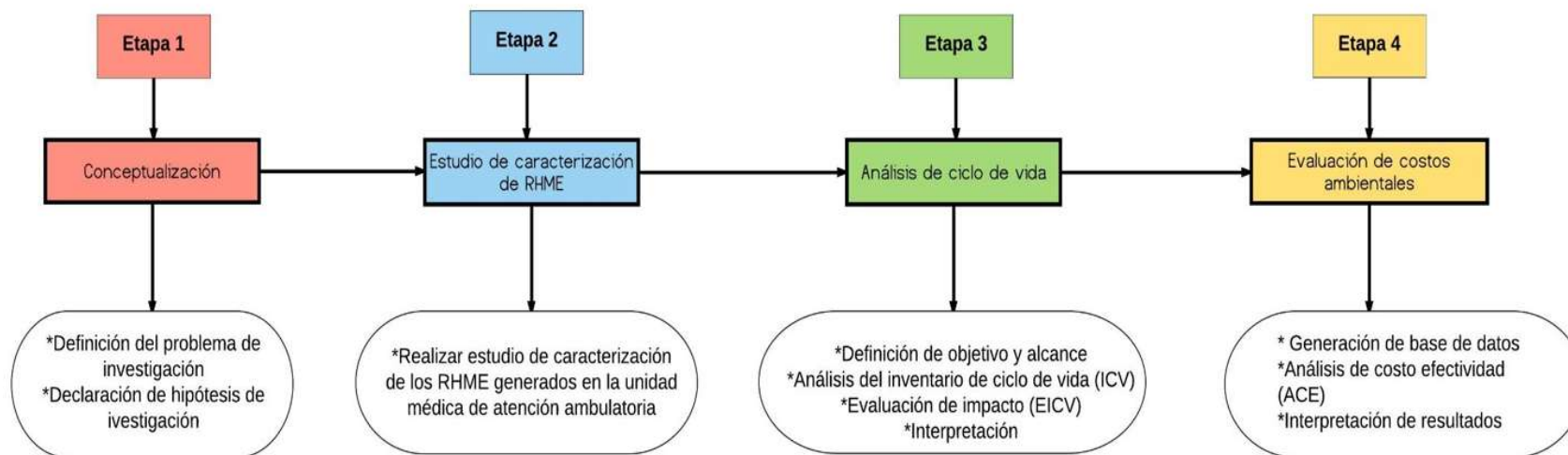
### 306 **2.3.1 Objetivo general**

307 Identificar el impacto ambiental y económico de la gestión de residuos hospitalarios  
308 bajo dos escenarios de gestión (Disposición Final en Relleno Sanitario y Reciclaje).

### 309 **2.3.2 Objetivos específicos**

- 310 • Estimar la composición y generación de los RHME.}
- 311 • Estimar la huella ambiental por distintos tipos de gestión para RHME, mediante
- 312 ACV.
- 313 • Realizar un análisis económico costo beneficio de cada uno de los diferentes
- 314 escenarios de gestión para el tratamiento de los RHME.

315 **2.4 Plan general de trabajo**



316

317

318

319

320

321

322

323

# CAPITULO III

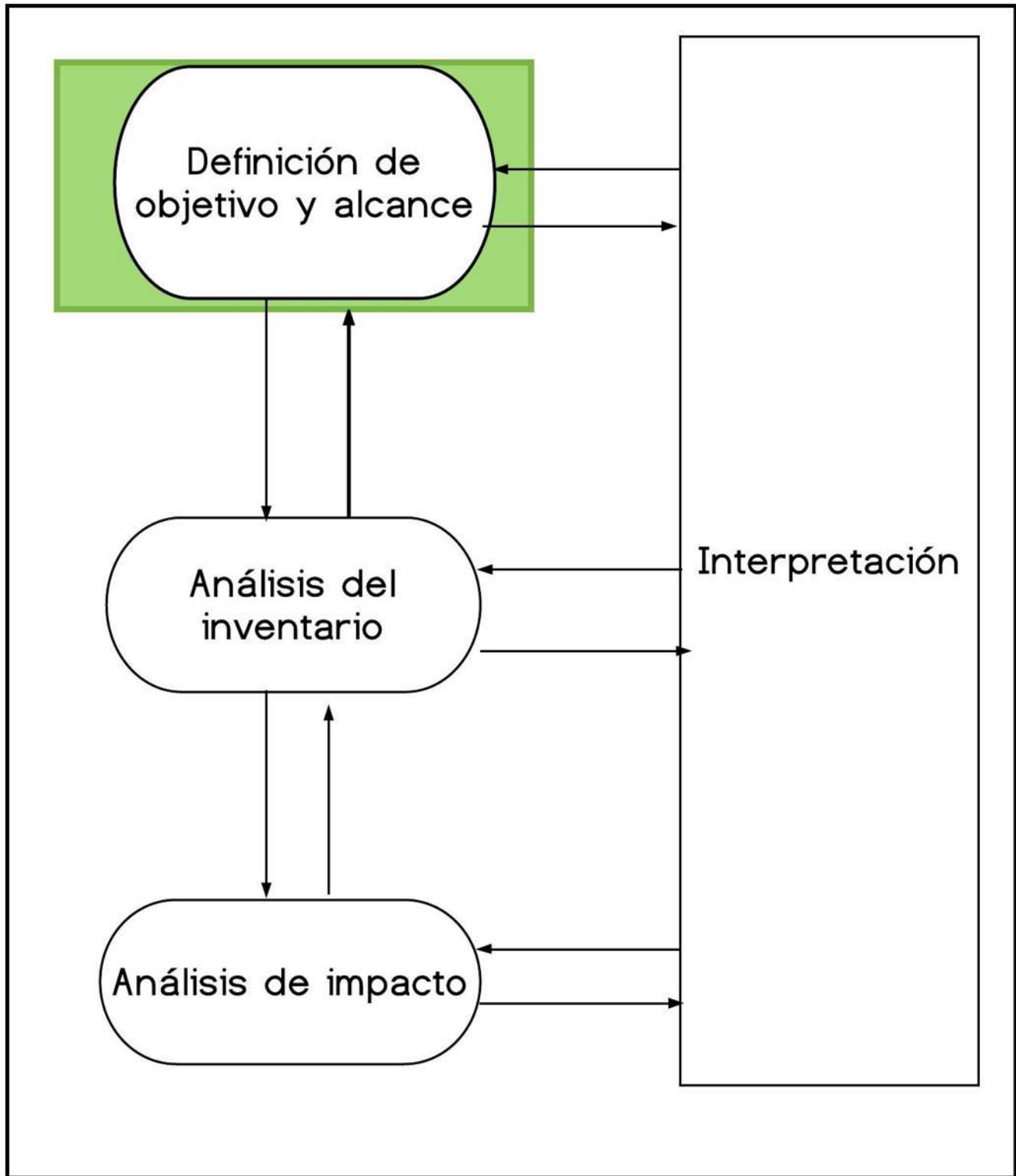
324

325

326 **3 Desarrollo de análisis de ciclo de vida**

Desarrollo del análisis de ciclo de vida	Actividades
Fase 1 Definición de objetivo y Alcance	<b>Objetivo del estudio:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir la aplicación prevista del estudio.</li> <li>• Exponer las razones por que se va a realizar el estudio.</li> <li>• Definir el público a quien se comunicarán los resultados.</li> </ul>
	<b>Alcance del estudio:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir el sistema producto a estudiar.</li> <li>• Establecer la unidad funcional y flujo de referencia.</li> <li>• Describir los límites del sistema y procesos unitarios y/o escenarios de residuos del sistema producto.</li> <li>• Selección de metodología de EIA y categorías de impacto.</li> <li>• Identificar tipos y fuentes de datos</li> </ul>
Fase 2 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	<b>Recopilación de datos.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar estudio de caracterización de RHME</li> <li>• Realizar Formatos de entrevistas</li> <li>• Descripción de los escenarios de gestión para residuos.</li> <li>• Generar base de datos con entradas a cada escenario</li> <li>• Validación de datos respecto a los requisitos de calidad.</li> </ul>
Fase 3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.</li> <li>• Asignación de los resultados del ICV por categorías de impacto (Clasificación).</li> <li>• Cálculo de resultados por categoría de indicador (caracterización).</li> </ul>
Fase 4 Interpretación del Ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar la interpretación de los resultados de la EICV</li> <li>• Realizar análisis de incertidumbre</li> <li>• Asuntos significativos</li> <li>• Realizar conclusiones basadas en análisis de sensibilidad, calidad, etc.</li> </ul>

327







329 **3.1 Definición del objetivo y alcance**

330 **3.1.2 Objetivo del análisis de ciclo de vida**

331 El objetivo de este trabajo es analizar el impacto ambiental de dos escenarios de  
332 gestión de RHME generados en una unidad médica de atención ambulatoria. El  
333 estudio comprende una evaluación comparativa el fin de vida de los residuos y será  
334 presentado como proyecto de tesis de Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental.  
335 Los resultados obtenidos serán presentados a la comunidad científica, además de  
336 académica y actores interesados.

337 **3.1.3 Alcance del análisis de ciclo de vida**

338 3.1.3.1 Unidad funcional y flujo de referencia

339 Se ha definido como unidad funcional tratar y disponer de forma segura y sanitaria  
340 los RHME generados en una clínica de atención ambulatoria del sector privado. El  
341 flujo de referencia comprende la generación total anual considerando que en  
342 promedio se generan 40.4 kg día, seis días por semana durante 52 semanas al año,  
343 lo que equivale a un total de 11,639 kilogramos. La Tabla 5, presenta la  
344 caracterización de los RHME que representan el flujo de referencia estimado para  
345 este trabajo.

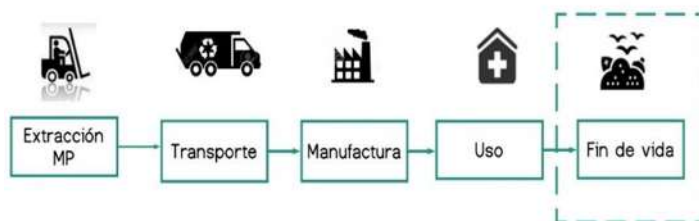
346 **Tabla 5 Composición de los RHME**

Tipo de residuo	Cantidad (kg)	(%)
Papel	603	5.2
Cartón	2678	23
Plástico	3009	25.9
Metal	55	0.5
Vidrio	511	4.4
Textiles	400	3.4
Sanitarios	2627	22.6
Orgánicos	1756	15.1
Total	11639	100



### 347 3.1.3. 2 Descripción y límites del sistema

348 De las fases tradicionales del ACV, extracción de materias primas (cuna),  
349 transporte, manufactura, uso y fin de vida (tumba). Este trabajo se enfoca  
350 exclusivamente en la etapa final, de la cual se analizarán dos escenarios de gestión  
351 de residuos distintos (Figura 5).



352  
353

Figura 5 Límites del sistema del sistema

354

### 355 3.1.3.4 Criterios de cohorte y asignación para cada escenario

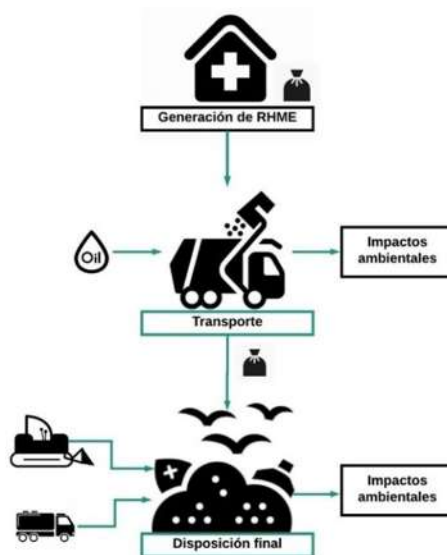
#### 356 1.- Escenario de disposición en RESA

357 Para este escenario se ha considerado que la cantidad total anual de RHME son  
358 eliminados directamente en el RESA ubicado en la ciudad (19°40'54"3" N 101°21'09  
359 O). Se modelará el impacto ambiental de:

- 360 • El transporte de los RHME, considerando que se realiza seis veces por semana  
361 durante las 52 semanas anuales, transportando en total 11,639 kg de residuos.  
362 El vehículo empleado utiliza como combustible gas LP y tiene como capacidad  
363 total 3.5 m<sup>3</sup>. La ruta de transporte considera solo la distancia comprendida  
364 directamente de la clínica o sitio de generación, hasta el RESA. Se ha excluido  
365 la ruta tradicional de transporte debido a que no se cuenta con la certeza que  
366 sea recorrida la misma distancia todos los días

367

- 368 • La disposición final; considerando que el sitio cumple con los requerimientos  
369 mínimos establecidos por la NOM-083-SEMARNAT (DOF 2004) (Figura 6).



370  
371

Figura 6 Escenarios de disposición final

## 372 2.- Escenario mixto para gestión de RHME

373 Se ha considerado un escenario hipotético para la gestión de RHME que incluye un  
374 procesamiento previo de esterilización in situ de una fracción potencialmente  
375 recuperable de RHME, para que, posteriormente sean transportados hacia un sitio  
376 donde puedan ser reciclados. Este escenario hipotético surge como propuesta  
377 alternativa para la recuperación y/o el reciclaje de aquellos materiales contenidos  
378 en la corriente de residuos sólidos generados por las instituciones de salud y que  
379 por ley deben ser tratados como de manejo especial.

380 Para los términos de este trabajo, la fracción potencialmente recuperable de RHME  
381 consta de materiales tales como papel, cartón, plásticos, metal y vidrio, los cuales  
382 mediante procesos tecnificados tiene el potencial de reingresarse a la cadena de

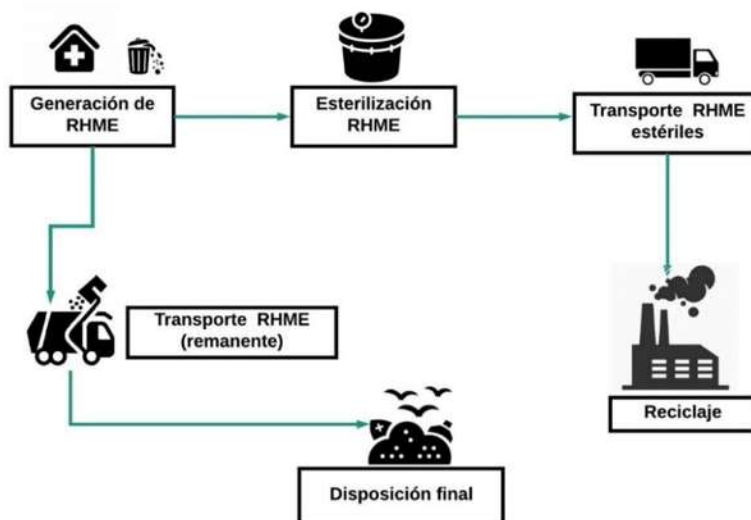
383 valor o de ser empleados como materia prima (Lee et al. 2002). En este escenario  
384 se analizará el impacto ambiental de:

385 • Esterilizar diariamente la fracción de RHME seleccionada durante un año.  
386 Considerando que el esterilizador cuenta con el certificado ISO 14001 de  
387 medio ambiente y certificado ISO 9001 de calidad.

388 • Transportar los RHME esterilizados, a la planta de reciclaje durante un año.  
389 Considerando que los residuos son transportados en un vehículo que emplea  
390 como combustible diésel, con capacidad de 4 toneladas.

391 • Reciclar cada tipo de RHME

392 • El flujo remanente de RHME, es decir aquella fracción de materiales que no  
393 pueden ser recuperados o reciclados serán enviados al relleno sanitario  
394 (Figura 7).



395  
396  
397

Figura 7 Escenario de tratamiento de RHME actual



### 398 **3.1.4 Metodología de evaluación de impacto del ciclo vida**

399 Se modelará el impacto ambiental de ambos escenarios de residuos con del método  
400 ReCiPe Midpoint 2008. El análisis incluye la evaluación de todas las categorías de  
401 punto medio y se presentarán los resultados de clasificación y caracterización.

402 Las modelaciones se realizarán en el software de análisis de ciclo de vida SimaPro  
403 versión 8.2.0.5. Las modelaciones incluyen una construcción de los escenarios de  
404 gestión de RHME y la adecuación de los modelos contenidos en las bases de datos  
405 del Software (ver sección 3.3).

406 Adicionalmente, se realizará un análisis de calidad de los datos evaluando la  
407 incertidumbre de la información con el método de Montecarlo y la Matriz de  
408 Pedigree. El reporte del ACV se ajustará a los requerimientos de escritura de Tesis  
409 de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, por lo que se considera debe  
410 cumplir los requisitos de un informe técnico- científico de ACV. Finalmente, se  
411 considerará una revisión crítica por parte del comité tutorial quien estará encargado  
412 de su revisión y crítica.

### 413 **3.1.5 Tipos y fuentes de datos del inventario**

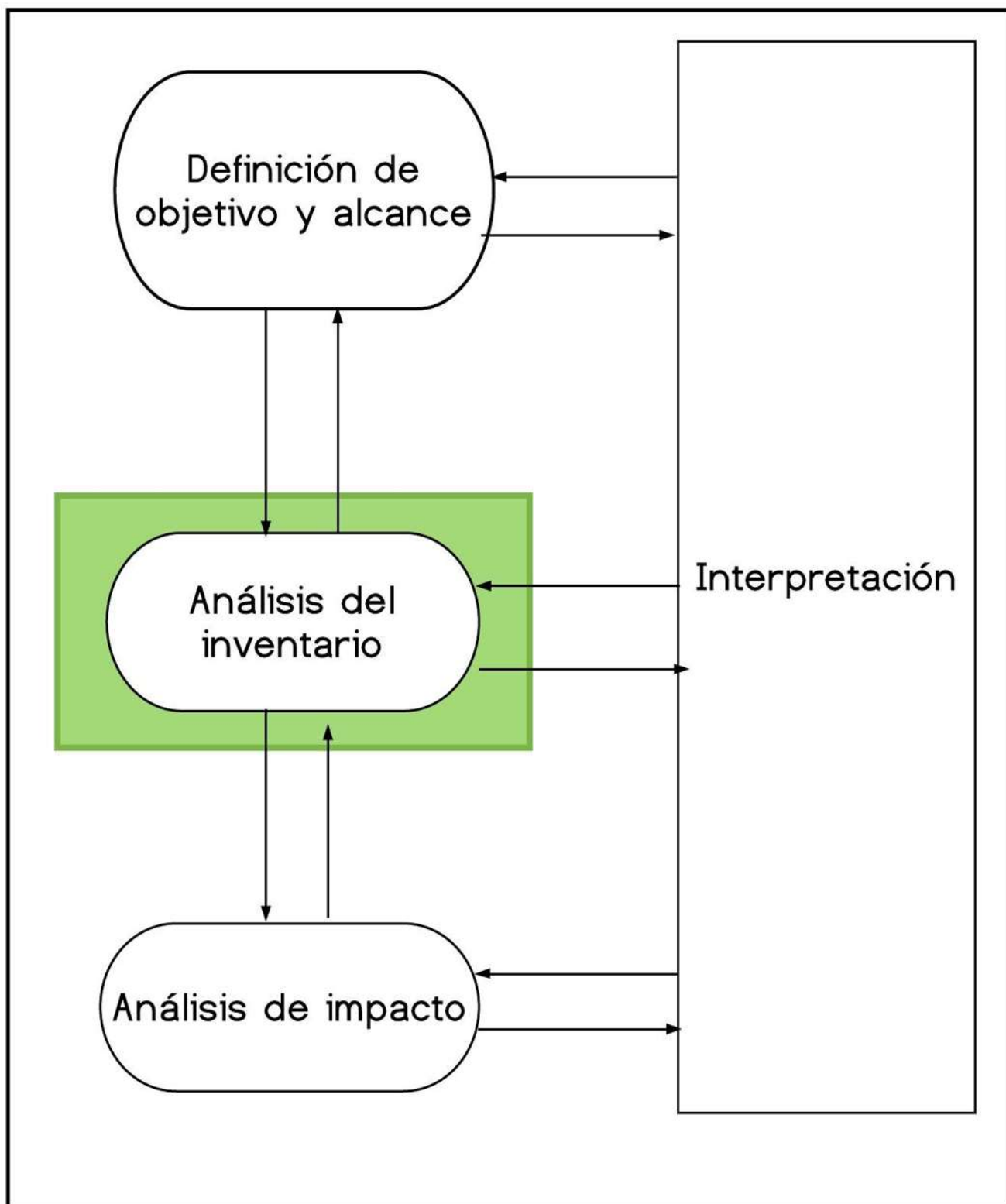
414 Los datos fueron obtenidos directamente en el sitio de estudio. Los datos de fondo  
415 fueron extraídos de bases de datos, sitios web de empresas, marcas registradas y  
416 literatura científica. La Tabla 6 presenta las fuentes de datos para el inventario de  
417 ciclo de vida de los escenarios de residuos.

418



Tabla 6 Fuentes de información del ICV. Escenarios de residuos

Proceso unitario	Tipo de dato	Dato	Fuente
<b>Escenario 1</b>			
Transporte de RHME	Vehículos de transporte Tipo de combustible Capacidad de carga	Investigado	<a href="http://www.ford.mx/servlet/BlobServer/Ford_350.pdf">http://www.ford.mx/servlet/BlobServer/Ford_350.pdf</a> .
Tkm	Cantidad y distancia recorrida	Calculado-investigado	<a href="https://www.google.com.mx/maps">https://www.google.com.mx/maps</a>
Disposición de RHME	Cantidad de dispuesta/RESA RHME	Calculada	Estudio de caracterización (NOM-083-SEMARNAT-2003).
<b>Escenario 2</b>			
Esterilización	Tipo de tecnología/Esterilizador	Investigado	Estudio de caracterización (NOM-083-SEMARNAT-2003).
	Electricidad (Proceso)	Investigado	<a href="http://www.ortmed.mx/">http://www.ortmed.mx/</a>
	Agua (Proceso) Bactericida	Investigado Investigado	<a href="http://www.ortmed.mx/">http://www.ortmed.mx/</a> <a href="http://www.ortmed.mx/">http://www.ortmed.mx/</a>
	Porcentaje y tipo de RHME a esterilizar	Investigado	Estudio de caracterización *Ficha técnica del esterilizador Steriflash 200ST
Transporte de RHME	Tkm	Calculado Investigado	Artículos Científicos
Reciclaje	Kg	Calculado	





## 421 3.2 Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV)

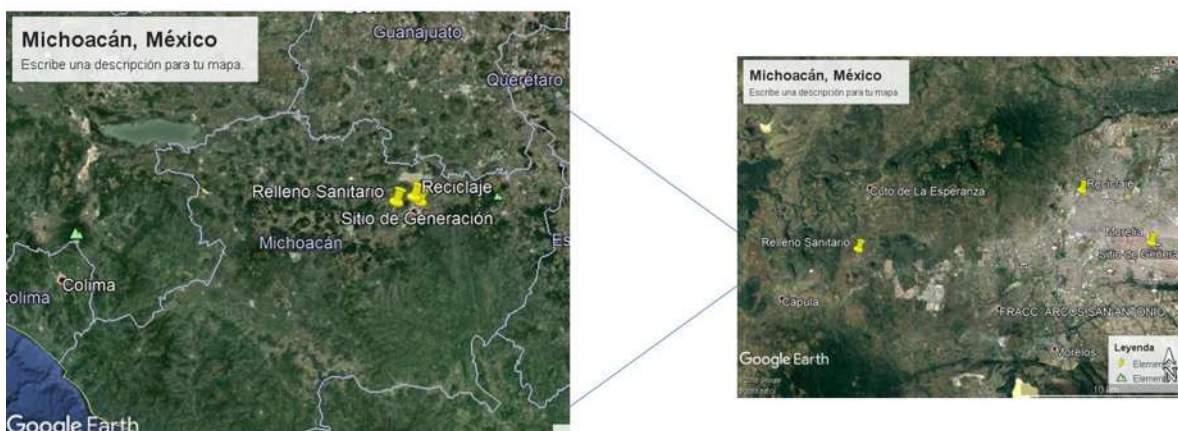
422 El inventario de ciclo de vida (ICV) es la etapa del ACV donde se conjunta toda la  
423 información relevante para el análisis de impacto ambiental.

424 A continuación, se va a describir el procedimiento con el cual se ha creado el ICV  
425 para cada escenario de residuos aquí analizado.

### 426 Escenario de residuos A

427 Transporte de los RHME

428 El transporte de los RHNP consideró la distancia recorrida del sitio de generación  
429 hasta el RESA. La ruta de transporte se estableció a partir de la aplicación web  
430 “Google Earth” (Figura 8). La cantidad de RHME transportados incluye la cantidad  
431 generada por día estimada en 37.30 kg/RHNP/. La tecnología de transporte  
432 consideró los modelos “Transport, freight lorry 3.5-7.5 metric/ton, Euro 3{RoW}” de  
433 las bases de datos de Ecoinvent versión 3.0.0



434  
435 **Figura 8 Ruta de disposición final**  
436 **Elaboración a partir de: <https://www.google.com.mx/maps>**  
437

438





439 Para calcular el indicador de toneladas kilómetro (tkm), fue tomada la distancia  
 440 obtenida de Google Earth y la generación total de RHME por día (Ecuación 1).

441 Ecuación 1. Cálculo de las toneladas-kilómetro

442 
$$\mathbf{tkm = m * d}$$

443 **Dónde:**

444 **tkm:** toneladas-kilometro

445 **m:** masa

446 **d:** distancia recorrida (m, km, mi)

447

448 Finalmente, los cálculos fueron ajustados para cumplir con la unidad funcional  
 449 (transportar 11,639 kg de RHME), considerando que el transporte de residuos se  
 450 realiza anualmente (52 semanas/año). Posteriormente, se generó la base de datos  
 451 del ICV para esta etapa y se cargó en el software Simapro 8.0.5.0 (Tabla 7).

452 **Tabla 7 Inventario de ciclo de vida transporte**

<b>Etapa</b>	<b>Características del transporte. Ecoinvent Allocation Default Unit versión 3.0 SimaPro 8.4.0.0</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Transporte RHME	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {MX}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   Alloc Def, U.	116.4	tkm

453

454 Disposición final de RHME

455 Para la modelación de este escenario se realizó un estudio de caracterización  
 456 durante 6 días consecutivos en la unidad de atención médica ambulatoria. Los  
 457 criterios de selección para el tamaño de la muestra y clasificación de los RHME  
 458 (Figura 9) se determinaron a partir de las siguientes normas:

- 459
- 460 • NMX-AA-15-1985: muestreo y método de cuarteo.
  - 461 • NMX-AA-22-1985: selección y cuantificación de subproductos.
  - 462 • NOM-161-SEMARNAT-2011: criterios para clasificación de los residuos de manejo especial.

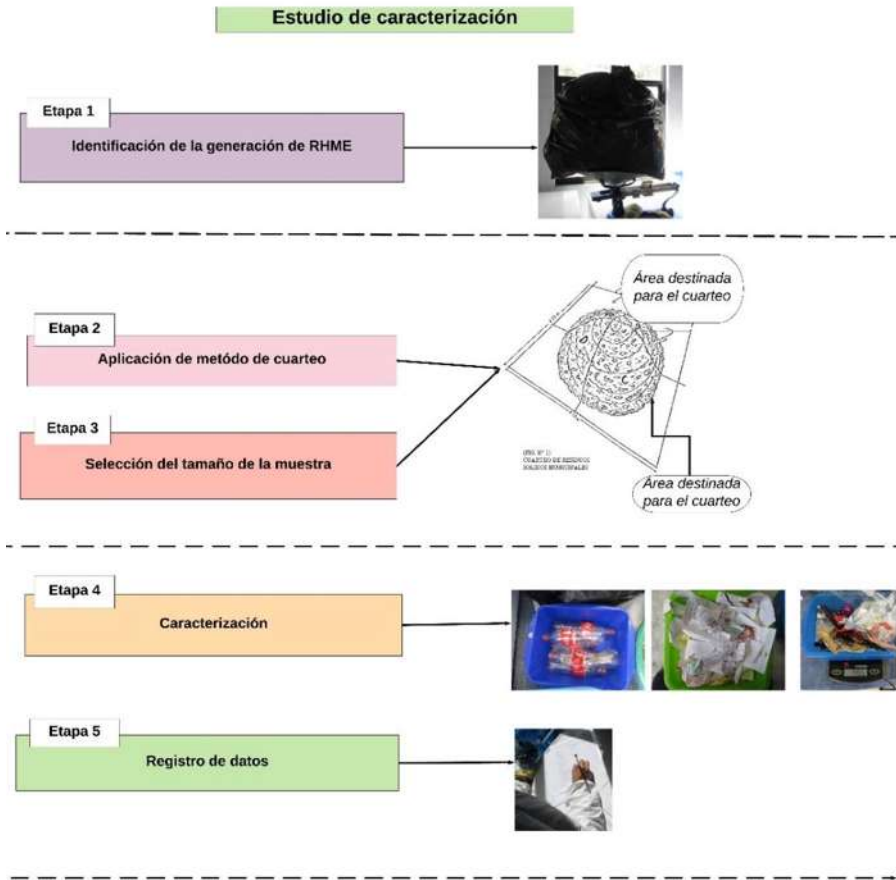


Figura 9 Estudio de caracterización

463

464

465

466 Posterior a esto, los datos fueron extrapolados según la unidad funcional, es decir  
467 de acuerdo con la generación anual (11,678 kg). La Tabla 8 presenta el ICV para el  
468 escenario 1, en la cual se creó un mix para el tratamiento de cada uno de los  
469 residuos, esto se hizo tomando en cuenta cada una de los posibles tratamientos.

470

Tabla 8. ICV de disposición de RHME en RESA

RHME	Cantidad	Unidad	%	Características de disposición. Base de datos Ecoinvent versión 3.0 SimaPro 8.4.0.0
<b>Papel</b>	<b>603</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste graphical paper   treatment of, sanitary landfill.</b>
			20	Waste graphical paper {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			30	Waste graphical paper {Europe without Switzerland}  treatment of waste graphical paper, sanitary landfill   Alloc Def, U
			50	Waste graphical paper {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>Cartón</b>	<b>2678</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste paperboard  treatment of, sanitary landfill.</b>
			25	Waste paperboard {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			25	Waste paperboard {Europe without Switzerland}  treatment of waste paperboard, sanitary landfill   Alloc Def, U
			50	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>Metal</b>	<b>55</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste aluminium (waste treatment)  treatment of waste aluminium, sanitary landfill</b>
			35	Waste aluminium (waste treatment) {CH}  treatment of waste aluminium, sanitary landfill   Alloc Def, U
			20	Waste aluminium (waste treatment) {GLO}  market for waste aluminium   Alloc Def, U
			40	Waste aluminium (waste treatment) {RoW}  treatment of waste aluminium, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>PET</b>	<b>238</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste polyethylene terephthalate  treatment of waste polyethylene terephthalate, sanitary landfill</b>
			40	Waste polyethylene terephthalate {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			30	Waste polyethylene terephthalate {Europe without Switzerland}  treatment of waste, sanitary landfill  Alloc Def, U
			30	Waste polyethylene terephthalate {RoW}  treatment of waste polyethylene terephthalate, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>PP</b>	<b>457</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste polypropylene {MX}  treatment of, sanitary landfill</b>
			40	Waste polyethylene/polypropylene product {Europe without Switzerland}  treatment of waste polyethylene/polypropylene product, collection for final disposal   Alloc Def, U
			40	Waste polypropylene {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			20	Waste plastic plaster, for final disposal {RoW}  treatment of waste plastic, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>PS</b>	<b>420</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste polystyrene {MX}  treatment of, sanitary landfill</b>
			40	Waste polystyrene {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			20	Waste polystyrene {Europe without Switzerland}  treatment of waste polystyrene, sanitary landfill   Alloc Def, U
			40	Waste polystyrene {RoW}  treatment of waste polystyrene, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>PVC</b>	<b>146</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste polyvinylchloride {MX}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U</b>
			40	Waste plastic, mixture {RoW}  treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill   Alloc Def, U
			30	Waste polyvinylchloride {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			30	Waste polyvinylchloride {Europe without Switzerland}  treatment of waste, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>PEAD-PEBD</b>	<b>1747</b>	<b>kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste polyethylene {MX}  treatment of, sanitary landfill</b>
			40	Landfill of plastic waste EU-27



			30	Waste polyethylene {Europe without Switzerland}  treatment of waste polyethylene, sanitary landfill   Alloc Def, U
			30	Waste polyethylene {RoW}  treatment of waste polyethylene, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>Vidrio</b>	<b>511</b>	<b>kg</b>	<b>100</b>	<b>Waste glass {MX}  treatment of, inert material landfill</b>
			20	Waste glass {CH}  treatment of, inert material landfill   Alloc Def, U
			80	Landfill of glas/inert waste EU-27
<b>Textiles</b>	<b>400</b>	<b>kg</b>	<b>100</b>	<b>Landfill of textiles EU-27</b>
<b>Sanitarios</b>	<b>2627</b>	<b>kg</b>	<b>100</b>	<b>Landfill of biodegradable waste MX</b>
			10	Dummy_Disposal, municipal solid wastes, to sanitary landfill/US
			30	Municipal solid waste {CH}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			40	Municipal solid waste {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
			10	Waste paperboard {Europe without Switzerland}  treatment of waste paperboard, sanitary landfill   Alloc Def, S
			10	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U
<b>Orgánicos</b>	<b>1756</b>	<b>kg</b>	<b>100</b>	<b>Landfill of biodegradable waste MX</b>
			25	Landfill of biodegradable waste EU-27
			75	Landfill of biodegradable waste EU-27 System - Copied from ELCD
<b>Total</b>	<b>11639</b>	<b>kg</b>		

472

473 **Escenario de gestión de residuos B**

474 Esterilización de RHME

475 Para la modelación de este escenario mixto, primero propone someter los RHME a  
 476 un proceso de esterilización. Para dicho proceso se asignó el 60% de los RHME de  
 477 acuerdo al estudio de caracterización, las especificaciones técnicas y tipos de  
 478 residuos que pueden ser esterilizados por el esterilizador médico Steriflash 200ST<sup>1</sup>,  
 479 este último cuenta con certificaciones de la norma ISO 14001 (medio ambiente) y la  
 480 norma ISO 9001 (calidad). La tabla 9 muestra el ICV para este proceso.

481 **Tabla 9 Proceso de esterilización**

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales y combustibles)	Cantidad	Unidad
Water, deionised, from tap water, user {RoW}  production   Alloc Def, U	1885.4	kg
Ethylene oxide {RoW}  production   Alloc Def, U	1.7	kg
Corrugated board box {RoW}  production   Alloc Def, U	2.7	kg
Polyethylene, high density, granulate {RoW}  production   Alloc Def, U	0.1	kg
Dummy_Glue-adhesive(30-50% terpene,30-50% polybutene,5-10% polyolefin), at plant/US	0.0	kg
Printed paper, offset {RoW}  offset printing,kg printed paper   Alloc Def, U	0.0	kg
Aluminium alloy, ALi {RoW}  production   Alloc Def, U	3.4	kg
Polyethylene, low density, granulate {RoW}  production   Alloc Def, U	0.1	kg
Polypropylene, granulate {RoW}  production   Alloc Def, U	0.1	kg
<b>Entradas conocidas desde la tecnosfera (electricidad y calor)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Electricity, medium voltage {MX}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	226.2	kWh
<b>Emisiones al aire</b>		
Water	856	L
<b>Salidas conocidas a la tecnosfera. Residuos y emisiones para tratamiento</b>		
Wastewater, unpolluted, from residence {RoW}  treatment of, capacity 1.1E10l/year   Alloc Def, U	1028.4	L
Municipal solid waste {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U	6513.2	kg
<b>Productos obtenidos</b>		
RHME estériles	6856	kg

482

483 Transporte de RHME-esterilizados

484 En esta etapa se trazó la ruta de transporte de los RHME del lugar de esterilización  
485 in situ (clínica) hacia el sitio de reciclaje y de la clínica hacia el sitio de disposición  
486 final (RESA). Los cálculos y las rutas se obtuvieron mediante el uso de Google Earth  
487 y la ecuación antes descrita.

488 Disposición final de RHME-remanentes

489 En esta etapa se consideró transportar y disponer el remanente (40%) de RHME en  
490 el relleno sanitario, sin ningún tratamiento previo. La Tabla 10 muestra el ICV para  
491 las etapas de transporte y disposición final del escenario mixto.

492 Tabla 10 Inventario de ciclo de vida. Transporte y disposición final de remanentes

<b>Etapa</b>	<b>Características del transporte. Ecoinvent Allocation Default Unit versión 3.0 SimaPro 8.4.0.0</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Clínica/RESA	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   Alloc Def, U	148	tkm
Clínica/Reciclaje	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   Alloc Def, U	685	tkm
Disposición final RHME-remanentes	Landfill of textiles EU-27	400	kg
	Landfill of biodegradable waste {MX}	2627	kg
	Landfill of biodegradable waste {MX}	1756	kg

493 Reciclaje de RHME

494 En esta fase se propone que los residuos sean tratados en un proceso de reciclaje,  
495 esta asignación es en referencia al potencial de reciclaje de algunos residuos de  
496 acuerdo a diferentes artículos científicos. La cantidad para este proceso  
497 corresponde al 60% de los RHME generados en la unidad médica, la Tabla 11  
498 muestra el ICV para este proceso.

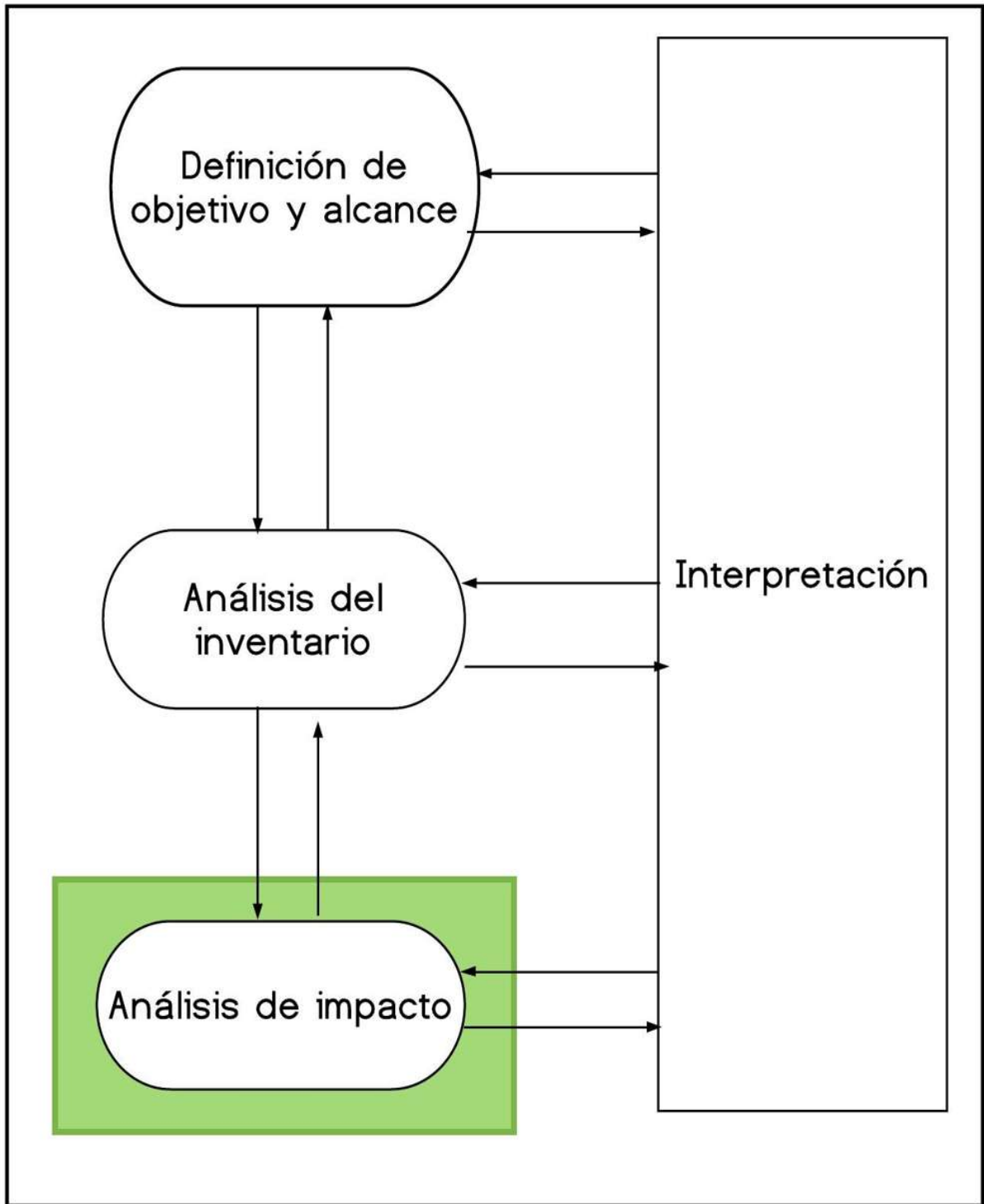
499

500

Tabla 11 ICV. Escenario de reciclaje

Material	Cantidad	Unidad	Porcentaje	Características de tratamiento. Base de datos Ecoinvent versión 3.0 Simparlo 8.4.0.0
<b>Papel /cartón</b>	<b>3,281</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Paperboard (waste treatment) {GLO}  recycling of paper   Alloc Def, U</b>
<b>Plástico</b>	<b>3,009</b>			<b>Mixed plastics (waste treatment) {MX}  recycling of mixed plastics</b>
	466		100	Mixed plastics (waste treatment) {GLO}  recycling of mixed plastics   Alloc Def, U
	1,281		90	PE (waste treatment) {GLO}  recycling of PE   Alloc Def, U
	238		90	PET (waste treatment) {GLO}  recycling of PET   Alloc Def, U
	457		90	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Alloc Def, U
	420		90	PS (waste treatment) {GLO}  recycling of PS   Alloc Def, U
	147		90	PVC (waste treatment) {GLO}  recycling of PVC   Alloc Def, U
<b>Metal</b>	<b>55</b>	<b>Kg</b>	<b>100</b>	<b>Aluminium (waste treatment) {MX}  recycling of aluminium</b>
			20	Aluminium (waste treatment) {GLO}  recycling of aluminium   Alloc Def, U
			20	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting (waste treatment) {RoW}  treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner   Alloc Def, U
			20	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting (waste treatment) {RoW}  treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner   Alloc Def, U
			15	Dummy_Recycling, Aluminum scrap/kg/RNA
			15	Dummy_Recycling, Steel scrap/kg/RNA
			10	Steel and iron (waste treatment) {GLO}  recycling of steel and iron   Alloc Def, U
<b>Vidrio</b>	<b>511</b>		<b>100</b>	<b>Packaging glass, white (waste treatment) {GLO}  recycling of packaging glass, white   Alloc Def, U</b>
<b>Total</b>	<b>6856</b>	<b>Kg</b>		

501



502

503





### 504 **3.3 Evaluación de impacto del ciclo de vida**

505 La Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) es la etapa que evaluó el  
506 impacto ambiental de un servicio, sistema o producto con relación a los materiales  
507 e insumos requeridos durante todo el proceso. El objetivo del ACV fue analizar el  
508 impacto ambiental de gestionar los RHME en dos escenarios de residuos distintos.  
509 A continuación, serán descritos los principales resultados obtenidos de la EICV de  
510 la gestión de residuos.

#### 511 **3.3.1 Clasificación del impacto ambiental de la gestión de residuos**

##### 512 **hospitalarios**

513 La clasificación es uno de los elementos obligatorios del ACV de acuerdo a la norma  
514 ISO 14044 (2006). El objetivo principal es asignar los resultados de la evaluación  
515 del ICV a categorías de impacto ambiental de punto medio.

516 La Tabla 12, muestra la clasificación del impacto ambiental de la gestión de los  
517 RHME. La clasificación fue construida a partir del análisis de Normalización<sup>1</sup> del ICV  
518 con el “Método ReCiPe Midpoint (H) V1.13 World ReCiPe H/Normalización”. Según  
519 el análisis, los resultados del ICV están asociados principalmente con impactos  
520 potenciales al agua tales como ecotoxicidad y eutrofización de agua marina y agua  
521 dulce.

522

---

<sup>1</sup> Normalización: el cálculo de la magnitud del impacto de los resultados de un indicador de categoría con relación a información de referencia. El uso de la Normalización no es un elemento obligatorio de la EICV y los resultados están sujetos a incertidumbre, por lo que se sugiere se limite su uso para analizar la magnitud del impacto ambiental.

523

Tabla 12 Clasificación de la gestión de los residuos hospitalarios

Escenario	Etapas	Outputs	Cantidad	Unidad	Mecanismo ambiental	Categoría de impacto
Escenario actual	Transporte	RHME	394.4	Tkm	Emisión de compuestos químicos persistentes hacia el agua y la cadena alimenticia.	Ecotoxicidad marina. Toxicidad humana
	Disposición final	RHME	11639	Kg	Descarga de nutrientes (N y P) en cuerpos de agua. Emisiones de GEI.	Ecotoxicidad marina. Ecotoxicidad en agua fresca. Ecotoxicidad marina
Escenario propuesto	Esterilización	Electricidad	226.2	kWh	Emisión de compuestos químicos persistentes hacia el agua	Ecotoxicidad marina Eutrofización de agua dulce Toxicidad humana Material particulado
		Agua residual	1.02	m <sup>3</sup>	Emisiones de GEI. Emisión de compuestos químicos persistentes hacia el agua.	Cambio climático Ecotoxicidad marina.
	Transporte	RHME	147.8	Tkm	Emisión de compuestos químicos persistentes hacia el agua y sobre la cadena alimenticia.	Ecotoxicidad marina. Toxicidad humana
	Reciclaje	RHME	6856	Kg	Descarga de nutrientes (N y P) en cuerpos de agua. Emisiones de GEI.	Eutrofización marina Cambio climático
	Disposición final	RHME	4783	Kg	Descarga de nutrientes (N y P) en cuerpos de agua. Emisiones de GEI.	Eutrofización de agua fresca Cambio climático

524

### 525 3.3.2 Caracterización del impacto ambiental global

526 La caracterización del impacto ambiental es el segundo de los elementos  
527 obligatorios de la EICV y consiste en la transformación de los resultados del ICV a  
528 impactos ambientales, empleando los modelos y factores de caracterización de los  
529 métodos de EICV. La Figura 10, presenta el impacto ambiental global con enfoque  
530 de ciclo de vida de la gestión actual de los RHME. De acuerdo con este resultado  
531 global, en la disposición final se concentró el 87% de la huella ambiental del sistema-  
532 producto.

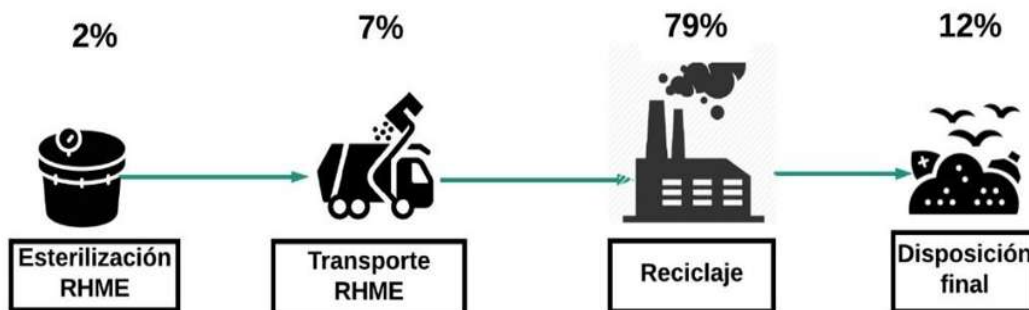


533  
534

Figura 10 Huella ambiental del escenario actual

535

536 La Figura 11, presenta el impacto ambiental global con enfoque de ciclo de vida de  
537 la gestión de los RHME propuesta. De acuerdo con este resultado global, el 79% de  
538 la huella ambiental se concentró en el proceso de reciclaje.



539  
540

Figura 11 Huella ambiental del escenario mixto



541 La Figura 12, ilustra la distribución del impacto ambiental de los procesos unitarios  
542 incluidos en el escenario de manejo y tratamiento actual (E-A) y el escenario mixto  
543 (E-B) . En el escenario actual el proceso de disposición final de los RHME  
544 representó más del 60% de la carga ambiental en casi todas las categorías de  
545 impacto. Se puede observar una carga ambiental evitada en la categoría de  
546 transformación de tierras naturales, esto se puede atribuir a la disposición de cartón  
547 en el RESA. La transportación de los residuos impacto principalmente sobre la  
548 categoría de ocupación de tierras agrícolas y ecotoxicidad terrestre. Por otra parte,  
549 se muestra la distribución de los impactos ambientales de los procesos unitarios del  
550 sistema de gestión mixto. El proceso de disposición en RESA presentó más del 60%  
551 de las cargas ambientales en las categorías de eutrofización de agua fresca y agua  
552 marina. El transporte de residuos hacia el proceso de reciclaje represento el 30%  
553 en la categoría de agotamiento de ozono. En esta misma figura se puede observar  
554 que el proceso de reciclaje contribuye con más del 60% de las cargas evitadas en  
555 todas las categorías de impacto, las categorías con una carga evitada con más del  
556 90% son la radiación ionizante y ocupación de tierras agrícolas.

557

558

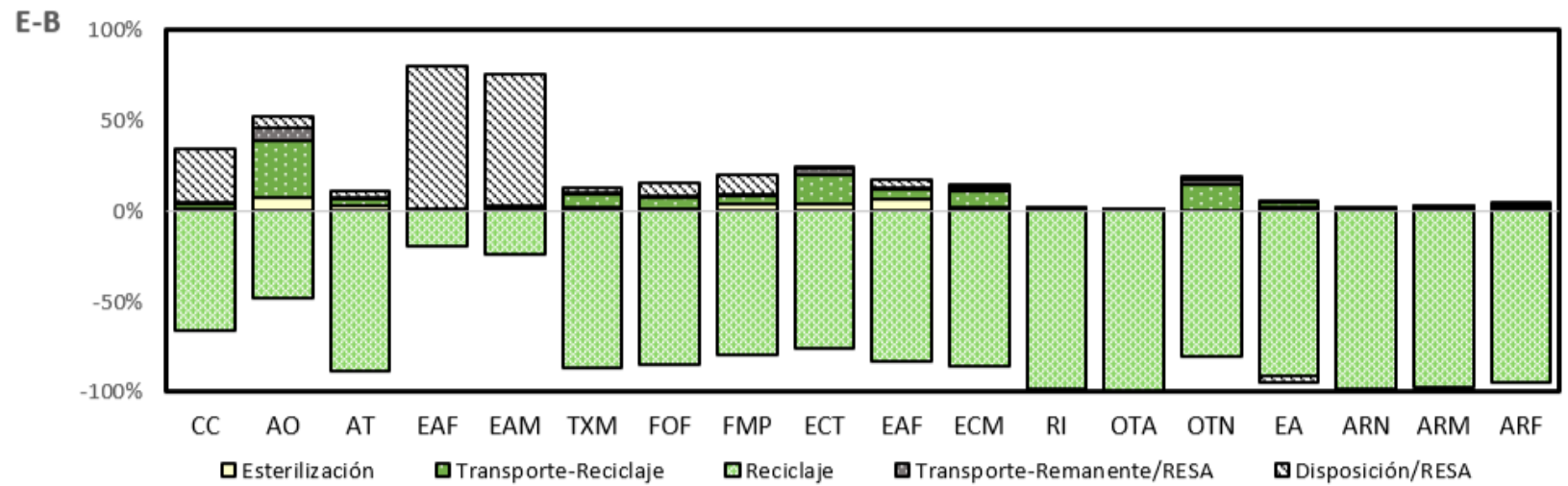
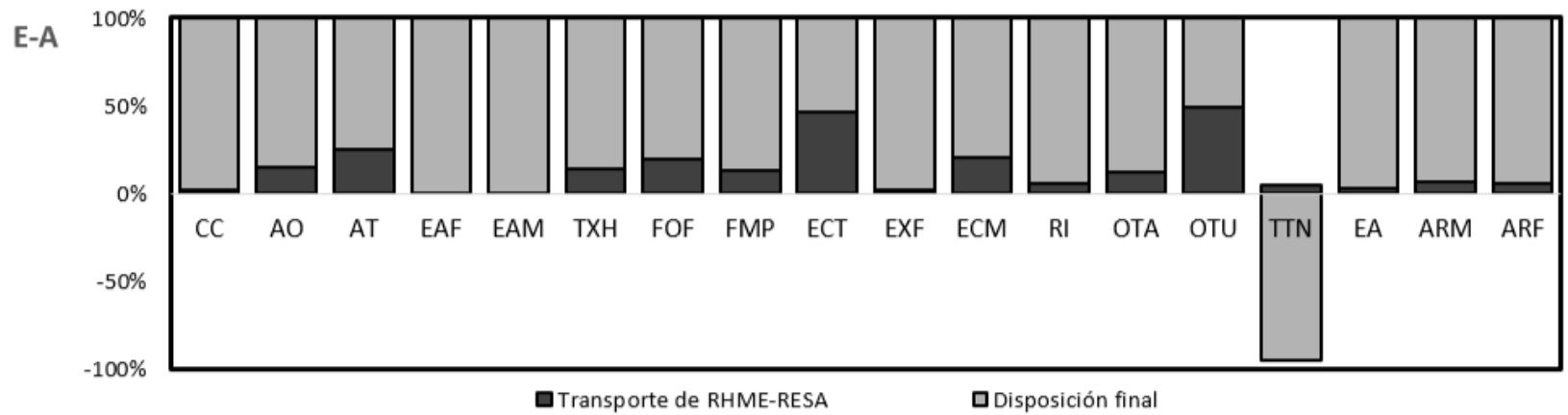


Figura 12 Potenciales impactos del escenario actual y el escenario mixto

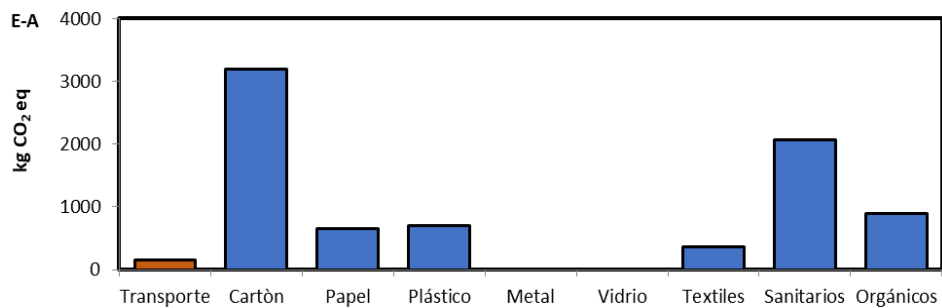
559  
560  
561

### 562 3.3.3 Impacto ambiental por categoría

#### 563 3.3.2.1 Cambio climático

##### 564 Escenario Actual

565 La Figura 13, muestra el impacto potencial a la categoría de cambio climático del  
566 escenario de residuos actual. Según los resultados, se emite un total de 8,040 kg CO<sub>2</sub>  
567 eq por (UF) referente a 11,639 kg de RHME. La disposición final concentró más del  
568 98% de las emisiones totales de GEI, siendo el cartón y los residuos sanitarios los  
569 tipos de residuos con mayores emisiones. El análisis de contribución reveló que la  
570 sustancia con mayor potencial de cambio climático fue el metano con el 80% de las  
571 emisiones por la disposición final de los RHME (Anexo D).



572  
573 Figura 13 Impacto a cambio climático (disposición final)

##### 574 Escenario mixto

575 El potencial de cambio climático asociado al escenario de residuos mixto se presenta  
576 en la Figura 14. De acuerdo con el análisis, el reciclaje reduce en un 200% el impacto  
577 al cambio climático de este escenario, es decir se evitaría una emisión total de 7,496  
578 kg de CO<sub>2</sub> eq. Por otra parte, al análisis de contribución mostró que la sustancia con  
579 mayor emisión fue Metano con un potencial de 1,369.4 kg de CO<sub>2</sub> eq, así mismo, el  
580 CO<sub>2</sub> de origen fósil representó la mayor carga evitada con 5725.7 kg de CO<sub>2</sub> eq (Anexo  
581 D).

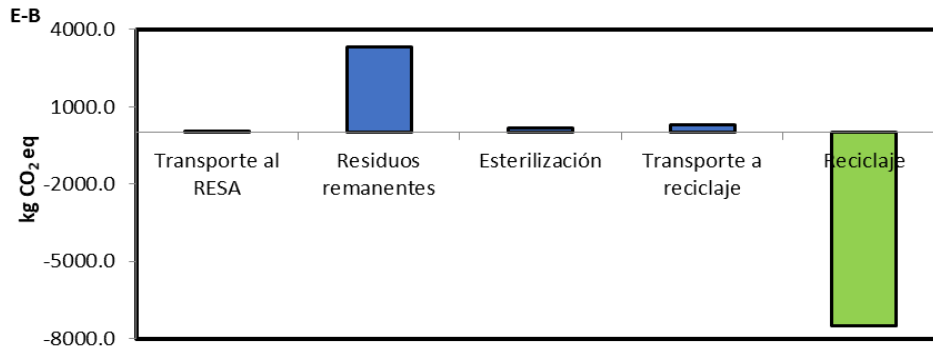


Figura 14 impacto a cambio climático (reciclaje)

582  
583  
584

### 3.3.2.2 Agotamiento de la capa de ozono

#### 586 Escenario actual

587 El escenario actual tiene un impacto potencial de agotamiento de la capa de ozono de  
588  $2.1 \cdot 10^{-5}$  kg de CFC-11 eq. Tal impacto se relaciona principalmente con la disposición  
589 final de cartón, los residuos orgánicos y los residuos sanitarios (Figura 15). Así mismo,  
590 de acuerdo al análisis de contribución la sustancia con mayor contribución sobre el  
591 agotamiento de la capa de ozono fue el Bromo-tri-fluoro-metano, ocupando el 38.5%  
592 de las emisiones totales (Anexo D).

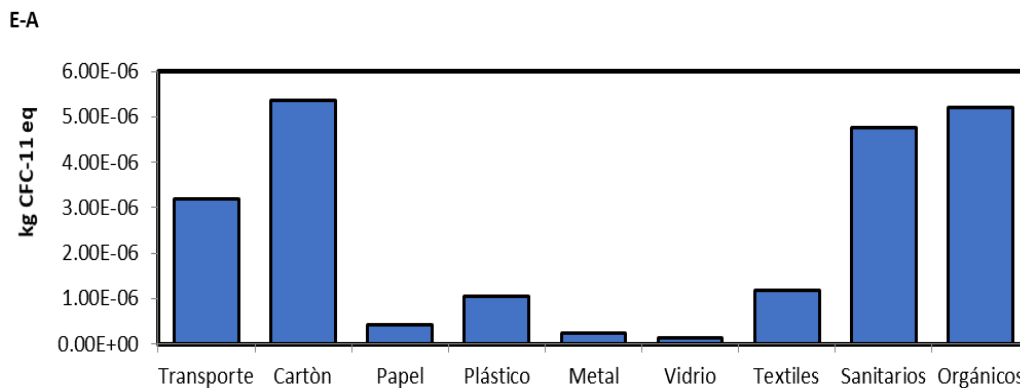


Figura 15 Impacto a agotamiento de ozono (disposición final)

593  
594  
595

#### 596 Escenario mixto

597 El escenario mixto en contra parte al escenario actual, tuvo un impacto potencial de  
598 agotamiento de la capa de ozono de  $2.2 \cdot 10^{-5}$  kg de CFC-11 eq. El proceso unitario



599 con mayor contribución fue el transporte de los materiales reciclables al centro de  
600 acopio, ocupando el 56.3% del total de las emisiones. Así mismo, el reciclaje logró  
601 reducir las emisiones totales de CFC-11 eq en  $6.5 \cdot 10^{-5}$ , un 300% aproximadamente  
602 (Figura 16). El análisis de contribución, reveló que la sustancia esperada con mayor  
603 emisión fue el Bromo-cloro-di-flouro-metano, ocupando el 63.3% del total de las  
604 emisiones (Anexo D).

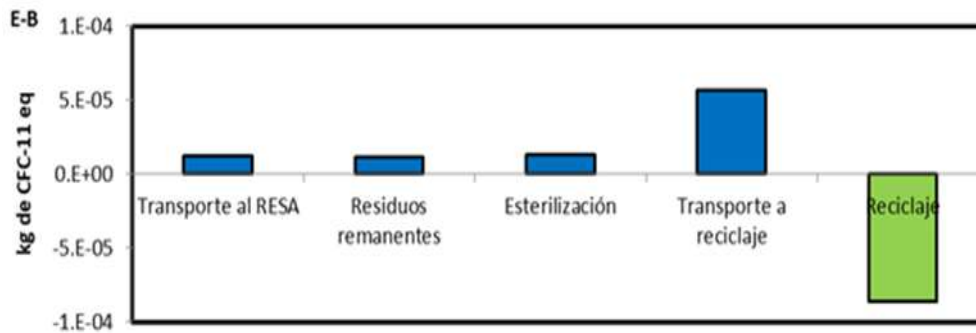


Figura 16 Impacto a agotamiento de ozono (reciclaje)

605  
606  
607

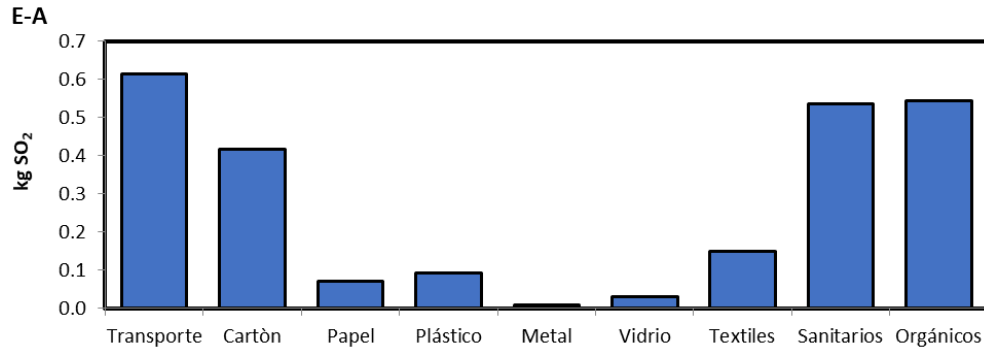
### 608 3.3.2.3 Acidificación terrestre

#### 609 Escenario actual

610 Se estimó un impacto potencial para el escenario actual a la acidificación terrestre de  
611 0.6 kg SO<sub>2</sub> eq. Tales emisiones se relacionan principalmente con el transporte y la  
612 disposición final de residuos orgánicos, sanitarios y cartón (Figura 17). Según el  
613 análisis de contribución, la sustancia esperada con mayor impacto a la acidificación  
614 terrestre fue el SO<sub>2</sub> relacionado principalmente a la disposición final de papel (Anexo  
615 D).

616



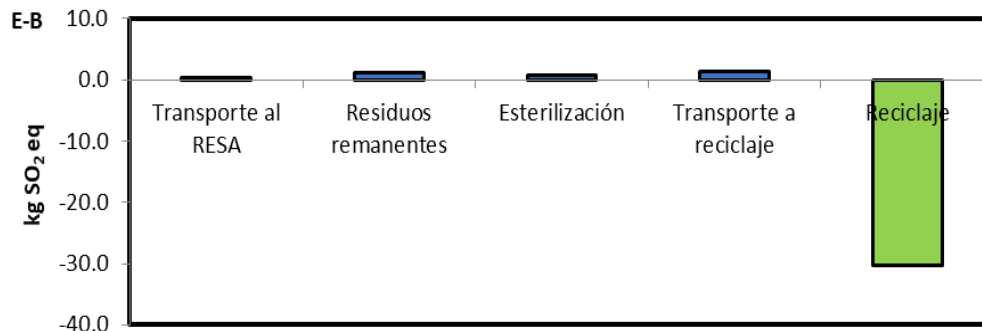


617  
618

Figura 17 Impacto a acidificación terrestre (disposición final)

619 Escenario mixto

620 El escenario mixto en contra parte al escenario actual, tuvo un impacto potencial a la  
621 acidificación terrestre de 3.8 6 kg de SO<sub>2</sub> eq. Sin embargo, se tiene una carga evitada  
622 de 26.4 kg SO<sub>2</sub> eq debido al reciclaje de los materiales esterilizados, reduciendo el  
623 impacto ambiental hacia esta categoría en un 800% (Figura 18). La sustancia más  
624 evitada en este escenario son los Óxidos de Azufre, con un total de 20.8 6 kg SO<sub>2</sub> eq  
625 (Anexo D).



626  
627  
628

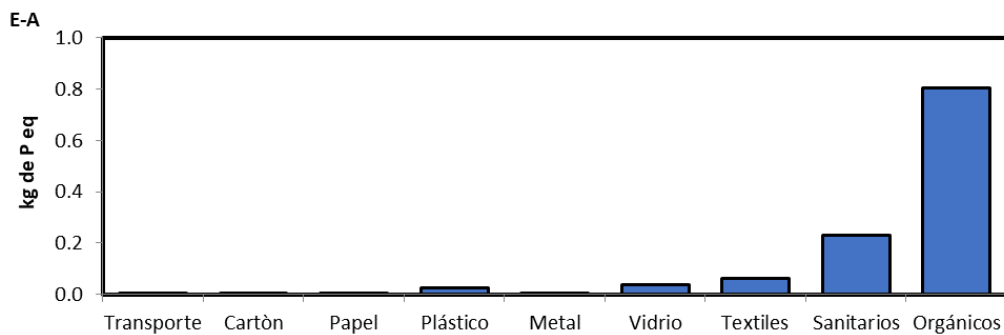
Figura 18 impacto a acidificación terrestre (reciclaje)



### 629 3.3.2.4 Eutrofización en agua fresca

#### 630 Escenario actual

631 El escenario actual tuvo un potencial de eutrofización en agua fresca de 1.2 kg de P  
632 eq, derivado principalmente por la disposición final de los residuos orgánicos (Figura  
633 19). Para este escenario, la sustancia con mayor potencial nitrificante fue el Fosfato  
634 en suelo (Anexo D)



635  
636 Figura 19 Impacto a eutrofización de agua fresca (disposición final)

#### 637 638 Escenario mixto

639 El potencial de eutrofización en agua fresca relacionado con el escenario mixto fue de  
640 0.8 kg P eq. Al igual que en el escenario actual, la disposición de residuos en el relleno  
641 sanitario es el proceso que más contribuye en esta categoría, lo que es esperado pues  
642 se incorpora materia orgánica en la corriente de residuos remanentes (Figura 20). La  
643 sustancia con mayor contribución a la eutrofización en agua fresca fue de igual manera  
644 el Fosfato en suelo con una emisión de 0.9 kg de P eq. No obstante, debido al reciclaje  
645 se dejan de emitir potencialmente 0.7 kg de P eq (Anexo D).

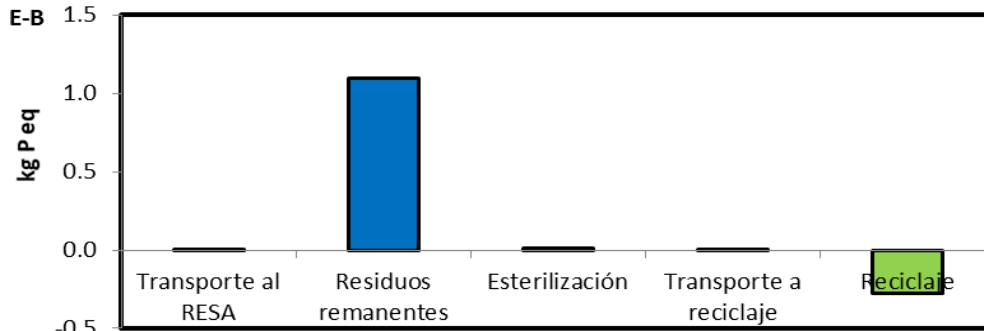


Figura 20 Impacto a eutrofización de agua fresca (reciclaje)

646  
647

648

### 649 3.3.2.5 Eutrofización marina

#### 650 Escenario actual

651 El escenario actual tuvo un potencial de eutrofización marina de 8.6 kg de N eq,  
652 derivado principalmente por la disposición final del cartón, los residuos sanitarios, el  
653 papel y los residuos orgánicos (Figura 21). Para este escenario, la sustancia con mayor  
654 potencial nitrificante fue el nitrato en suelo (Anexo D)

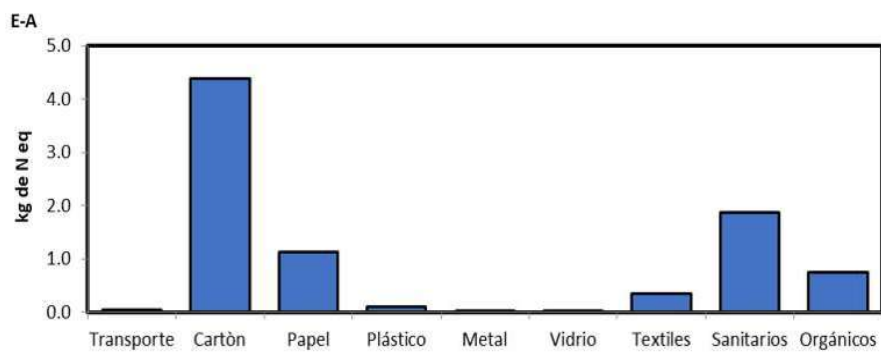


Figura 21 Impacto a eutrofización marina (disposición final)

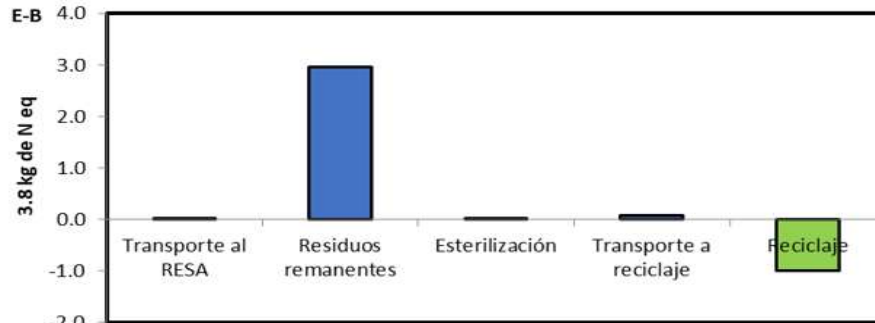
655  
656

#### 657 Escenario mixto

658 El potencial de eutrofización marina por el escenario mixto fue de 3.8 kg de N eq en  
659 total, siendo la disposición final de los residuos remanentes los que ocuparon la mayor  
660 carga nitrificante. El reciclaje de los RHME evita la emisión de 1 kg de SO<sub>2</sub> eq (Figura



661 22). La sustancia esperada con mayor contribución, fue el Amonio con 0.7 kg de N eq  
662 (Anexo D).



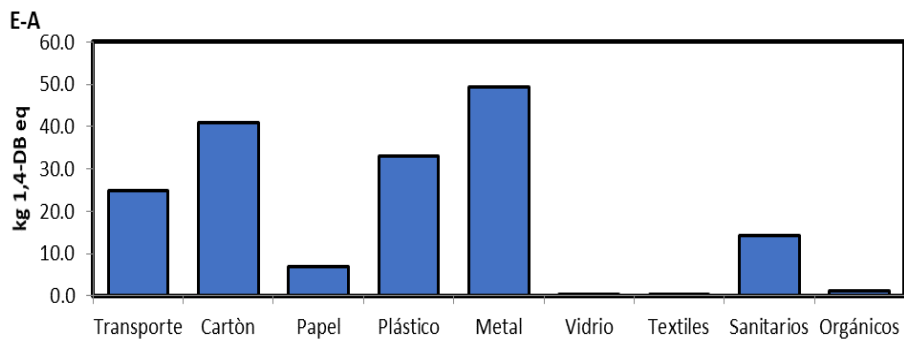
663  
664 Figura 22 impacto a eutrofización marina (reciclaje)  
665

### 666 3.3.2.6 Toxicidad humana

#### 667 Escenario actual

668 La Figura 23, muestra el potencial de toxicidad humana del escenario de residuos  
669 actual. Según los resultados, el escenario actual emite un total de 171.1 kg 1,4-DB eq.

670 La disposición final metal, cartón y plástico, así como el transporte al relleno sanitario,  
671 fueron los procesos con mayor contribución en esta categoría de impacto  
672 concentrando entre ellos más del 90% del impacto hacia la toxicidad humana. La  
673 sustancia con mayor presencia para la toxicidad humana fue el Arsénico y el  
674 Manganeseo (Anexo D).

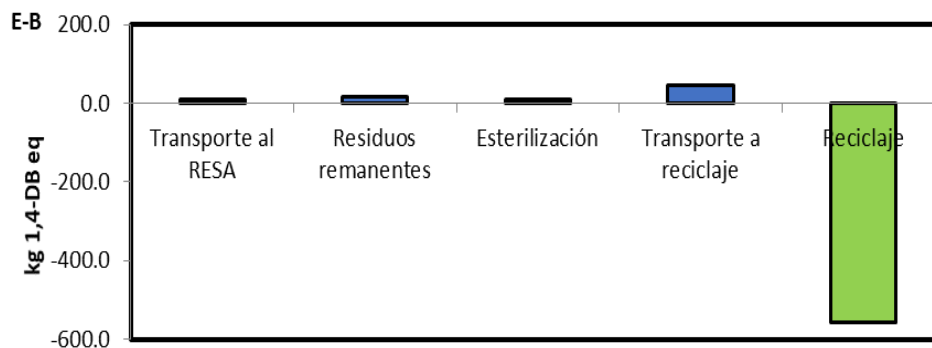


675  
676 Figura 23 impacto a toxicidad humana (disposición final)



677 Escenario mixto

678 El potencial de toxicidad humana relacionado con el escenario mixto resultó en un total  
679 de -474.6 kg de 1,4-DB eq (Figura 24). Esta carga evitada se debe al reciclaje de los  
680 materiales esterilizados (Tabla 24). Así mismo, el análisis de contribución reveló que,  
681 a causa del reciclaje se dejan de emitir aproximadamente 180 kg de 1,4-DB eq de  
682 Plomo, 84.2 kg de 1,4-DB eq de Arsénico, 49.3 kg de 1,4-DB eq de Mercurio y 32.4 kg  
683 de 1,4-DB eq de Selenio (Anexo D).



684  
685 Figura 24 impacto a toxicidad humana (reciclaje)

686

687 3.3.2.7 Formación de oxidantes fotoquímicos

688 Escenario actual

689 El escenario actual tuvo un potencial de formación de oxidantes fotoquímicos de 5.9  
690 kg NMVOC eq, derivados principalmente por la disposición final del cartón, los residuos  
691 sanitarios, el transporte y los residuos orgánicos (Figura 25). Para este escenario, la  
692 sustancia con mayor emisión fue el Metano biogénico derivado de la degradación  
693 anaerobia del cartón en el relleno sanitario (Anexo D).

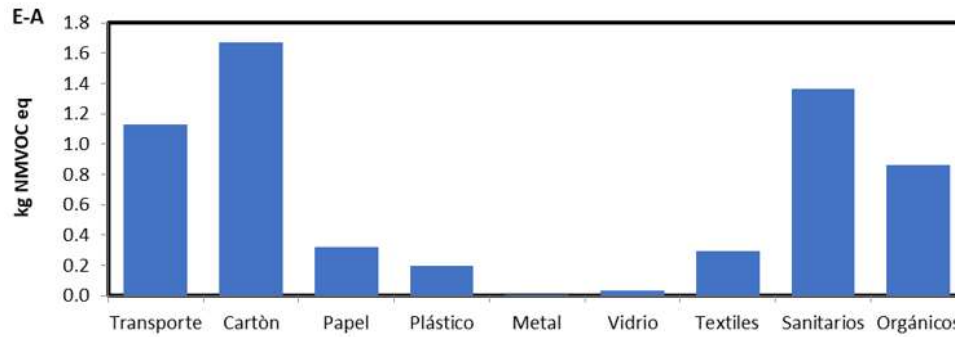


Figura 25 impacto a formación de oxidantes fotoquímicos (disposición final)

694  
695  
696

697 Escenario mixto

698 El potencial de eutrofización en agua fresca relacionado con el escenario mixto fue de  
699 5.6 kg NMVOC eq. Sin embargo, con el reciclaje de los materiales esterilizados, se  
700 dejan de emitir un total de 31.9 kg NMVOC eq, un 500% menor al potencial impacto a  
701 la formación de oxidantes fotoquímicos (Figura 26). Debido al reciclaje se evita un total  
702 de 26.7 kg NMVOC eq, siendo la sustancia con mayor probabilidad de emisión los  
703 Óxidos de Nitrógeno (Anexo D).

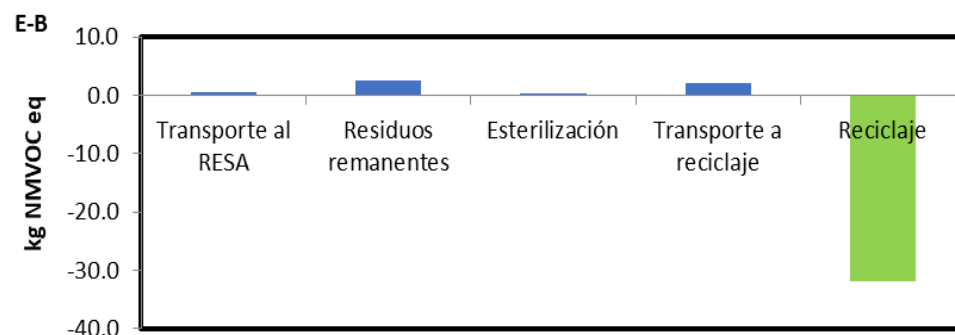


Figura 26 impacto a formación de oxidantes fotoquímicos (reciclaje)

704  
705  
706

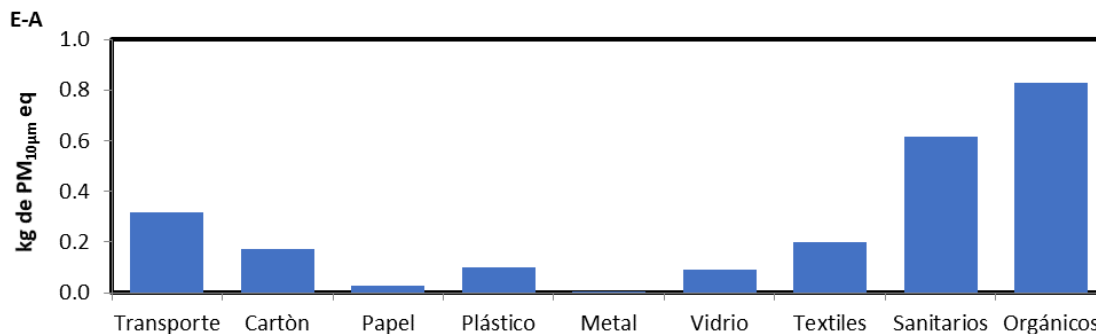
707  
708  
709  
710



711 3.3.2.8 Formación de material particulado

712 Escenario actual

713 La Figura 27 muestra el impacto a la formación de material particulado relacionado con  
714 el escenario de residuos actual. Según el análisis, se tiene un impacto total hacia esta  
715 categoría de 2.4 kg de  $PM_{10\mu m}$  eq, siendo la disposición final de los residuos orgánicos  
716 (35%) y sanitarios (26%), los cuales ocuparon la mayor parte de las emisiones. Para  
717 este escenario, la sustancia con mayor emisión fueron las Partículas  $>2.5\mu m$ , y  $<10\mu m$   
718 derivado de la degradación anaerobia de los residuos orgánicos en el relleno sanitario  
719 (Anexo D).



720 Figura 27 impacto a formación de material particulado (disposición final)

725 Escenario mixto

726 El escenario mixto tuvo un potencial de formación de material particulado de 3 kg de  
727  $PM_{10\mu m}$  eq, sin embargo, con el reciclaje de los materiales esterilizados, se dejan de  
728 emitir un total de 11.9 kg de  $PM_{10\mu m}$  eq (Figura 28). Para este escenario la sustancia  
729 con mayor probabilidad de que el Dióxido de Nitrógeno, representando un impacto de  
730 0.3 kg de  $PM_{10\mu m}$  eq (Tabla 29).

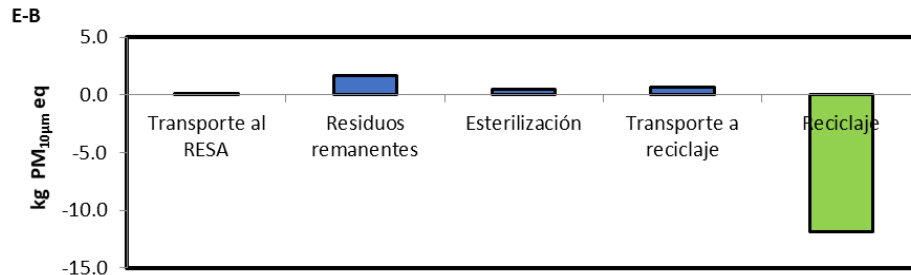


Figura 28 impacto a formación de material particulado (reciclaje)

731  
732  
733

### 734 3.3.2.9 Ecotoxicidad marina

#### 735 Escenario actual

736 La Figura 29 presenta el potencial de Ecotoxicidad marina relacionado con el escenario  
737 actual. De acuerdo con el análisis, se estima que en total se emiten 1.9 kg de 1,4 DB  
738 eq, siendo el transporte y la disposición final de plástico los procesos unitarios que  
739 ocuparon la mayor parte del impacto hacia esta categoría. Por otra parte, la sustancia  
740 mayormente relacionada con la Ecotoxicidad marina fue el Vanadio, con una emisión  
741 equivalente a 0.04 kg de 1,4 DB eq (Anexo D).

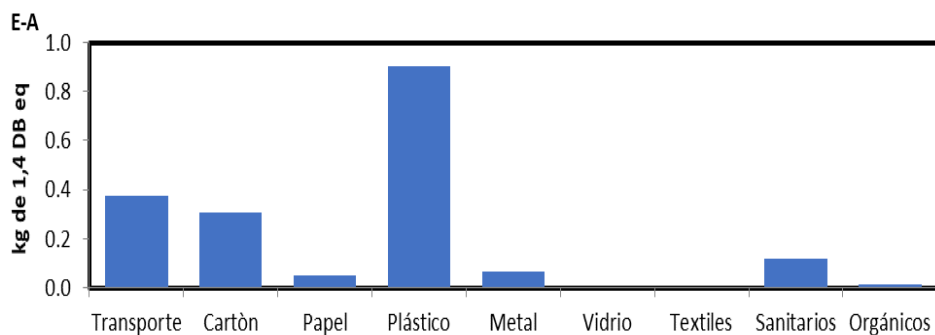


Figura 29 impacto a ecotoxicidad marina (disposición final)

742  
743

744

745

746

747

748

749

#### 750 Escenario mixto





751 El escenario mixto evita la emisión de 0.3 kg de 1,4 DB eq debido al reciclaje de los  
752 materiales esterilizados (Figura 30). En este escenario, la sustancia con mayor es el  
753 cobre, sin embargo, con el reciclaje se evita la incorporación al ambiente de 0.05 kg  
754 de 1,4 DB eq de Cobre, 0.06 de Cipermitrina y 0.1 de Selenio (Anexo D).



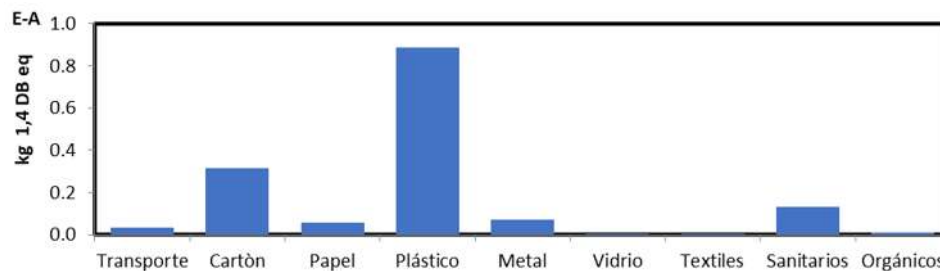
755  
756 Figura 30 impacto a ecotoxicidad marina (reciclaje)

757

### 758 3.3.2.10 Ecotoxicidad en agua fresca

#### 759 Escenario actual

760 Se estima que el escenario actual tiene el potencial de emitir un total de 1.5 kg de 1,4  
761 DB eq, debido principalmente a la disposición final de los plásticos y cartón en el relleno  
762 sanitario (Figura 31). La sustancia responsable del mayor impacto fue el manganeso  
763 y el bromo relacionado con 66 % de la contribución a esta categoría (Anexo D).

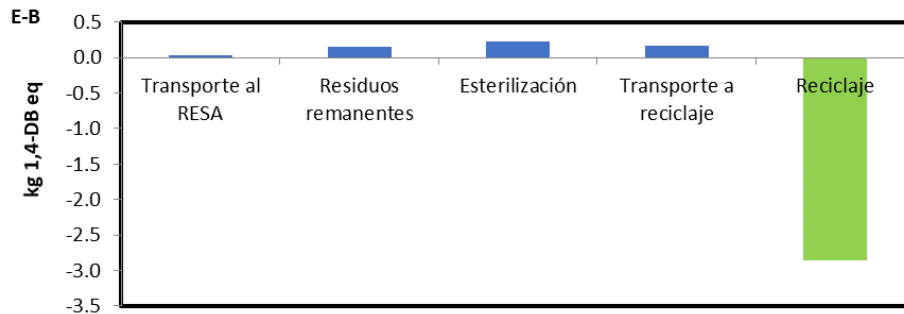


764  
765 Figura 31 impacto a ecotoxicidad en agua fresca (disposición final)

#### 766 Escenario mixto



767 EL tratamiento de los RHME bajo este escenario evita un impacto total a la  
768 Ecotoxicidad en agua fresca de 2.9 kg de 1,4-DB eq debido al reciclaje de los residuos  
769 esterilizados (Figura 32). Así mismo, la sustancia con menor emisión fue el Selenio  
770 (Anexo D).



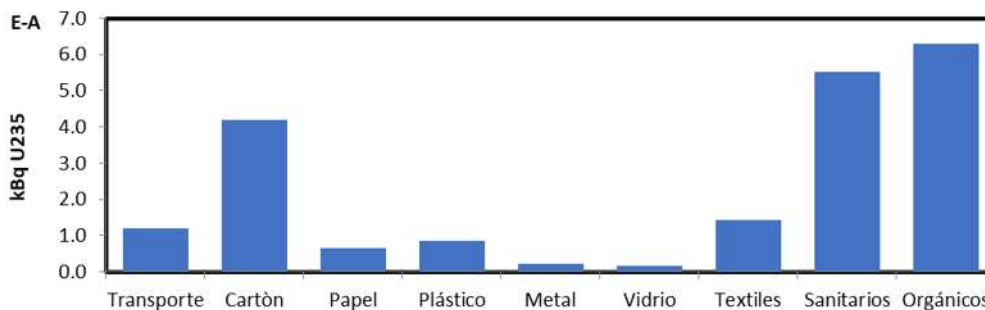
771  
772 Figura 32 impacto a ecotoxicidad en agua fresca (reciclaje)

773

### 774 3.3.2.11 Radiación ionizante

#### 775 Escenario actual

776 La Figura 33, muestra el potencial de radiación ionizante del escenario de residuos  
777 actual. Según los resultados, el escenario actual emite un total de 21 kBq U235 eq por  
778 unidad funcional (UF) que fue 11,639 kg de RHME. La disposición final concentró más  
779 del 90% de las emisiones totales en esta categoría, siendo los residuos orgánicos,  
780 sanitarios y cartón los tipos de residuos con mayores emisiones. Así mismo, el análisis  
781 de contribución reveló que la sustancia con mayor potencial de contribución fue el  
782 carbono-14 dirigido principalmente al aire (Anexo D).



783



784

Figura 33 impacto a radiación ionizante (disposición final)

785

786 Escenario mixto

787 La Figura 34, muestra los resultados del potencial de radiación ionizante. Según el

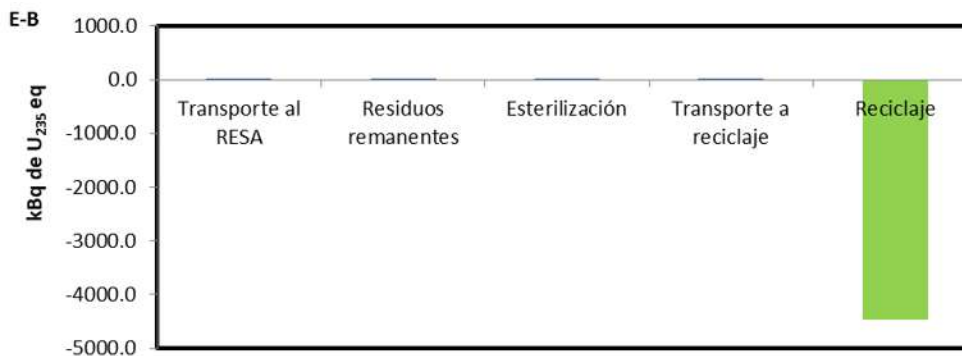
788 análisis, la gestión de residuos mixto puede llegar a evitar una carga total de 4,312 kBq

789 de  $U_{235}$  eq (Kilobecquerel de Uranio 235 equivalentes), que pueden ser atribuidos

790 principalmente al reciclaje de los residuos hospitalarios. De acuerdo al análisis de

791 contribución la sustancia que se evita es principalmente la emisión de carbono 14

792 (Anexo D).



793

794

Figura 34 impacto a radiación ionizante (reciclaje)

795

796

797 3.3.2.12 Uso de suelo agrícola

798 Escenario actual

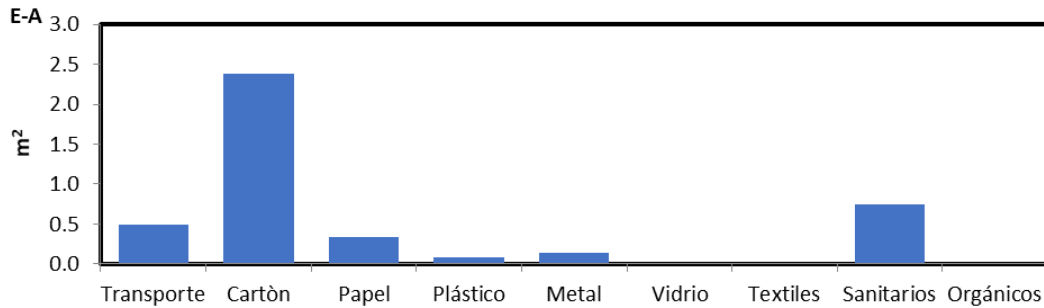
799 El escenario actual tiene un impacto potencial de uso de suelo agrícola de 4.2 c. Tal

800 impacto se relaciona principalmente por la disposición final de cartón, residuos

801 sanitarios y transporte (Figura 35). Así mismo, de acuerdo con el análisis de

802 contribución, la causa del uso de suelo agrícola se atribuye principalmente al uso

803 intensivo de bosque o suelo natural 84% (Figura 35).



804  
805

Figura 35 Impacto a uso de suelo agrícola (disposición final)

806

807 Escenario mixto

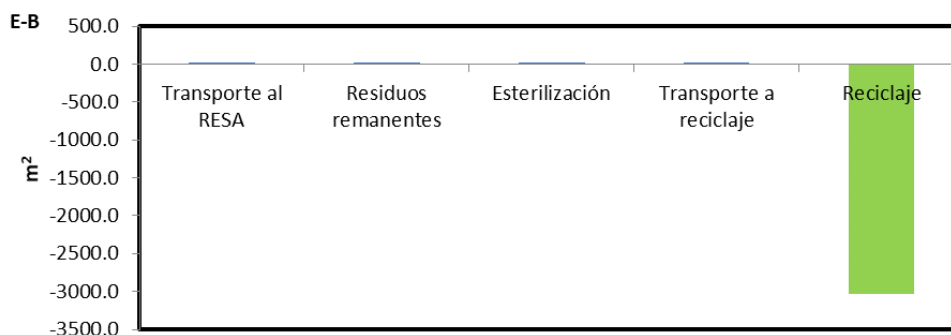
808 El escenario mixto evita un potencial de uso del suelo agrícola de 3,022 m<sup>2</sup>. Estas

809 cargas evitadas se relacionan al reciclaje (Figura 36). Así mismo, de acuerdo con el

810 análisis de contribución, la categoría de suelo que se evita usar es el suelo natural

811 (forestal), por cada una tonelada de residuos reciclada se evita usar hasta un 259 m<sup>3</sup>

812 (Anexo D).



813  
814

Figura 36 Impacto a uso de suelo agrícola (reciclaje)

815 3.3.2.13 Ocupación de suelo urbano

816 Escenario actual

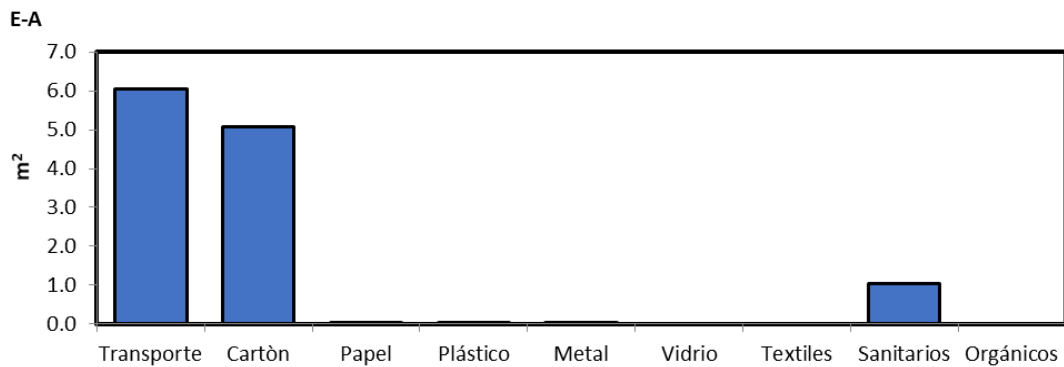
817 El escenario actual tiene un impacto potencial de uso de suelo urbano de 12.2 m<sup>2</sup>. Este

818 impacto se atribuye de forma similar tanto a la disposición final de cartón como al

819 transporte de los RHME (Figura 37). Según el análisis de contribución, la principal



820 causa de impacto a esta categoría es la ocupación de tierra por la red carretera (Anexo  
821 D).

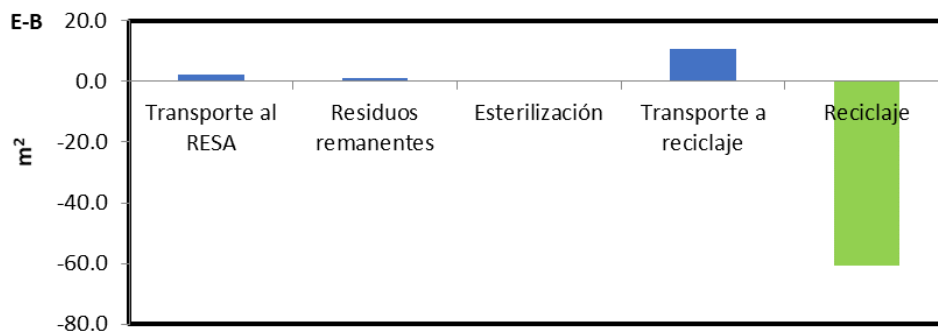


822  
823  
824

Figura 37 impacto a uso de suelo urbano (disposición final)

825 Escenario mixto

826 El escenario mixto tiene un potencial para evitar el uso de suelo urbano de 46 m<sup>2</sup>. Este  
827 impacto se atribuye principalmente al proceso de reciclaje (Figura 38). Sin embargo,  
828 de acuerdo al análisis de contribución se generan cargas ambientales principalmente  
829 por el transporte de los residuos a reciclar usando 2.3 m<sup>2</sup> de tierra por la red carretera  
830 (Anexo D)



831  
832  
833

Figura 38 impacto a uso de suelo urbano (reciclaje)

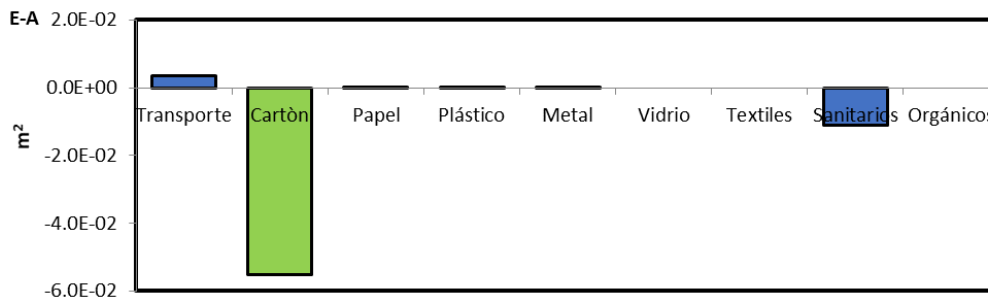
834 3.3.2.14 Ocupación de suelo natural

835 Escenario actual

836 La gestión de los RHME bajo el escenario actual tiene un potencial de evitar cargas  
837 ambientales de 0.06 m<sup>2</sup> por el transporte y la disposición final del total de residuos



838 (11,639 kg). Estas cargas evitadas se relacionan principalmente por la disposición final  
839 de cartón, residuos sanitarios y transporte (Figura 39). El análisis de contribución,  
840 muestra que la disposición de cartón y residuos sanitarios contribuyen a evitar el uso  
841 de suelo forestal (Anexo D)



842  
843 Figura 39 impacto a uso de suelo natural (disposición final)  
844  
845

#### 846 Escenario mixto

847 La gestión de los RHME bajo el escenario mixto tiene un potencial de evitar cargas  
848 ambientales de 0.4 m<sup>2</sup> por el reciclaje de los residuos principalmente papel, cartón,  
849 plástico y vidrio (figura 40). De acuerdo al análisis de contribución se evita usar hasta  
850 38 m<sup>2</sup> de suelo forestal debido al reciclaje principalmente de cartón y papel (Anexo D).



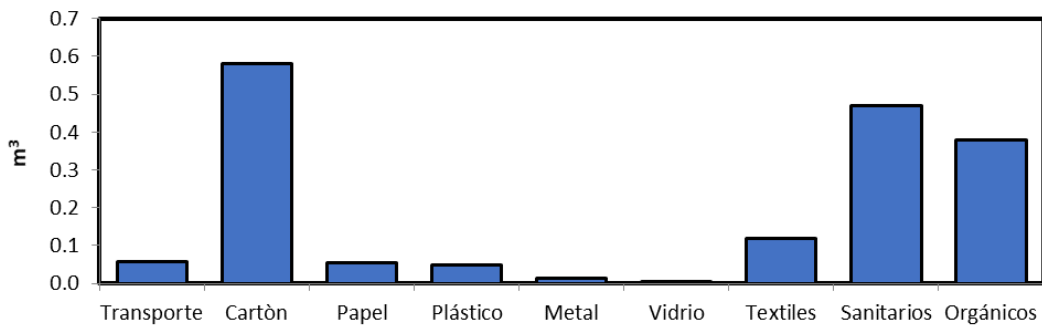
851  
852 Figura 40 impacto a uso de suelo natural (reciclaje)  
853

#### 854 3.3.2.15 Agotamiento de agua

#### 855 Escenario actual



856 La gestión de los RHME en el escenario actual contribuye a la escasez de agua de  
857 1.73 m<sup>3</sup> por unidad funcional (11,639 kg/RHME). Los procesos unitarios que  
858 demandan mayor cantidad de agua son la disposición de cartón, residuos sanitarios y  
859 residuos orgánicos (Figura 41).



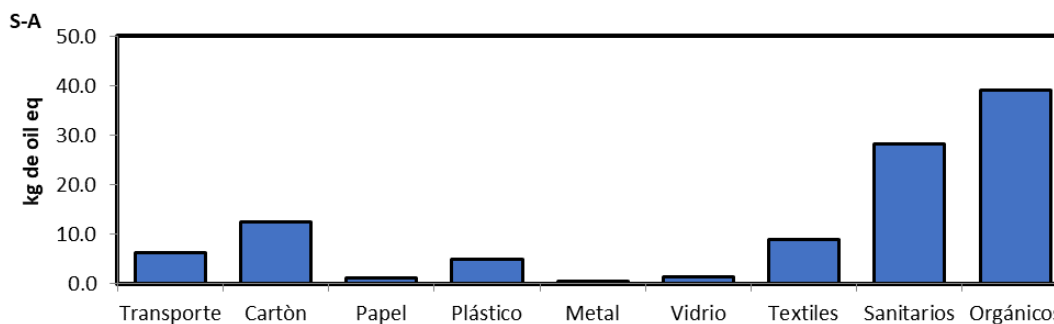
860  
861  
862

Figura 41 Impacto a agotamiento de agua (disposición final)

### 863 3.3.2.16 Agotamiento de recursos fósiles

#### 864 Escenario actual

865 La Figura 42, muestra el potencial de agotamiento sobre los recursos fósiles asociados  
866 a la gestión de residuos en el escenario actual. Para el tratamiento de los residuos  
867 (unidad funcional) se requiere 104 kg de oil eq (toneladas de petróleo equivalente). El  
868 análisis de contribución reveló que el impacto sobre la escasez de recursos fósiles, es  
869 principalmente sobre el uso de gas natural atribuido a la gestión de los residuos  
870 orgánicos (Anexo D).



871  
872

Figura 42 Impacto a agotamiento de recursos fósiles (disposición final)



873

874

875 Escenario mixto

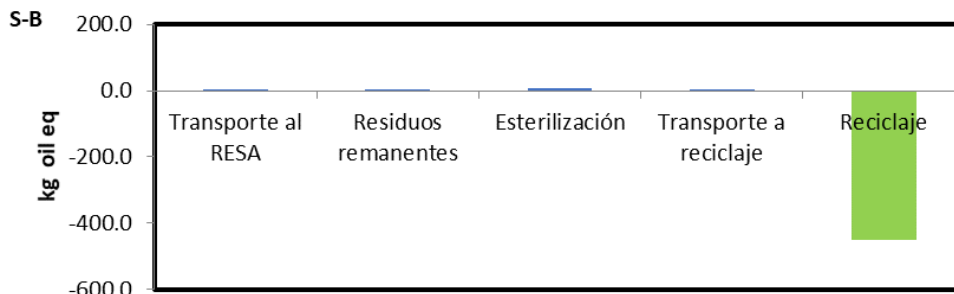
876 La Figura 43, muestra el potencial de agotamiento sobre los recursos fósiles asociados

877 a la gestión de residuos en el escenario mixto. Sin embargo, el análisis muestra que

878 se evitan 6483 kg de oil eq (toneladas de petróleo equivalente) al reciclar los residuos.

879 Por otra parte el análisis de contribución muestra que las cargas evitadas son

880 principalmente en el uso de electricidad y petróleo (Anexo D).



881

882

883

Figura 43 Impacto a agotamiento de recursos fósiles (reciclaje)

### 884 3.3.2.17 Agotamiento de recursos minerales

885 Escenario actual

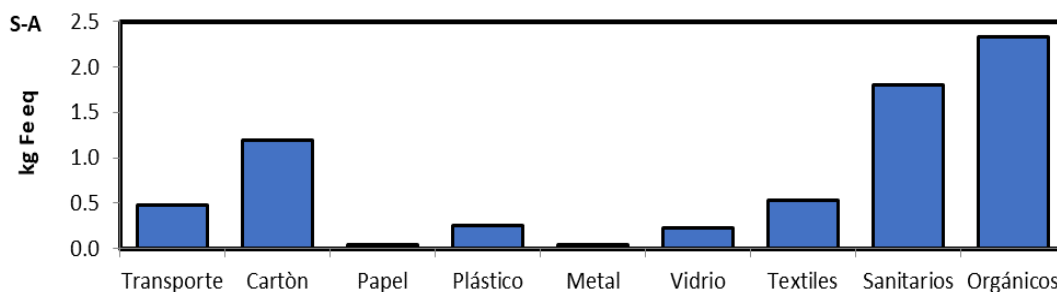
886 La Figura 44, muestra el potencial de agotamiento sobre los recursos minerales

887 asociados a la gestión de residuos en el escenario actual. Para el tratamiento de los

888 residuos (unidad funcional) se requiere 6.4 kg de Fe eq (kg de Hierro equivalentes). El

889 análisis de contribución reveló que el impacto sobre esta categoría se asocia

890 principalmente sobre la extracción de hierro asociado (Anexo D).

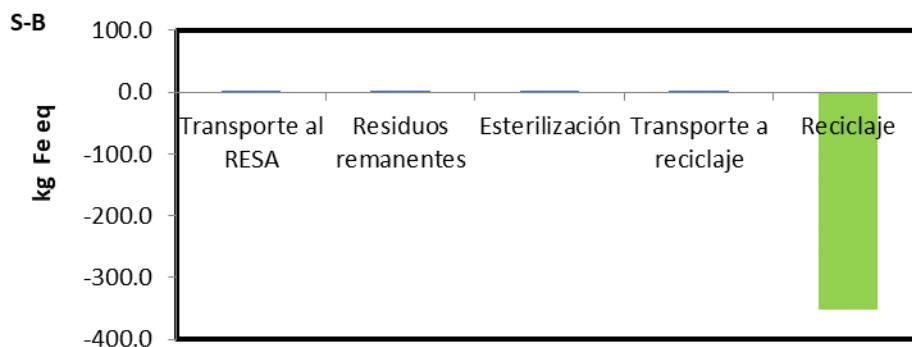


891





892           Figura 44 Impacto a agotamiento de recursos minerales (disposición final  
893 Escenario mixto  
894 La Figura 45, muestra las cargas evitadas sobre el uso de recursos minerales por el  
895 sistema de gestión de residuos mixto, de acuerdo a los resultados si los residuos son  
896 reciclados se evita extraer 352 kg de Fe eq. El análisis de contribución reveló que el  
897 impacto sobre la escasez de recursos minerales, es principalmente sobre la extracción  
898 de zinc (Anexo D).



899           Figura 45 Impacto a agotamiento de recursos minerales (reciclaje)  
900

901  
902   3.3.2.18 Ecotoxicidad terrestre  
903   Escenario actual

904 La Figura 46 presenta el potencial de ecotoxicidad terrestre atribuido al sistema gestión  
905 actual. Según el análisis, el sistema-producto analizado emite al suelo un total de 0.14  
906 kg de 1,4-DB eq, siendo el transporte y la disposición final de plástico los proceso con  
907 mayor contribución del impacto hacia esta categoría. De acuerdo al análisis de  
908 contribución el impacto hacia la ecotoxicidad se atribuye principalmente al potencial de  
909 emisión de cobre y vanadio (Anexo D).

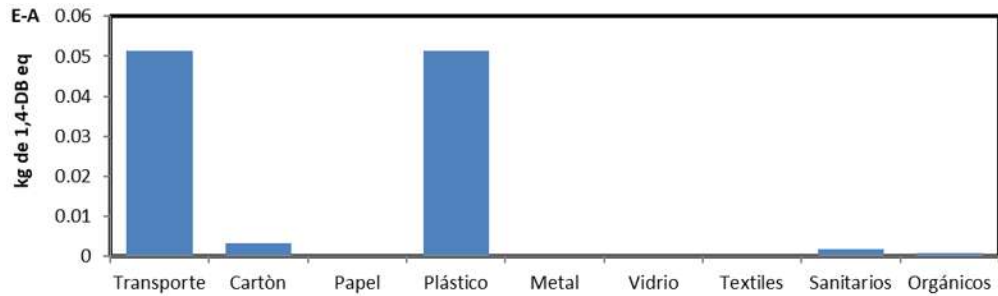


Figura 46 Impacto a ecotoxicidad terrestre (disposición final)

910  
911

912 Escenario mixto

913 La Figura 47 presenta el potencial de ecotoxicidad terrestre atribuido al sistema gestión  
914 mixto. Según el análisis, el sistema-producto analizado puede evitar un potencial de  
915 cargas ambientales total de 26 kg de 1,4-DB eq principalmente por el reciclaje. De  
916 acuerdo al análisis de contribución las sustancias que se estarían dejando de emitir  
917 son el cobre y la cipermetrina (Anexo D).

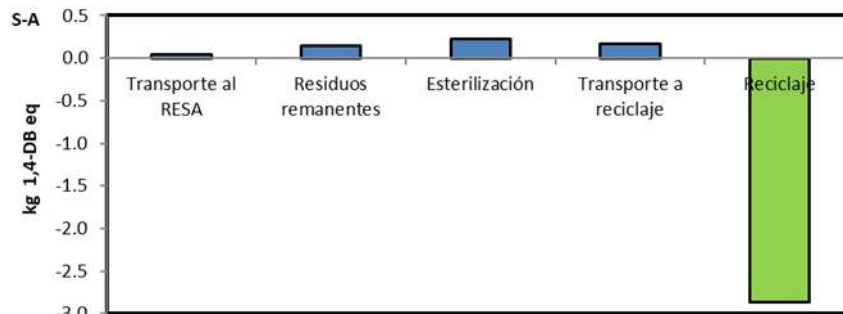


Figura 47 Impacto a ecotoxicidad terrestre (reciclaje)

918  
919  
920  
921



922 **3.4 Interpretación del análisis de ciclo de vida**

923 Los resultados presentados en este trabajo se centran en una primera evaluación con  
924 enfoque de ciclo de vida para la gestión del fin de vida de los residuos hospitalarios de  
925 manejo especial. Con base en los datos, suposiciones, criterios de asignación, los  
926 límites del sistema y la modelación de los escenarios de residuos, se ha logrado  
927 conjuntar información para determinar que la mejor estrategia para el tratamiento de  
928 los RHME es bajo el escenario de residuos mixto.

929 En las siguientes secciones, se discutirá la relevancia de las variables más  
930 representativas sobre el comportamiento ambiental de ambos escenarios y se  
931 analizará su importancia analizando la incertidumbre de las mismas, para finalmente  
932 presentar las conclusiones, recomendaciones y limitaciones del ACV realizado.

933 **3.4.1 Identificación de aspectos significativos sobre el impacto ambiental**

934 La EICV reveló que la gestión de los RHME principalmente cartón, papel, plásticos y  
935 residuos orgánicos concentraron la mayor parte del impacto ambiental en todas las  
936 categorías, mientras que el escenario mixto (propuesto) tiene un potencial importante  
937 para evitar cargas ambientales por el reciclaje de estos mismos residuos, aun  
938 recibiendo un tratamiento previo como lo es la esterilización. Las Tablas 13 y 14  
939 presentan los principales asuntos significativos relacionados con los sistemas de  
940 gestión antes mencionados.

941

942

Tabla 13. Asuntos significativos del sistema de gestión actual

Escenario Actual				
Categoría	EICV	Unidad	Asunto o proceso significativo	Contribución (%)
Cambio climático	1288.30259	kg CO <sub>2</sub> eq	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U	16
Agotamiento de ozono	2.7253E-06	kg CFC-11 eq	Landfill of paper waste EU-27	13
Acidificación terrestre	0.55782631	kg SO <sub>2</sub> eq	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {MX}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   Alloc Def, U	22
Eutrofización de agua fresca	0.26160046	kg P eq	Landfill of biodegradable waste EU-27	23
Eutrofización de agua marina	1.78744322	kg N eq	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U	21
Toxicidad humana	32.6027944	kg 1,4-DB eq	Dust, alloyed electric arc furnace steel {RoW}  treatment of, residual material landfill   Alloc Def, U	19
Formación de oxidantes fotoquímicos	1.03427117	kg NMVOC	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {MX}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   Alloc Def, U	18
Formación de material particulado	0.45741567	kg PM10 eq	Landfill of paper waste EU-27	20
Ecotoxicidad terrestre	0.0297269	kg 1,4-DB eq	Waste polyethylene {Europe without Switzerland}  treatment of waste polyethylene, municipal incineration   Alloc Def, U	27
Ecotoxicidad marina	0.2371611	kg 1,4-DB eq	Waste polystyrene {RoW}  treatment of waste polystyrene, sanitary landfill   Alloc Def, U	29
Ecotoxicidad de agua fresca	0.2371611	kg 1,4-DB eq	Waste polyethylene terephthalate {Europe without Switzerland}  treatment of waste polyethylene terephthalate, municipal incineration   Alloc Def, U	16
Radiación ionizante	2.45684	kBq U235 eq	Spent nuclear fuel {RoW}  treatment of, reprocessing   Alloc Def, U	30
Uso de suelo agrícola	0.99607024	m <sup>2</sup> a	Waste paperboard {Europe without Switzerland}  treatment of waste paperboard, sanitary landfill   Alloc Def, S	24
Ocupación de suelo urbano	2.53303005	m <sup>2</sup> a	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, S	21
Ocupación de suelo natural	0.00342402	m <sup>2</sup>	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, S	43
Agotamiento de agua	0.23166036	m <sup>3</sup>	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, S	16
Agotamiento de recursos fósiles	20.5417676	kg oil eq	Landfill of paper waste EU-2	20
Agotamiento de recursos minerales	1.21674076	kg Fe eq	Landfill of paper waste EU-27	18

943



Tabla 14. Asuntos significativos del sistema de gestión mixto

Escenario mixto				
Categoría	EICV	Unidad	Asunto o proceso significativo	Contribución (%)
Cambio climático	-1359.482	kg CO2 eq	Polystyrene, general purpose {ROW}  recycled   Alloc Def, U	37
Agotamiento de ozono	-6.1044E-06	kg CFC-11 eq	Uranium, enriched 4.2%, per separative work unit {US}  uranium production, diffusion, enriched 4.2%   Alloc Def, U	95
Acidificación terrestre	1.992799149	kg SO2 eq	Electricity, high voltage {RoW}  electricity production, hard coal   Alloc Def, U	37
Eutrofización de agua fresca	0.26160046	kg P eq	Landfill of biodegradable waste EU-27	31
Eutrofización de agua marina	0.43965388	kg N eq	Waste paperboard {RoW}  treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U	21
Toxicidad humana	-85.139799	kg 1,4-DB eq	Zinc concentrate {GLO}  zinc-lead mine operation   Alloc Def, U	18
Formación de oxidantes fotoquímicos	-14.744069	kg NMVOC	Polyethylene, high density, granulate {RER}  production   Alloc Def, U	56
Formación de material particulado	-3.3622521	kg PM10 eq	Polyethylene, high density, granulate {RER}  production   Alloc Def, U	38
Ecotoxicidad terrestre	-0.1143739	kg 1,4-DB eq	Core board {RoW}  production   Alloc Def, U	37
Ecotoxicidad marina	-2.6983871		Core board {RoW}  production   Alloc Def, U	46
ecotoxicidad de agua fresca	-0.9787365	kg 1,4-DB eq	Average incineration residue {RoW}  treatment of, residual material landfill   Alloc Def, U	42
Radiación ionizante	-3998.6478	kBq U235 eq	Spent nuclear fuel {RoW}  treatment of, reprocessing   Alloc Def, U	90
Uso de suelo agrícola	-630.84446	m2a	Pulpwood, softwood, measured as solid wood under bark {RoW}  softwood forestry, pine, sustainable forest management   Alloc Def, U	20
Ocupación de suelo urbano	-17.347679	m2a	Sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark {CA-QC}  softwood forestry, mixed species, boreal forest   Alloc Def, U	37
Ocupación de suelo natural	-0.2357873	m2	Sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark {CA-QC}  softwood forestry, mixed species, boreal forest   Alloc Def, U	97
Agotamiento de agua	-68.229655	m3	Core board {RER}  production   Alloc Def, U	21
Agotamiento de recursos fósiles	-2721.6212	kg oil eq	Polyethylene, high density, granulate {RER}  production   Alloc Def, U	59
Agotamiento de recursos minerales	-280.40426	kg Fe eq	Zinc concentrate {GLO}  zinc-lead mine operation   Alloc Def, U	64

946 **3.4.2 Análisis de incertidumbre**

947 Se revisaron tres tipos de incertidumbre para la EICV de los escenarios de residuos:

- 948 • Calidad de los datos de cada escenario de residuo.
- 949 • Representatividad del método de EICV.
- 950 • Comparación entre escenario actual y el escenario mixto.

951 3.4.2.1 Incertidumbre con respecto a la calidad de los datos de los escenarios de  
952 residuos.

953 Este análisis se realizó para evaluar la calidad de los datos del ICV, así como su  
954 representatividad y variabilidad. Para este escenario se editó la genealogía de todas  
955 las entradas y salidas de cada escenario de residuos, empleando la Matriz de  
956 Pedigree. De esta manera, se determinó un intervalo de incertidumbre respecto a la  
957 calidad de la información.

958 Posteriormente, se corrió el nuevo modelo con el análisis de Monte Carlo del software  
959 SimaPro versión 8.5.0.0 PhD. La prueba de Monte Carlo evalúa la incertidumbre de  
960 los datos y modela 1,000 ejecuciones del impacto ambiental empleando los  
961 coeficientes generados a partir de los intervalos de incertidumbre.

962 La Figura 48 muestra la incertidumbre de la EICV con respecto a la calidad de los  
963 datos del escenario actual. De acuerdo con las 1,000 ejecuciones del análisis de Monte  
964 Carlo y un 95% de confiabilidad, los resultados muestran que existe una incertidumbre  
965 significativa sobre la escasez de agua (EA), lo que indica que deben revisarse los  
966 resultados del impacto ambiental sobre esta categoría con otro método de EICV. Para  
967 el resto de las categorías el análisis no reveló resultados con incertidumbre superior al  
968 intervalo de confianza.

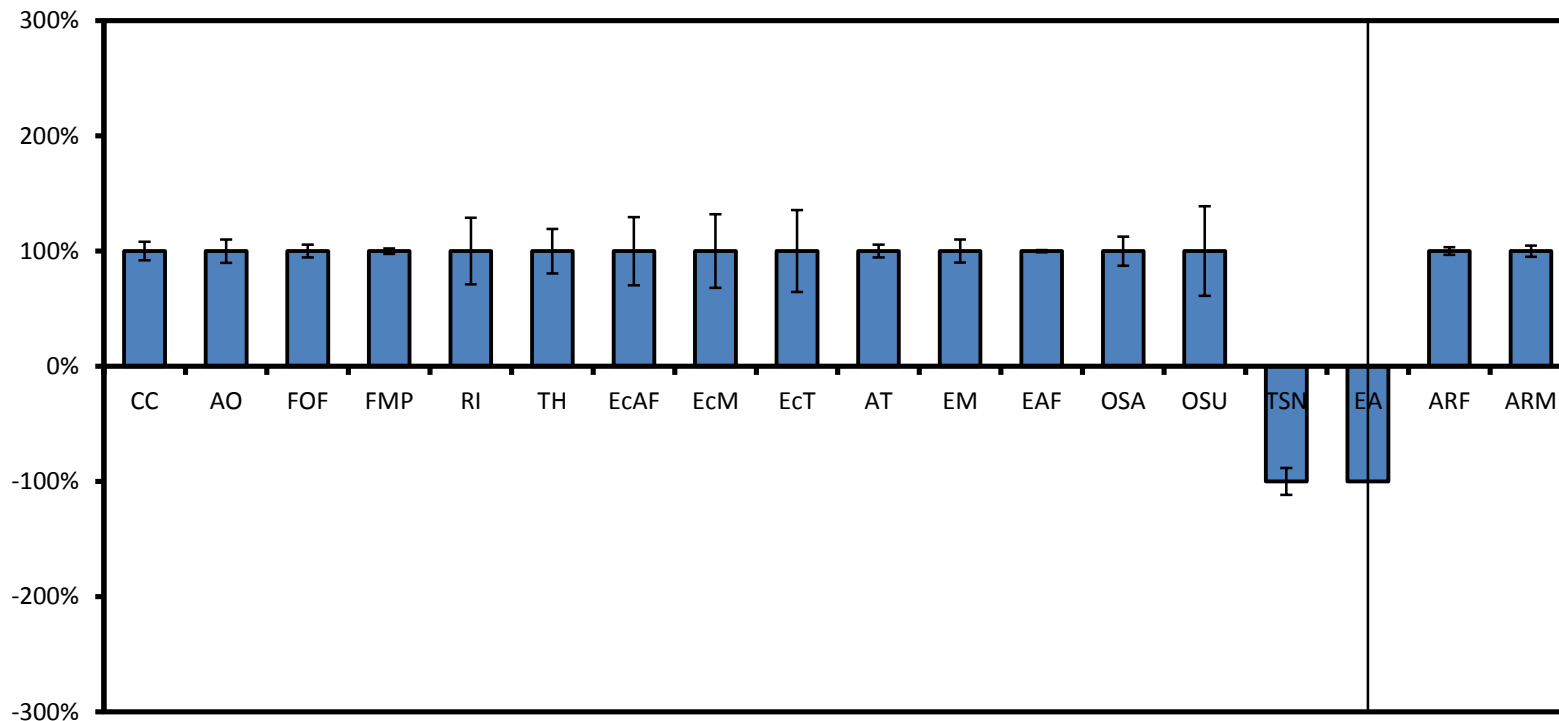


Figura 48 Análisis de incertidumbre de la EICV respecto a la calidad de los datos del escenario actual

969  
970  
971

972 En el caso del escenario de residuos mixto la incertidumbre se comportó de manera  
973 diferente al escenario actual. Las categorías de impacto: agotamiento de la capa de  
974 ozono (AO), ecotoxicidad en agua fresca (EAF), ecotoxicidad marina (EcM),  
975 eutrofización e agua fresca (EAF), transformación de suelo natural (TSN) y escasez  
976 de agua (EA), mostraron incertidumbres significativas al 95% de confianza. Estos  
977 resultados comprometen la suposición sobre que el escenario mixto reduce el impacto  
978 ambiental sobre la contaminación del agua, por lo que se debe revisar a incertidumbre  
979 de este modelo con respecto al método de EICV al menos en estas categorías (Figura  
980 49).



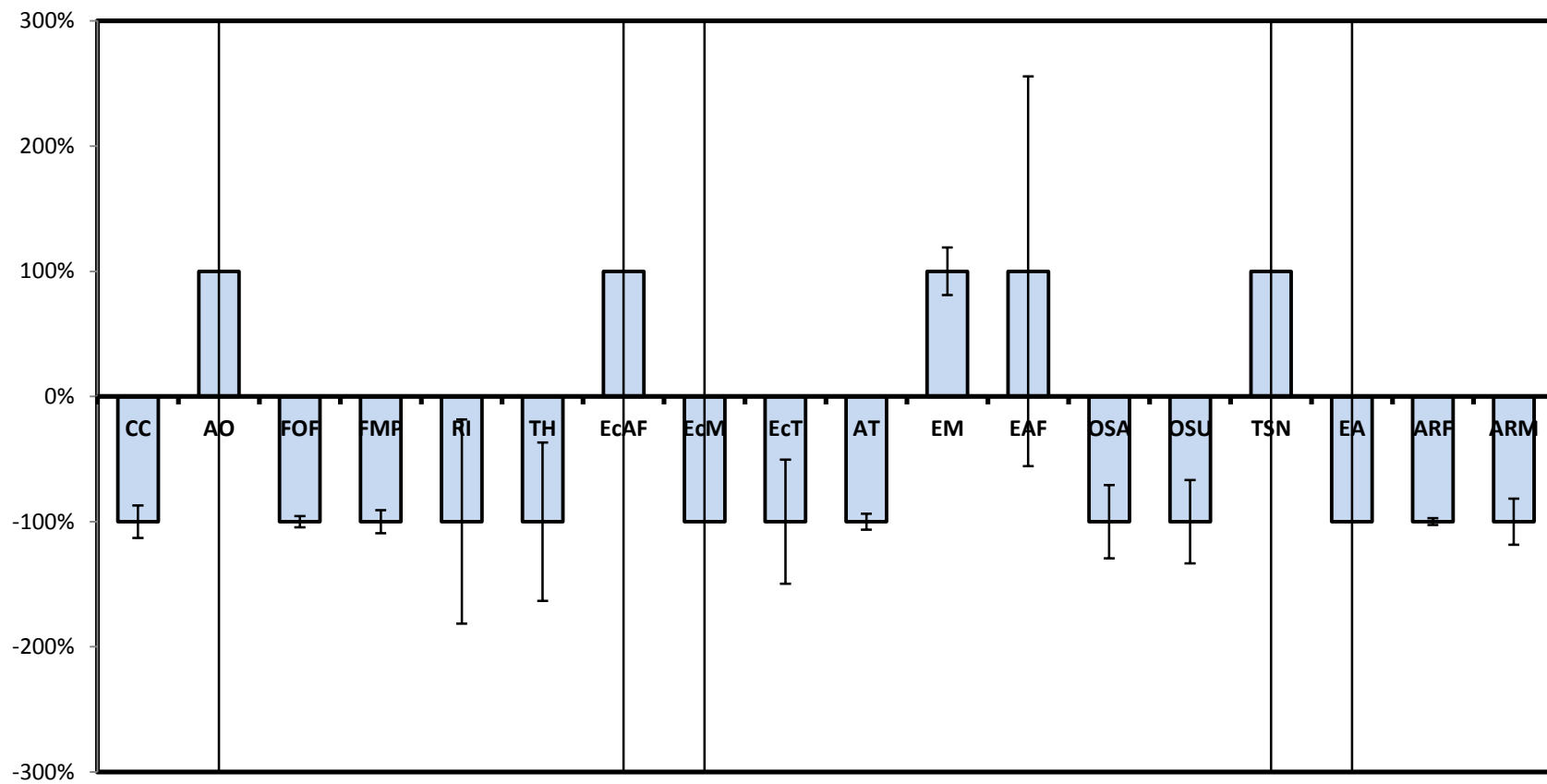


Figura 49 Análisis de incertidumbre de la EICV respecto a la calidad de los datos escenario mixto

981  
982  
983

984 Una de las principales razones por los cuales el modelo presentó incertidumbre  
985 significativa, es que existen pocos modelos de caracterización y bases de datos para  
986 modelar residuos en un escenario de reciclaje. A diferencia del tratamiento en relleno  
987 sanitario donde se tienen hasta 20 bases de datos diferentes para diversos tipos de  
988 residuos, los modelos de reciclaje son escasos, encontrándose solo bases de datos  
989 para papel y cartón, plásticos, vidrio y metal en general (Tabla 15).

990

Tabla 15. Modelos de caracterización y bases de datos. Modelación del escenario actual

Escenario actual	Características de disposición. Base de datos Ecoinvent versión 3.0.0 SimaPro 8.4.0.0	Escenario mixto	Características de disposición. Base de datos Ecoinvent versión 3.0.0 SimaPro 8.4.0.0
Papel y Cartón	<p>Waste graphical paper, treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <p>Waste paperboard treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Europe without Switzerland</li> <li>• RoW (Resto del mundo)</li> <li>• CH (China)</li> </ul>	Cartón y Papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paperboard (waste treatment) {GLO}  recycling of paper   Alloc Def, U</li> </ul>
Metal	<p>Waste aluminium (waste treatment)   treatment of waste aluminium, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Europe without Switzerland</li> <li>• RoW (Resto del mundo)</li> <li>• CH (China)</li> </ul>	Metal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminium (waste treatment) {GLO}  recycling of aluminium   Alloc Def, U</li> <li>• Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting (waste treatment) {RoW}  treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner   Alloc Def, U</li> <li>• Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting (waste treatment) {RoW}  treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner   Alloc Def, U</li> <li>• Dummy_Recycling, Aluminum scrap/kg/RNA</li> <li>• Dummy_Recycling, Steel scrap/kg/RNA</li> <li>• Steel and iron (waste treatment) {GLO}  recycling of steel and iron   Alloc Def, U</li> </ul>
Plásticos	<p>Waste polypropylene   treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <p>Waste polyethylene terephthalate   treatment of waste polyethylene terephthalate, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <p>Waste polystyrene   treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <p>Waste polyvinylchloride   treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Europe without Switzerland</li> <li>• RoW (Resto del mundo)</li> <li>• CH (China)</li> </ul>	Plástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mixed plastics (waste treatment) {GLO}  recycling of mixed plastics   Alloc Def, U</li> <li>• PE (waste treatment) {GLO}  recycling of PE   Alloc Def, U</li> <li>• PET (waste treatment) {GLO}  recycling of PET   Alloc Def, U</li> <li>• PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Alloc Def, U</li> <li>• PS (waste treatment) {GLO}  recycling of PS   Alloc Def, U</li> <li>• PVC (waste treatment) {GLO}  recycling of PVC   Alloc Def, U</li> </ul>



Vidrio	Waste glass  treatment of, inert material landfill   Alloc Def, U Landfill of glas/inert waste <ul style="list-style-type: none"><li>• Europe without Switzerland</li><li>• RoW (Resto del mundo)</li><li>• CH (China)</li><li>• EU-27</li></ul>	Vidrio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Packaging glass, white (waste treatment) {GLO}  recycling of packaging glass, white   Alloc Def, U</li></ul>
Textiles	Landfill of textiles EU-27	-	-
Sanitario	Dummy_Disposal, municipal solid wastes, to sanitary landfill/US Municipal solid waste   treatment of, sanitary landfill   Alloc Def, U <ul style="list-style-type: none"><li>• Europe without Switzerland</li><li>• RoW (Resto del mundo)</li><li>• CH (China)</li></ul>	-	-
Orgánicos	Landfill of biodegradable waste EU-27 EU-27	-	-

992

993 3.4.2.2 Incertidumbre con respecto a la representatividad del método de EICV

994 El segundo análisis de incertidumbre se realizó para evaluar la representatividad del  
995 método de EICV. Para esto, se realizó una comparación de la incertidumbre de los  
996 escenarios de residuos, corriendo el análisis de Monte Carlo con los métodos IMPACT  
997 2002+, CML 2001 y ReCiPe Midpoint 2013.

998 La Figura 50 presenta la comparación de la incertidumbre con respecto al método de  
999 EICV para el escenario actual. De acuerdo el análisis se observan resultados variables  
1000 para las categorías de impacto: eutrofización en agua fresca (EAF), ecotoxicidad  
1001 marina (EcM), ecotoxicidad en agua fresca (EcAF), radiación ionizante (RI), ocupación  
1002 de suelo urbano (OSU) y agotamiento de recursos fósiles (ARF), debido a las  
1003 diferencias en los factores de caracterización y las unidades empleadas por los  
1004 métodos considerados (Tabla 16).

1005 Así mismo, la incertidumbre entre los métodos reveló que sobre las categorías de  
1006 impacto en toxicidad (acuática, terrestre y humana), los resultados no pueden ser  
1007 comparables con los métodos empleados, por lo que se propone analizar más  
1008 profundamente estas categorías con métodos que analicen la toxicidad.

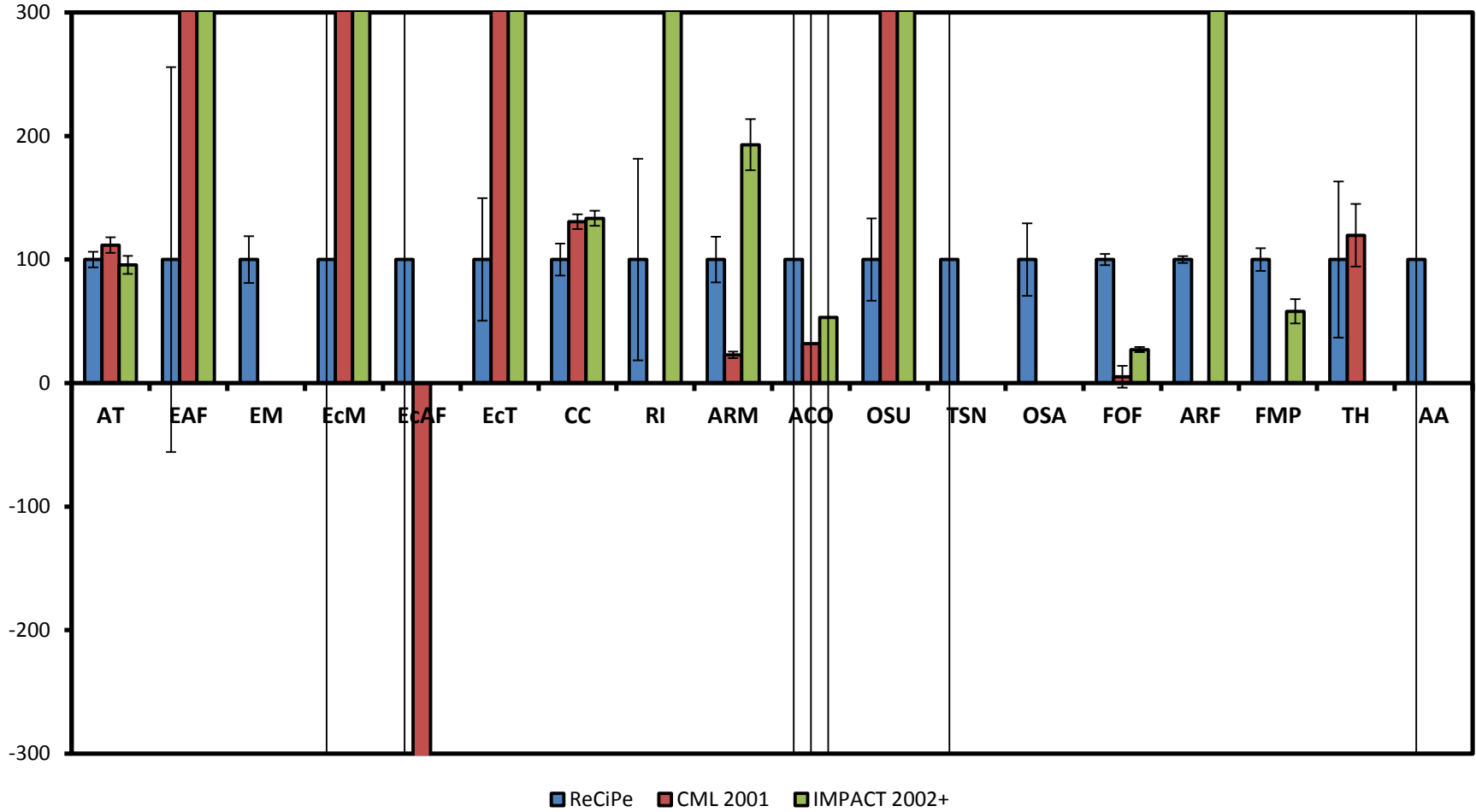


Figura 50 Comparación de la incertidumbre con respecto al método de EICV para el escenario actual

1009  
1010  
1011  
1012

1013

Tabla 16. Factores de caracterización por método para el escenario actual

ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / World Recipe H , intervalo de confianza: 95 %				IMPACT 2002+ V2.14 / IMPACT 2002+, intervalo de confianza: 95 %				CML 2001 V2.05 / World, 1995, intervalo de confianza: 95 %			
CAT	Unidad	EICV	DE	CAT	Unidad	EICV	DE	CAT	Unidad	EICV	DE
OSN	m2a	4.2	0.5	AAc	kg SO2 eq	7.1	0.3	ARA	kg Sb eq	2.4	0.1
CC	kg CO2 eq	8030.4	644.4	EcAc	kg TEG wáter	278837.0	93451.5	A	kg SO2 eq	3.9	0.3
ARF	kg oil eq	103.5	3.4	EAc	kg PO4 P-lim	3.8	0.1	E	kg PO4--- eq	31.3	4.7
EcAF	kg 1,4-DB eq	257.5	76.3	C	kg C2H3Cl eq	5.3	2.9	EcAF	kg 1,4-DB eq	15041.5	6843.1
EAF	kg P eq	1.2	0.0	CG	kg CO2 eq	3155.4	154.5	EAF			
TH	kg 1,4-DB eq	1782.0	345.1	RI	Bq C-14 eq	2913.0	860.8	sed.	kg 1,4-DB eq	35463.8	16363.8
RI	kBq U235 eq	29.4	8.5	OS	m2org.arable	10.0	3.3	500a			
EcM	kg 1,4-DB eq	232.7	74.4	ExM	MJ surplus	1.2	0.1	EcM	kg 1,4-DB eq	7493.3	3432.9
EM	kg N eq	15.9	1.6	nC	kg C2H3Cl eq	48.7	30.6	20a			
ARM	kg Fe eq	6.9	0.3	EnR	MJ primary	5057.5	175.0	EcM	kg 1,4-DB eq	14116.0	6579.2
TSN	m2	-0.1	0.0	ACO	kg CFC-11 eq	2.2E-05	2.5E-06	sed.20a			
ACO	kg CFC-11 eq	0.0	0.0	Rin	kg PM2.5 eq	0.6	0.0	EcT	kg 1,4-DB eq	1.9	1.1
FMP	kg PM10 eq	2.4	0.1	ROr	kg C2H4 eq	0.5	0.0	500 <sup>a</sup>			
FOF	kg NMVOC	5.9	0.3	A/E T	kg SO2 eq	15.3	0.7	CG	kg CO2 eq	8072.7	622.7
AT	kg SO2 eq	2.5	0.1	EcT	kg TEG soil	22992.3	971.9	TH	kg 1,4-DB eq	582.3	240.1
EcT	kg 1,4-DB eq	0.3	0.1					500a			
OSU	m2a	12.1	4.7					OS	m2a	16.4	5.0
EA	m3	-0.2	35.3					ACO	kg CFC-11 eq	0.0	0.0
								OF	kg C2H4 eq	1.9	0.2
								OF	kg C2H4 eq	1.6	0.2

1014  
1015CAT: Categoría  
DE: Desviación estándar

1016 Para el escenario mixto, la Figura 51 muestra la comparación de la incertidumbre con  
1017 respecto al método de EICV para el escenario mixto. De igual manera que para el  
1018 escenario actual, se tienen resultados diversos entre los métodos en las categorías de  
1019 impacto: acidificación terrestre (AT), ecotoxicidad en agua fresca (EcAF), ecotoxicidad  
1020 marina (EcM), ecotoxicidad terrestre (ECT), ocupación de suelo agrícola (OSA) y  
1021 formación de oxidantes fotoquímicos (FOF). Las razones que derivan estos resultados  
1022 es que los métodos seleccionados para la comparación, refieren los impactos  
1023 ambientales en toxicidad (acuática, terrestre y humana) en diferentes unidades y,  
1024 además, los modelos de caracterización cuentan con factores y sustancias distintas  
1025 (Tabla 17).

1026 Para el resto de las categorías de impacto, los resultados tuvieron un comportamiento  
1027 aceptable en cuanto a la similitud en los resultados de la EICV y la incertidumbre, pues  
1028 no se identificó incertidumbre por encima del 95% de confianza. Es conveniente  
1029 analizar los resultados de las categorías de impacto en toxicidad (en agua, suelo y  
1030 humana) con métodos de EICV que identifiquen mejor la huella toxicológica de ambos  
1031 escenarios.

1032



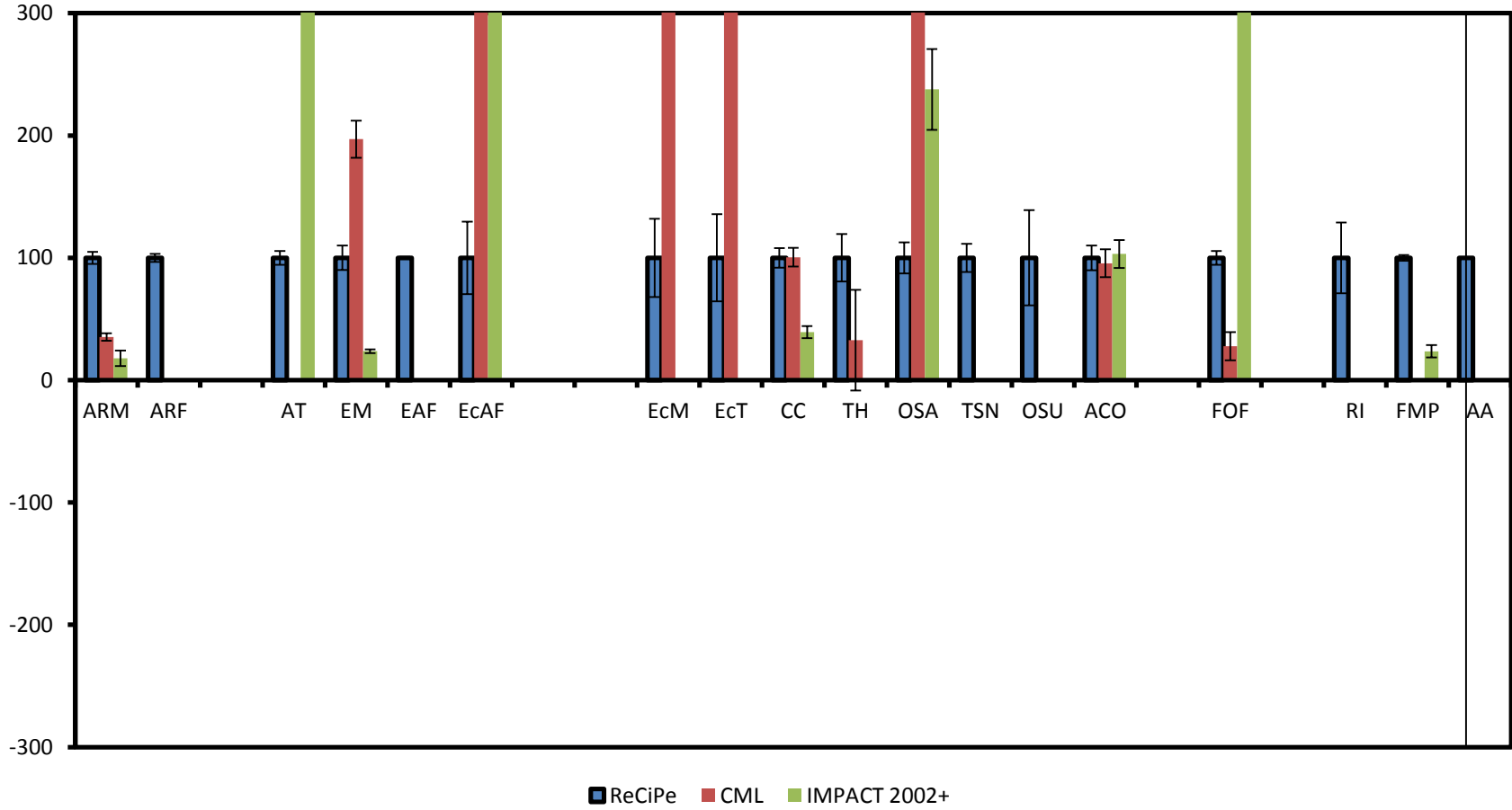


Figura 51 Comparación de la incertidumbre con respecto al método de EICV para escenario mixto

1033  
1034  
1035  
1036  
1037



1038

Tabla 17. Factores de caracterización por método para el escenario mixto

ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / World Recipe H , intervalo de confianza: 95 %				IMPACT 2002+ V2.14 / IMPACT 2002+ , intervalo de confianza: 95 %				CML 2001 V2.05 / World, 1995, intervalo de confianza: 95 %			
	Unidad	EICV	DE		Unidad	EICV	DE		Unidad	EICV	DE
AT	kg SO2 eq	-26.4	1.7	Aac	kg SO2 eq	-25.2	1.8	A	kg SO2 eq	-29.5	1.9
EAF	kg P eq	0.3	0.5	A/N T	kg SO2 eq	-89.2	6.5	E	kg PO4--- eq	4.6	1.6
EM	kg N eq	2.7	0.5	EAc	kg PO4 P-lim	2.4	1.0	EcM 500a	kg 1,4-DB eq	-9671.8	9638.2
EcM	kg 1,4-DB eq	-1.5	33.5		kg TEG			EcAF			
EcAF	kg 1,4-DB eq	4.9	38.7		wáter	-574202.0	112129.1	500a	kg 1,4-DB eq	-1175.2	1304.3
EcT	kg 1,4-DB eq	-0.3	0.2	EcAc	kg TEG soil	-202918.2	90829.3	EcT 500a	kg 1,4-DB eq	-5.0	2.1
CC	kg CO2 eq	-3540.0	457.5		kg CO2 eq	-4723.2	290.6	CG 500a	kg CO2 eq	-4628.8	276.4
RI	kBq U235 eq	-7796.8	6359.6	EcT	Bq C-14 eq	-839675.8	511914.9	ARA	kg Sb eq	-100.7	2.7
ARM	kg Fe eq	-440.4	81.3	CG	MJ surplus	-849.6	176.1		kg CFC-11		
ACO	kg CFC-11 eq	0.0	0.0		kg CFC-11 eq	0.0	0.0	ACO 40a	eq	0.0	0.0
OSU	m2a	-46.6	15.5	RI	eq	0.0	0.0	CS	m2a	-3085.0	918.5
TSN	m2	0.1	16.7	ExM	m2org.arable	-343.9	99.5	OF	kg C2H4 eq	-1.3	0.1
OSA	m2a	-2972.1	871.7	ACO	kg C2H4 eq	-7.1	0.1	TH 100a	kg 1,4-DB eq	-1639.7	414.5
FOF	kg NMVOC	-26.3	1.2	OS	MJ primary	-311761.1	19933.4				
ARF	kg oil eq	-4682.5	126.2		kg PM2.5 eq	-5.3	0.5				
FMP	kg PM10 eq	-9.1	0.8	EnR	kg C2H3Cl eq	-1142.9	130.7				
TH	kg 1,4-DB eq	-1370.0	866.4		kg C2H3Cl eq	-123.6	26.8				
AA	m3	-354.8	4207.7	Ror	eq						
				Rin							

1039

1040

1041

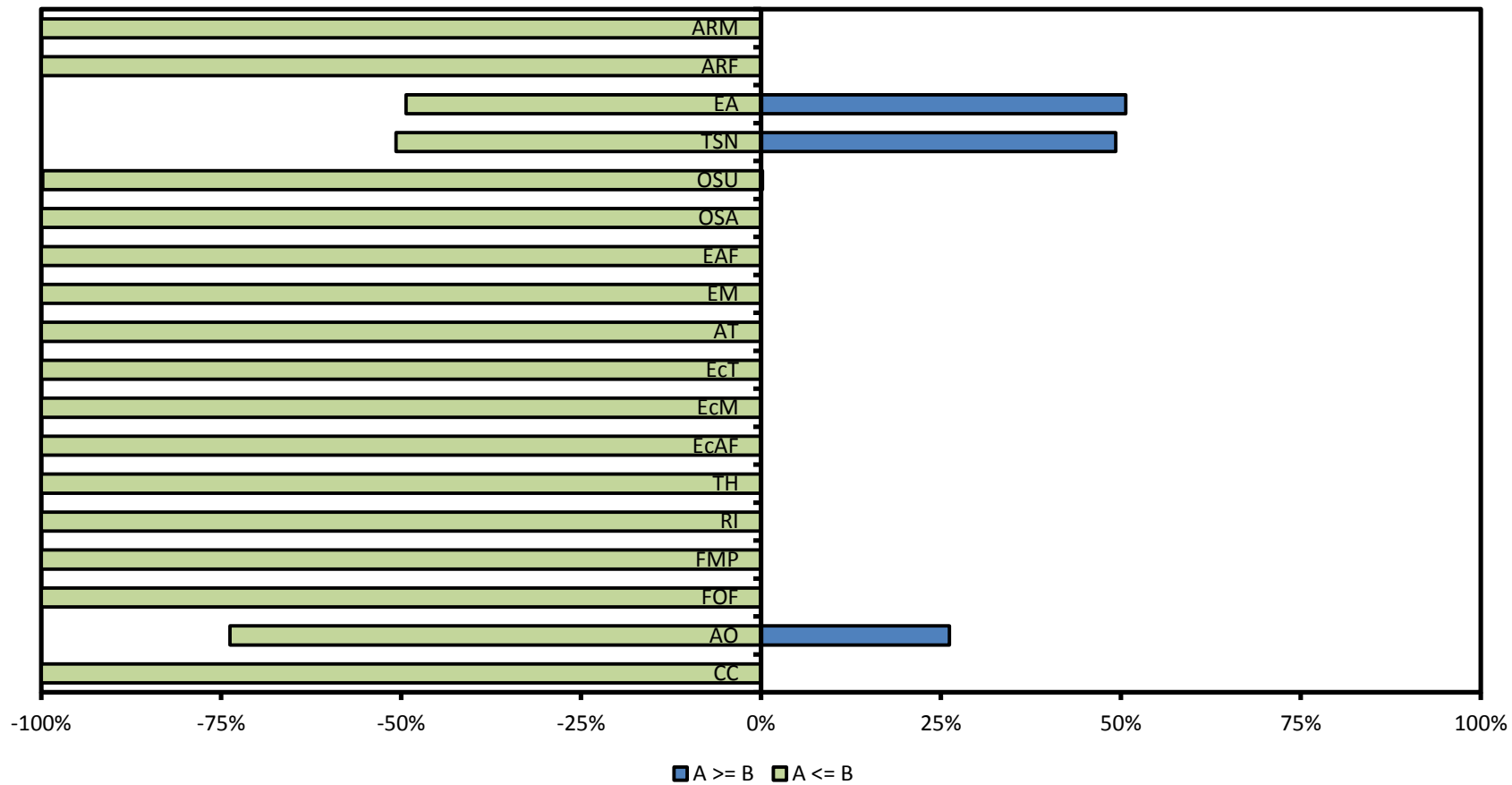
1042

1043 3.4.2.2 Análisis de incertidumbre comparando los escenarios de residuos

1044 El tercer y último análisis de incertidumbre se realizó para comprar el grado de  
1045 significancia entre el impacto ambiental del escenario actual vs el escenario mixto. Esto  
1046 con la finalidad de respaldar las conclusiones del estudio sobre la alternativa ambiental  
1047 para la gestión de los RHME.

1048 La Figura 52 muestra la comparación ambiental entre el escenario de residuos actual  
1049 y el escenario mixto. Los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- 1050 •  $A \geq B$  (azul): Representa las categorías donde el impacto ambiental de A es  
1051 mayor o igual que B. En otras palabras, el escenario actual muestra impactos  
1052 ambientales mayores, pero no significativos al 95% de confiabilidad sobre las  
1053 categorías de EA, TSN y AO.
- 1054 •  $A \leq B$  (azul): Representa las categorías donde el impacto ambiental de A es  
1055 menor o igual que B. En otras palabras, el escenario mixto reduce  
1056 significativamente el impacto ambiental en 15 de las 18 categorías de impacto  
1057 (ARM, ARF, OSU, OSA, EAF, EM, AT, EcT, EcM, EcAF, TH, RI, FMP, FOF y CC)  
1058 con un intervalo de confianza del 95%.
- 1059 • De esta manera se determina que el escenario mixto reduce significativamente el  
1060 impacto ambiental de la gestión integral de los RHME, con excepción de los  
1061 impactos sobre EA, TSN y AO.



1062  
1063  
1064

Figura 52 Comparación ambiental entre el escenario de residuos actual y el escenario mixto

1065 **3.4.3 Conclusiones del análisis de ciclo de vida**

1066 A partir de los resultados de la EICV y los análisis de contribución, influencia e  
1067 incertidumbre se concluye lo siguiente:

- 1068 • Según la magnitud del impacto, la disposición final presenta mayores impactos  
1069 ambientales hacia el agua, particularmente sobre las categorías de eutrofización  
1070 marina, ecotoxicidad de agua fresca y agotamiento de agua.
- 1071 • Sobre la calidad de los resultados del escenario de disposición final, el análisis de  
1072 Montecarlo reveló que el método seleccionado para el análisis mostró resultados  
1073 consistentes con los datos, excepto en la categoría de escasez de agua. Lo que  
1074 indica revisar los resultados del impacto ambiental sobre esta categoría con otro  
1075 método.
- 1076 • La calidad de los resultados, respecto al método seleccionado para el análisis del  
1077 escenario mixto compromete la suposición de que el reciclaje es la opción más  
1078 adecuada para gestionar los RHME, debido a que el impacto ambiental se orienta  
1079 hacia la contaminación del agua. Una de las principales razones de la  
1080 incertidumbre de este modelo es que existen pocos modelos de caracterización y  
1081 bases de datos para modelar los RHME bajo reciclaje.
- 1082 • Al comparar la representatividad respecto al método de EICV con el análisis de  
1083 Montecarlo de los métodos IMPACT 2002+ CML 2001 y ReCipe Midpoint 2013 para  
1084 modelar el escenario de actual y el mixto, se observan resultados variables esto se  
1085 debe principalmente a los diferentes factores de caracterización e indicadores de  
1086 medición.

1087



1088 **3.4.4 Limitaciones y recomendaciones del análisis de ciclo de vida**

1089 El presente estudio se limita en:

- 1090 • Los modelos de reciclaje son escasos, y en este caso los que existen son generales  
1091 encontrándose bases solo de papel, cartón, plásticos, vidrio y metal. Por lo que  
1092 sería recomendable actualizar los modelos y las bases de datos para tener un  
1093 desglose más amplio de categorías por tipos de residuos para reciclaje.
- 1094 • El perfil de impacto ambiental estimado, no se puede generalizar a todos los  
1095 procesos de reciclaje, esto se debe a que se desconoce las condiciones del  
1096 proceso detallado del reciclaje, por tipo de material (papel, cartón, plástico, metal,  
1097 etc.), tipo de maquinaria empleada, así como los insumos requeridos para el  
1098 proceso de operación y funcionamiento. Por lo que sería recomendable realizar el  
1099 ACV del proceso de reciclaje detallando las entradas y salidas por tipo de residuo.
- 1100 • El uso de los modelos de caracterización no genera resultados exactos del impacto  
1101 ambiental del proceso de gestión de disposición en RESA como el reciclaje, a  
1102 diferencia de hacer las mediciones in situ. Sin embargo, los resultados muestran  
1103 un panorama aproximado al impacto ambiental ocasionado por aplicar estos  
1104 sistemas de gestión para los RHME, mismos que tienen un potencial de  
1105 recuperación. Al contar con diferentes métodos de EICV y modelos de  
1106 caracterización, la estimación del impacto ambiental es más práctica y con un  
1107 enfoque de ciclo de vida, la interpretación del impacto ambiental puede ser la más  
1108 adecuada, a diferencia de otro tipo de métodos empleados para medir los impactos  
1109 ambientales.

1110



1111  
1112  
1113  
1114  
1115  
1116  
1117  
1118  
1119  
1120  
1121  
1122  
1123  
1124  
1125

# CAPITULO IV

1126  
  
1127  
  
1128  
  
1129  
  
1130  
  
1131



#### 1132 **4 Métodos de valoración para servicios ambientales**

1133 La evolución de la ciencia, tecnología y la demanda de servicios han transformado el  
1134 funcionamiento y la estructura de los sistemas ecológicos. Se estima que por acción  
1135 humana se ha incrementado a un 30% la concentración de dióxido de carbono, el  
1136 consumo de productos terrestres abarca entre el 10 y 55% de la materia prima y  
1137 alrededor de un cuarto de las especies humanas están en peligro de extinción. Por lo  
1138 tanto, se entiende que estos ecosistemas vienen a otorgar a la humanidad bienes y  
1139 servicios, como el abastecimiento de agua, la asimilación de residuos, la fertilidad del  
1140 suelo, la polinización y el placer estético (paisajes) entre otros. Estos flujos se han  
1141 vuelto vitales para la economía, y al verse alterados y limitados para la sociedad y las  
1142 especies en general se ha buscado asegurar estos suministros con la idea de la  
1143 sostenibilidad o el desarrollo sostenible (Lomas et al. 2015; Gómez Sántiz & Guerrero  
1144 García Rojas 2014).

1145 Al reconocer la dependencia de equilibrio entre la sociedad y el medio ambiente, se ve  
1146 forzada la necesidad de introducir el valor a los sistemas ecológicos en la toma de  
1147 decisiones de manera económica (monetaria). La economía ambiental pretende  
1148 establecer los métodos que permitan optimizar el uso del medio ambiente y los  
1149 recursos ya limitados (Gómez Sántiz & Guerrero García Rojas 2014). En este sentido  
1150 la utilización de instrumentos económicos se destaca cada vez más como una  
1151 herramienta eficaz para disminuir la problemática de la gestión de los residuos sólidos  
1152 y mejorar los servicios de recolección y disposición. Existen diversos tipos de  
1153 evaluaciones económicas que comparan evalúan la eficiencia de uno o más  
1154 programas de intervención y estos se caracterizan por expresar las externalidades





1155 negativas en términos monetarios. Algunos de los métodos existentes a nivel  
1156 internacional destacados por la literatura sobre política y economía ambiental para la  
1157 evaluación de sistema de gestión de residuos son los siguientes (Narváez et al. 2013)

#### 1158 **4.1 Tarifas de usuario**

1159 Es el instrumento económico más básico por la provisión de los servicios de  
1160 recolección, transporte y disposición final, incluso los impuestos cobrados con ese  
1161 objetivo por los distintos niveles de gobierno. Consiste en cobrar una tarifa sobre el  
1162 consumo de combustible y mano de obra utilizada para la recolección, así como el  
1163 peso y cantidad de RSU.

##### 1164 **4.1.1 Impuestos orientados a la internalización de las externalidades**

1165 Estos están asociados a la producción y disposición de residuos. Los impuestos  
1166 unitarios sobre productos finales e insumos (materias primas vírgenes o peligrosas)  
1167 pueden compensar la dificultad de aplicar tarifas directas sobre los usuarios y  
1168 proporcionar fondos para el financiamiento de los servicios de recolección y  
1169 disposición de residuos. Otros ejemplos que pertenecen a esta categoría incluyen los  
1170 impuestos que contemplan la contaminación residual del agua, el aire y el suelo en los  
1171 predios utilizados para la disposición de residuos.

##### 1172 **4.1.2 Subsidios**

1173 Los distintos tipos de subsidios buscan directamente recompensar el comportamiento  
1174 deseado (la reducción de residuos, mejorar la gestión, o el reciclado) más que  
1175 penalizar el comportamiento que se desea desalentar. Los subsidios pueden ser pagos  
1176 directos, reducciones en los impuestos u otros cargos, acceso preferencial al crédito,



1177 o transferencias en especie, como por ejemplo la provisión de tierra u otros recursos.

1178 Obviamente, estos instrumentos tienden a reducir los ingresos que de otro modo

1179 estarían disponibles para las autoridades.

#### 1180 **4.1.3 Programas de depósitos-reembolso**

1181 Combinan el efecto incentivo de las tarifas (cuando se compra un producto y se hace

1182 el depósito) y los subsidios (cuando un producto se devuelve o se lo trata

1183 adecuadamente y se reembolsa el depósito) para la gestión de los residuos sólidos.

1184 El instrumento denominado depósito-reembolso se refiere a la aplicación de un

1185 sistema combinado de impuesto acompañado de subsidio dependiendo del porcentaje

1186 de reciclaje y

1187 del uso de los insumos que se utilicen para elaborar un producto. El cargo a producto,

1188 está relacionado con impuesto a la producción mientras que los cargos a los materiales

1189 es un impuesto a los desechos vertidos (Narváez et al. 2013).

#### 1190 **4.1.4 Creación o facilitación de mercado**

1191 Es una medida relevante para todos los sectores involucrados en el ciclo del producto

1192 y de los residuos. Las políticas para promover mercados más competitivos dentro de

1193 los servicios de gestión de los residuos, en lugar de la habitual gestión pública directa,

1194 pueden cambiar el incentivo hacia la participación en la provisión de servicios, el

1195 incentivo del público de confiar en los servicios, y la situación fiscal de la autoridad

1196 pública. La experiencia con los contratos de licitación a largo plazo de los proveedores

1197 de servicio privado describe este tipo de instrumento económico. Un ejemplo de

1198 instrumentos basados en mercado podría ser el empaque (Narváez et al. 2013).



1199 **4.1.4 Costo efectividad**

1200 El Análisis de Costo Efectividad (ACE) valora dos o más estrategias midiendo los  
1201 costos en forma monetaria y evaluá los beneficios en forma natural como morbilidad,  
1202 mortalidad, años de vida ganados y/o muertes evitadas. El objetivo principal es mostrar  
1203 la opción más efectiva entre un proyecto actual y un proyecto ficticio (ALCARAZ-VERA  
1204 et al. 2016).

1205 Actualmente la incidencia y prevalencia de diferentes enfermedades demandan  
1206 diferentes tipos de servicios médicos y con ello el uso de insumos médicos, entre los  
1207 cuales se encuentran principalmente los materiales desechables (plásticos, vidrio,  
1208 textiles) cuya disposición generalmente se hace a través relleno sanitario o  
1209 incineración. Algunas investigaciones en el plano internacional (Riedel 2011; Lee et al.  
1210 2002; Kaseva & Gupta 1996) enfocadas en los residuos sólidos hospitalarios, reportan  
1211 que los materiales generados por las instituciones de salud pueden ser potencialmente  
1212 recuperables y compatibles con programas de recuperación y reciclaje. Sin embargo,  
1213 el principal problema detectado es que este tipo de residuos carecen de un valor de  
1214 uso y por tanto de valor de cambio (ALCARAZ-VERA et al. 2016). El análisis costo  
1215 efectividad es la herramienta que permitirá evaluar cual método de gestión es más  
1216 efectivo y menos costoso para el tratamiento de los RHME.

1217



1218 **4.2 Desarrollo metodológico para evaluación de costo efectividad**

1219 **4.2.1 Definición del escenario problema**

1220 El 90% de los residuos hospitalarios son considerados residuos sólidos comunes  
1221 debido a sus características y composición. Actualmente estos residuos se gestionan  
1222 exclusivamente bajo la disposición en relleno sanitario, evitando que sean reciclados  
1223 e incorporados a la cadena de valor. De igual manera se desconoce el costo de  
1224 inversión y la efectividad del relleno sanitario, así como del proceso de esterilización y  
1225 reciclaje.

1226 **4.2.2 Objetivos**

1227 4.2.2.1 Objetivo general

1228 Evaluar dos sistemas de tratamiento para RHME; disposición en RESA(A) y  
1229 esterilización y reciclaje de los RHME (B). Mediante la aplicación del método de ACE.

1230 4.2.2.2 Objetivos específicos

- 1231 • Calcular la proyección de generación de RHME a 20 años conforme a vida útil
- 1232 de cada sistema de gestión.
- 1233 • Calcular proyección de ganancias del reciclaje de los RHME.
- 1234 • Identificar costos de cada uno de los sistemas de gestión.
- 1235 • Comparar costos entre los dos sistemas de gestión (A y B).
- 1236 • Realizar análisis costo efectividad para los sistemas de gestión (A y B).

1237 **4.2.3 Descripción de proyectos de gestión de RHME**

1238 4.2.3.1 Proyecto actual (Disposición en relleno sanitario)

1239 Para estimar los costos de disponer los RHME en el RESA, se construyó un Relleno  
1240 Sanitario (RESA) hipotético, tomando como variables; la población actual de la Ciudad



1241 de Morelia Michoacán al año 2018 y una proyección de población a futuro (20 años).

1242 De esta forma se pudo determinar su capacidad total de recepción de residuos durante

1243 20 años (vida útil), haciendo que sea compatible con la vida útil del equipo de

1244 esterilización y reciclaje.

1245 Las actividades para la construcción del RESA se describen a continuación:

1246 **Actividad 1. Cálculo de población a futuro**

1247 Para determinar la población a futuro se empleó la siguiente ecuación:

1248 Ecuación 2. Proyección poblacional

Dónde:

<b>P<sub>f</sub></b>	Población a futuro	<b>Pf = p<sub>o</sub>(1 + r<sup>2</sup>)<sup>t</sup></b>
<b>P<sub>o</sub></b>	Población inicia	
<b>R</b>	Tasa de crecimiento	
<b>T</b>	Tiempo años de	
	proyección	

1249 Elaboración a partir de Consejo Nacional de Población  
1250 (CONAPO, 2018).

1251 **Actividad 2. Cálculo de generación proyectada de residuos por día**

1252 Posteriormente se calculó la cantidad de residuos sólidos generados por día, para

1253 identificar la capacidad total del relleno sanitario durante su vida útil y construir el

1254 RESA y en relación a los cálculos realizados poder estimar los costos. Para calcular

1255 la cantidad máxima de residuos sólidos por día se empleó la siguiente ecuación:

1256 Ecuación 3. Generación de residuos por día

Dónde:

<b>P<sub>f</sub></b>	Población a futuro	<b>GRSud: <math>\frac{P_f * GP^3}{1000}</math></b>
<b>GRSud</b>	Generación de residuos sólidos/día	
<b>GP</b>	Generación per cápita	

1257 Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de caracterización de RHME

<sup>2</sup> r: tasa (0.015) de crecimiento fue asignada de acuerdo al Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2018).

<sup>3</sup> Indicé de generación de residuos por persona de acuerdo a SEMARNAT

[http://www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/07\\_residuos/7\\_1\\_1.htmlv](http://www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.htmlv)



1258 **Actividad 3. Cálculo de volumen de RSU/día**

1259 Una vez obtenida la generación de RSU por día, la siguiente actividad fue calcular el  
 1260 volumen de los residuos sólidos y el área necesaria para disponer las toneladas de  
 1261 RSU/día. Para este cálculo se empleó la siguiente ecuación:

1262 **Ecuación 4. Volumen de RSU**

Dónde:

<b>Vol<sub>RSU</sub>:</b>	Volumen de residuos sólidos por día	
<b>GRSU<sub>d</sub></b>	generación de residuos sólidos urbanos por día	<b>Vol<sub>RSU</sub> = <math>\frac{GRSU_d}{DRSU^4}</math></b>
<b>DRSU:</b>	Densidad por tonelada	

1263 Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de caracterización de RHME

1264

1265 Por último, el siguiente paso fue calcular el área requerida para disponer la cantidad  
 1266 de residuos generados por día Para ello se aplicó la siguiente ecuación:

1267 **Ecuación 5. Área de RSU/día**

Dónde:

<b>ARSd:</b>	Área requerida para los residuos sólidos por día	
<b>Vol<sub>RSU</sub>:</b>	Volumen de residuos sólidos urbanos	<b>ARSd = <math>\frac{Vol_{RSU}}{R}</math></b>
<b>R<sup>5</sup>:</b>	restricción de altura (20m)	

1268 Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de caracterización de RHME

1269

<sup>4</sup> La densidad 0.65 m<sup>3</sup>/tonelada de acuerdo a *SEMARNT* (SEMARNAT 2016).

<sup>5</sup> La restricción de altura se determinó de acuerdo a las especificaciones de construcción operación para el RESA de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003).



1270 Una vez realizados todos los cálculos, el siguiente paso fue realizar los cálculos  
1271 referentes a los 20 años proyectados. La Tabla 18 muestra los datos en función de los  
1272 años de vida útil del RESA.

1273 Tabla 18. Datos de proyección de generación de RHME

Rubro	Cantidad	Unidad
Población actual	1,100,000.00	Habitantes
Población proyectada (20 años)	1,481,540.51	Habitantes
Generación RSU/año	811,143.43	T
Volumen/año	527,243.23	m <sup>3</sup>
Área de RSU/año	26,362.16	m <sup>2</sup>
Longitud/año	162.36	M
Capacidad total RESA/20 años	16,222,868.55	T
Volumen RSU/20 años	10,544,864.56	m <sup>3</sup>
Área de RSU/20 años	527,243.23	m <sup>2</sup>
Longitud/20 años	726.12	M

1274

1275 4.2.3.2 Proyecto mixto (Esterilización + reciclaje)

1276 Para este escenario de residuos se calculó el uso de insumos para el funcionamiento  
1277 de la maquinaria de esterilización y reciclaje durante un año. Los datos fueron  
1278 consultados en las fichas técnicas de cada equipo. La Tabla 19 muestra los datos del  
1279 equipo necesario para el escenario mixto.

1280 Tabla 19. Datos de maquinaria necesaria para proceso de reciclaje (pelletizado)

Maquinaria <sup>6</sup>	Capacidad	Insumo	Cantidad	Unidad	Años vida útil
Esterilizador Steriflash 200ST	200 kg/ciclo	Electricidad	6.6	kWh	20
		Agua	55	L	
		Bactericida	0.05	L	
Cinta transportadora (reciclaje)	1500 kg/hr	Electricidad	30	kWh	25
Lavadora (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	33	kWh	20
Secadora (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	112	kWh	20
Molino (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	15	kWh	20
Balanza industrial (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	6	kWh	25

<sup>6</sup> Los datos técnicos fueron obtenidos en las siguientes ligas:

<http://www.ortmed.mx/>

<http://www.recovery.com.es/equipo/reciclaje/>



1281 **4.2.4 Medición de costos pos sistema de gestión**

1282 4.2.4.1 Cálculo de costos por capacidad de proyecto de gestión para RHME

1283 Disposición en RESA

1284 Una vez obtenidos los datos necesarios de la generación de residuos proyectada a 20

1285 años y el área requerida para construir el RESA, el siguiente paso fue calcular los

1286 costos de gestionar 2,222.3 toneladas de RSU/día, para posteriormente estimar los

1287 costos por el flujo de referencia (11.6 t/RHME). La Tabla 20 muestra de forma resumida

1288 los cálculos del transporte de los RSU, la construcción y operación del RESA.

1289



Tabla 20. Estimación de costos para gestión de RSU por día

OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO								
Transporte								
Vehículo	Capacidad	Vehículos	Viajes/día	RSU transportados	Distancia recorrida	Combustible gastado (L/día)	Costo combustible	Costo total por día
Camioneta gas LP	1.0	45	6	281.8	150	60	\$13.62	\$817.20
Camioneta gasolina	5.1	27	4	556.4	100	50	\$18.50	\$925.00
Camión a diésel	9.9	17	3	505.6	75	67.5	\$19.45	\$1,312.88
Camión a diésel	15.1	12	3	544.8	75	90	\$19.45	\$1,750.50
Tráiler a diésel	33.9	5	2	333.7	50	75	\$19.45	\$1,458.75
<b>Total</b>		<b>106</b>	<b>18</b>	<b>2222.3</b>	<b>450</b>	<b>342.5</b>		<b>\$6,264.33</b>
Disposición final		Extracción de la grava						
Cantidad de RSU por día (t/día)	2222.3	Maquinaria	Cantidad	Cantidad de grava (m <sup>3</sup> /h)	Combustible gastado (L/h)	Costo del combustible	Costo de la grava/día	Costo total por día
Área requerida (m <sup>2</sup> /día)	170.9	Retroexcavadora	21.4	11	\$19.45	7692.6	3734.4	\$2,234
Cantidad de grava requerida (m <sup>3</sup> /día)	256.4	Tractor	21.4	16	\$19.45		1283.7	
Cantidad de agua requerida (m <sup>3</sup> /día)	17.1							
Transporte de la grava								
Maquinaria (#)		Cantidad de grava (m <sup>3</sup> /viaje)	Cantidad de viajes		Combustible gastado (L/viaje)	Costo del combustible	Costo total por día	
Camión de volteo	2	10.0						



Cantidad de grava (m <sup>3</sup> /día)	256.4			2	27.75	19.45	13837.6	
<b>Compactación de residuos</b>								
Maquinaria (#)	Cantidad de grava (m <sup>3</sup> /día)		Combustible gastado (L/h)	Horas de trabajo	Costo del combustible	Costo total por día		
Compactadora	2	256.4	20	6.0	19.45	2334.0		
Transporte de agua	Maquinaria (#)	Cantidad de agua (m <sup>3</sup> /día)	Cantidad de grava (m <sup>3</sup> /viaje)	Cantidad de viajes	Combustible gastado (L/viaje)	Costo del combustible	Costo del agua	Costo por día
Pipas de agua	1	17.1	8	2.1	37.5	19.45	769.3	1558.6
<b>Salarios</b>								
	Cantidad	Salarios mínimos por día	Costo total por día					
Obreros	16	2	\$2,254.08					
Maquinistas	8	3	\$1,690.56					
Administrativos	6	4	\$1,690.56					
Vigilantes	2	2	\$281.76					
Bascula	2	2	\$281.76					
<b>Construcción</b>								
Adquisición del terreno				\$5,000,000.00	Depósito para la captación de lixiviados (cárcamo de bombeo)		\$50,220.00	
Preparación y nivelación del terreno				\$80,246.42	Red de captación de lixiviados		\$132,685.39	
revestimiento impermeable del suelo				\$445,626.00	Pozos		\$170,262.26	
Cobertizo estructural				\$208,010.23	Laguna de evaporación		\$57,825.00	
Caseta de control de pesaje y oficina administrativa				\$60,664.71	Sondas de ventilación de biogás		\$27,447.25	
Bascula				\$285,381.04				
Estacionamiento, jardines, andadores y patios de maniobras				\$113,931.73				
Cerca perimetral, tipo malla ciclónica				\$67,742.27				
Instalación eléctrica exterior				\$97,655.77				
Vestidores				\$46,304.48				



Instalación sanitaria exterior	\$29,437.53		
Instalación hidráulica exterior	\$34,554.18		
Preparación de macroceldas	\$7,494,074.92		
caseta de vigilancia y control	\$20,849.48		
<b>Total</b>	<b>\$265,980,242.31</b>		

1291

1292 Esterilización y reciclaje

1293 Para este sistema de gestión se obtuvieron los costos de la maquinaria y los insumos  
1294 requeridos para su funcionamiento. La Tabla 21 muestra de forma resumida los costos  
1295 por capacidad de carga.

1296 Tabla 21. Estimación de costos por capacidad de carga del sistema de gestión mixto

Maquinaria	Capacidad	Insumo	Cantidad	Unidad	Costos
Esterilizador Steriflash 200ST	200 kg/ciclo	Electricidad	6.6	KWh	\$18.49
		Agua	55	L	\$0.94
		Bactericida	0.05	L	\$1,058.82
cinta transportadora (reciclaje)	1500 kg/hr	Electricidad	30	kWh	\$84.06
lavadora (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	33	kWh	\$92.47
Secadora (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	112	kWh	\$313.82
molino (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	15	kWh	\$42.03
balanza industrial (reciclaje)	120 kg/hr	Electricidad	6	kWh	\$16.81

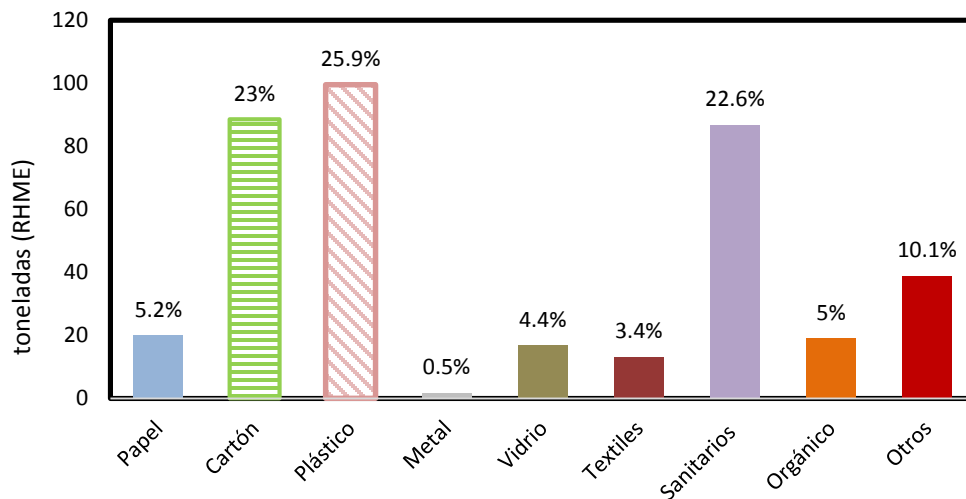
1297

#### 1298 **4.2.5 Proyección de generación por categoría de residuos hospitalarios de**

#### 1299 **manejo especial**

1300 Para proyectar la cantidad de RHME generados por las unidad médica se tomaron en  
1301 cuenta dos variables importantes, la tasa crecimiento del 5% anual referenciada por la  
1302 SEMARNAT (2016) y la vida útil del equipo de reciclaje y el RESA.

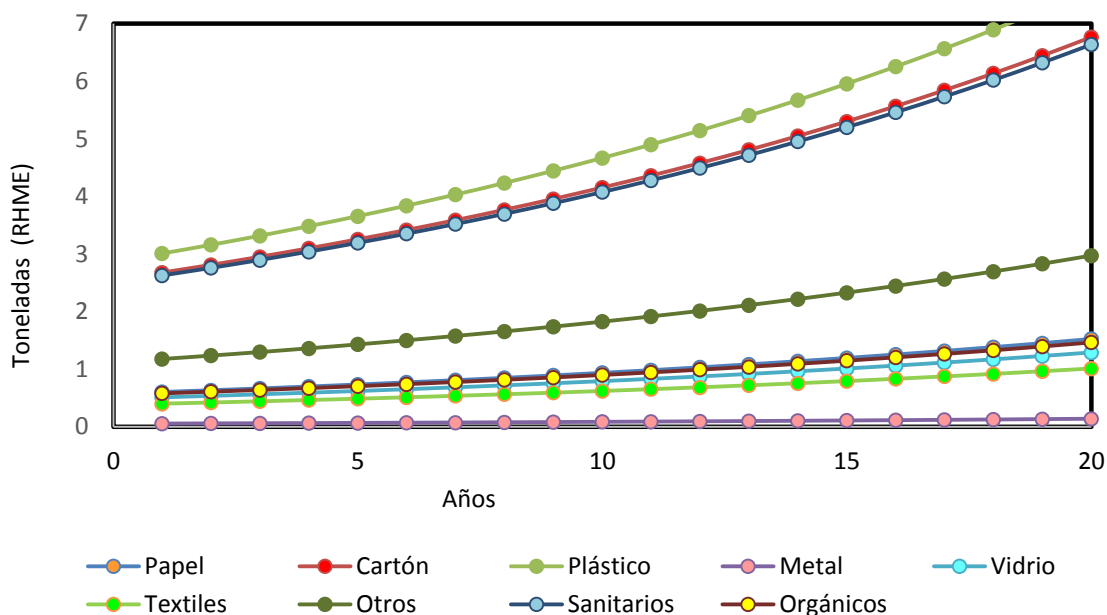
1303 Esto sirvió para identificar la cantidad total de RHME potencialmente recuperables y  
1304 estimar las ganancias de reciclar los residuos durante los 20 años. La Figura 53  
1305 presenta la generación de RHME proyectada a 20 años. Se puede observar que la  
1306 generación alcanza las 385 toneladas (t), de las cuales el 26 % (99 t) corresponde a la  
1307 categoría de plásticos, seguida del cartón 23% (88 t) y por último los residuos sanitarios  
1308 22% (86 t). También se puede observar que de las categorías de residuos  
1309 potencialmente recuperables que tienen la generación por debajo de una tonelada son  
1310 principalmente el metal y el vidrio.



1311  
1312  
1313

Figura 53 Generación de RHME/20 años

1314 La Figura 54 presenta la generación de RHME proyectada por año. Se puede observar  
1315 que la categoría de residuos con un crecimiento importante al año 20 es el plástico,  
1316 con una generación mayor a las 7 t, seguida del cartón (6 t) y por último los residuos  
1317 sanitarios (6 t).



1318  
1319

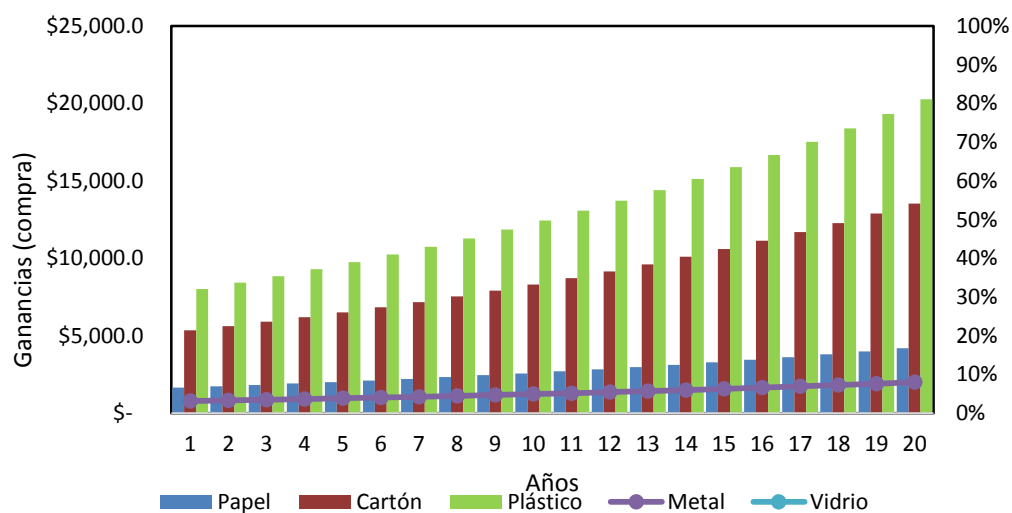
Figura 54 Proyección de la generación de RHME en 20 años



1320 **4.2.6 Estimación de ganancias por sistema de recuperación mixto**

1321 4.2.6.1 Proyección de las ganancias por la compra de RHME

1322 La Figura 56 muestra la proyección de la compra de los RHME potencialmente  
1323 recuperables durante los 20 años proyectados. Se puede observar que las ventas son  
1324 de aproximadamente entre \$ 13, 00.00 y \$20,000.00 en el año 20, para las categorías  
1325 de plástico y cartón. En este caso las subcategorías de residuos que generan mayor  
1326 ganancia para el sector de pepena son el PEAD y el PET. Los precios para estos  
1327 materiales se estiman entre \$3 y \$6 pesos por kilogramo segregado unicamente. En  
1328 el caso del metal y el vidrio se puede observar que solo abría una ganancia de entre  
1329 \$500.00 y \$1,000.00 pesos.



1330

1331

Figura 55 Proyección de ganancias compra (sector pepenador)

1332

1333 La Tabla 22 muestra el total de ganancias por la venta de este material durante los  
1334 veinte años, así como el promedio de los precios del material utilizado para la  
1335 estimación de costos pagados al sector de pepena por la industria de reciclaje

1336 Tabla 22 Ganancias para de sector de pepena.

<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Precio de compra</b>	<b>Cantidad (RHME-20 años)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
<b>Papel</b>	Bond	\$3.00	19.95	T	<b>\$54,854.66</b>
	Periódico	\$2.00			
	Encerado	\$3.00			
	Estraza	\$3.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$2.75</b>			
<b>Cartón</b>	Compacto	\$2.00	88.55	T	<b>\$177,102.32</b>
	Ondulado	\$2.00			
	Encerado	\$2.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$2.00</b>			
<b>Plástico</b>	PEAD	\$6.00	99.50	T	<b>\$265,335.32</b>
	PEBD	\$3.00			
	PP	\$3.00			
	PVC	\$1.00			
	PS	\$ 0			
	PET	\$3.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$2.67</b>			
<b>Metal</b>	Ferroso	\$1.00	1.81	T	<b>\$26,250.41</b>
	No ferroso	\$28.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$14.50</b>			
<b>Vidrio</b>	Medicamento	\$1.00	16.88	T	<b>\$16,883.15</b>
	Alimentos	\$1.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$1.00</b>			
<b>Total</b>					<b>\$540,425.86</b>

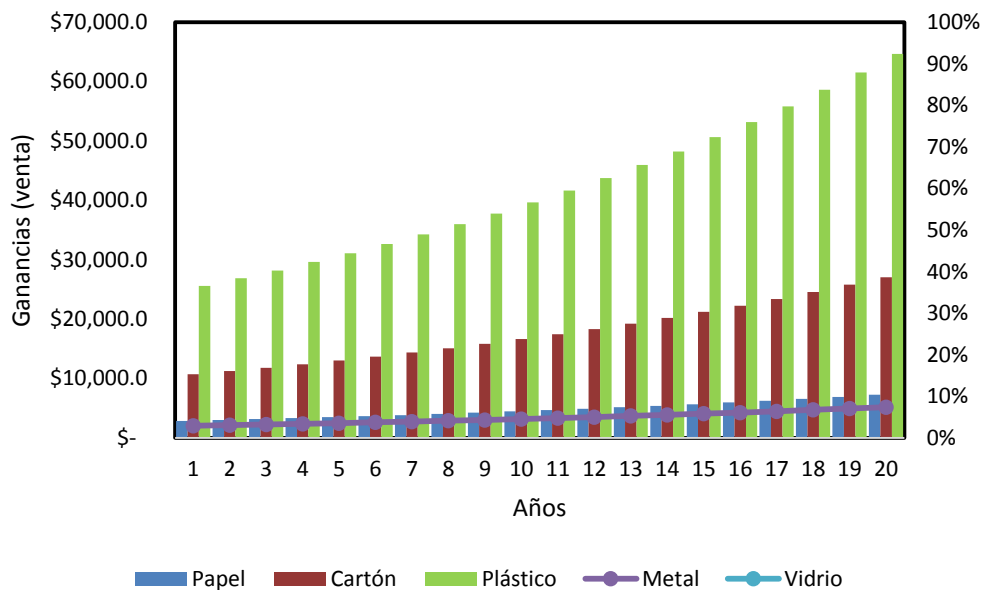
1337

1338

1339

1340 4.2.6.2 Proyección de las ganancias por la venta de RHME

1341 La Figura 56 muestra la proyección de la venta de los RHME potencialmente  
1342 recuperables durante los 20 años proyectados. Se puede observar que las ventas son  
1343 de aproximadamente entre \$ 10, 00.00 y \$60,000.00 al año 20 para las categorías de  
1344 plástico y cartón. En este caso las subcategorías de residuos de mayor contribución  
1345 de la venta son el PET y el PEAD. Los precios para estos materiales se estiman entre  
1346 \$4 y \$37 pesos por kilogramo ya previamente lavado y pelletizado. En el caso del metal  
1347 los costos de compra por los recicladores y pelletizadores son en promedio de \$37.50  
1348 , sin embargo la ganancia para esta categoría durante los 20 años es de \$5,000.00  
1349 pesos debido a la baja generación.



1350

1351

Figura 56 Proyección de ganancias venta material potencialmente recuperable

1352





1353 La Tabla 23 muestra el total de ganancias por la venta de este material para el sector  
1354 del pelletizado y reciclaje durante los veinte años, así como el promedio de los costos  
1355 por material utilizados para las estimaciones.



1356

Tabla 23. Ganancias de venta de material reciclado (sector privado)

Categoría	Subcategoría	Precio de Venta	Cantidad (RHME-20 años)	unidad	Total
Papel	Bond	\$4.00	19.95	t	\$94,748.95
	Periódico	\$7.00			
	Encerado	\$4.00			
	Estraza	\$4.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$4.75</b>			
Cartón	Compacto	\$4.00	88.55	t	\$354,204.63
	Ondulado	\$4.00			
	Encerado	\$4.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$4.00</b>			
Plástico	PEAD	\$13.00	99.50	t	\$845,756.33
	PEBD	\$8.00			
	PP	\$8.00			
	PVC	\$2.00			
	PS	\$1.00			
	PET	\$19.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$8.50</b>			
Metal	Ferroso	\$3.00	1.81	T	\$67,889.00
	No ferroso	\$72.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$37.50</b>			
Vidrio	Medicamento	\$2.00	16.8	T	\$25,324.72
	Alimentos	\$1.00			
<b>Promedio</b>		<b>\$1.50</b>			
<b>Total</b>					<b>\$1,387,923.64</b>

1357

#### 1358 4.2.7 Estimación de costos por gestión de RHME

1359 4.2.7.1 Estimación de costos de disposición final en relleno sanitario (proyecto actual)

1360 La Tabla 24 muestra el costo total de disponer 11. 6 t/año de RHME en el relleno

1361 sanitario, se observa que al igual que el sistema de gestión de residuos mixto el 99%

1362 del gasto es atribuido a la construcción. Por otra parte, se puede apreciar que los

1363 costos por operación y funcionamiento representan en 1% restante, de los cuales los

1364 costos más altos son por el pago de salarios y equipamiento de seguridad.

1365



1366

Tabla 24. Costos del sistema de gestión actual

Proceso	Costo	Proceso	Costo
Adquisición del terreno	\$5,000,000.00	Estacionamiento, jardines, andadores y patios de maniobras	\$60,664.71
Preparación y nivelación del terreno	\$97,655.77	Cerca perimetral, tipo malla ciclónica	\$285,381.04
revestimiento impermeable del suelo	\$113,931.73	instalación eléctrica exterior	\$67,742.27
Cobertizo estructural	\$208,010.23	Vestidores	\$46,304.48
Caseta de control de pesaje y oficina administrativa	\$80,246.42	Instalación sanitaria exterior	\$29,437.53
Bascula	\$445,626.00	Instalación hidráulica exterior	\$34,554.18
Preparación de macro celdas	\$7,494,074.92	Sondas de ventilación de biogás	\$27,447.25
caseta de vigilancia y control	\$20,849.48	Salarios	\$6,198.72
depósito para la captación de lixiviados (cárcamo de bombeo)	\$50,220.00		
red de captación de lixiviados	\$132,685.39		
Pozos	\$170,262.26		
laguna de evaporación	\$57,825.00		
<b>Total</b>	<b>\$14,429,312.07</b>		

1367

1368 4.2.7.2 Estimación de costos de esterilización y reciclaje (proyecto propuesto)

1369 La Tabla 25 muestra los costos totales de tratar 6.85 toneladas/año (Flujo de  
 1370 referencia) de RHME bajo el escenario mixto. Se observa que el 80 % de los gastos  
 1371 se atribuyen principalmente a la adquisición de maquinaria para la esterilización y  
 1372 reciclaje. Por otra parte, los costos por el uso de electricidad, agua y bactericida  
 1373 utilizados por el esterilizador representan solo el 0.08 5% y en el caso de la energía  
 1374 requerida por las maquinarias del sistema de reciclaje representa el 0.8%.

1375

1376

Tabla 25. Costos del proceso de esterilización y reciclaje

PROCESO	CANTIDAD DE INSUMO	UNIDAD	COSTO	
<b>Toneladas/tratadas</b>	<b>6.85/año</b>	<b>t</b>	<b>Costo (maquinaria)</b>	
<b>Esterilizador</b>	1	Pieza	\$2,574,898.40	
Energía eléctrica	226.2	kWh	\$633.93	
Agua	1885.3	L	\$32.05	
Bactericida	1.7	L	\$2,117.64	
<b>Subtotal</b>			<b>\$2,783.62</b>	
<b>Operación y funcionamiento</b>				
Operadores	3	*P	\$204,120.00	
Máscaras	6	piezas	\$22,116.00	
Protección (traje corporal)	6	piezas	\$16,146.00	
Guantes (resistentes a químicos)	6	piezas	\$2,106.00	
Botas industriales (resistentes a químicos)	6	piezas	\$14,976.00	
<b>Subtotal</b>			<b>\$259,464.00</b>	
<b>Maquinaria (Reciclaje)</b>				
cinta transportadora (reciclaje)	137.1	kWh	\$384.20	\$86,000.00
lavadora (reciclaje)	1885.3	kWh	\$5,282.71	\$4,902.00
Secadora(reciclaje)	6398.7	kWh	\$17,929.21	\$5,160.00
molino (reciclaje)	857.0	kWh	\$2,401.23	\$6,088.80
balanza industrial (reciclaje)	342.8	kWh	\$960.49	\$4,816.00
<b>Subtotal</b>			<b>\$26,957.84</b>	<b>\$106,966.80</b>
<b>Operación</b>				
Operadores	10	*P	\$204,120.00	
Lentes de protección	10	Pares	\$73,720.00	
protección (traje corporal)	10	Pares	\$53,820.00	
Guantes (anti punción)	10	Pares	\$7,020.00	
Botas industriales (resistentes antiderrapantes)	10	Pares	\$49,920.00	
casco de protección	10	Pares	\$7,480.00	
<b>Subtotal</b>			<b>\$396,080.00</b>	
<b>Total</b>	<b>\$3,367,150.66</b>			

1377

1378 **4.2.8 Costos generales por proyecto de gestión de residuos**

1379 La Tabla 26. Muestra los costos totales de gestionar la capacidad total de funcionamiento  
1380 durante 20 años del RESA y de la esterilización y el reciclaje, esto servira más adelante para  
1381 el análisis de costo efectividad por proyecto.

1382 Tabla 26. Costos generales de los sistemas de tratamiento para los RHME

Tratamiento	Capacidad (t/20 años)	Costo
Disposición en relleno sanitario	16,222,808.55	\$265,980,242.31
Esterilización más reciclaje	9,216.00	\$ 85,924,279.00

1383

1384 **4.3 Análisis de costo efectividad**

1385 **4.3.1 Relación costo efectiva**

1386 Conocer únicamente los costos o únicamente la efectividad no es suficiente para tomar  
1387 decisiones. Para ello se puede hacer uso de las razones, que proveen la información  
1388 en perspectiva. De esta forma, es posible evaluar la relación existente entre los costos  
1389 de una intervención y su efectividad. Para la evaluación la relación de costo efectividad  
1390 se empleó la siguiente ecuación, de acuerdo a la guía de análisis de costo efectividad  
1391 de (OMS 2003).

1392 Ecuación 6. Análisis de costo efectividad

Dónde:

**Rce** Razón de costo-efectividad

**Ci** costo de la intervención

**Me** Medida de la efectividad de la intervención.

$$Rce = \frac{Ci}{Me}^7$$

1393 Elaboración a partir de la guía de Análisis de costo efectividad OMS (2003).

1394

<sup>7</sup> Elaboración a partir de (OMS 2003).



1395 Alternativa 1 (Disposición en RESA)

$$1396 \quad Rce = \frac{\$265,980,242.31}{16,222,808.55}$$

$$1397 \quad Rce = \$16.40$$

1398 Alternativa 2(Esterilización + Reciclaje)

$$1399 \quad Rce = \frac{\$85,924,279.30}{9,984.00}$$

$$1400 \quad Rce = \$8,606.20$$

1401 Se obtuvo como resultado, una razón para la alternativa 1 de un costo aproximado de  
1402 \$16.40 pesos, para una efectividad de gestionar una tonelada de cualquier tipo de  
1403 RHME, sin segregación ni tratamiento previo, con un alojamiento de 20 años en el  
1404 relleno sanitario. Mientras que, para la alternativa 2 la razón da un costo total de  
1405 \$8,606.20 pesos con una eficacia de una tonelada de RHME previamente segregada  
1406 y caracterizada, con un potencial de reciclaje y ganancia de \$15,834.00 pesos al darle  
1407 valor agregado a un material de desecho y reincorporarlo al mercado.

#### 1408 **4.3.2 Análisis incremental de los sistemas de gestión actual y propuesto.**

1409 Otra forma de medida más útil que compare directamente entre las dos intervenciones  
1410 una actual y una futura, es la razón de costo efectividad incremental, de esta forma es  
1411 posible observar el costo adicional o inclusive el menor costo, en que se debe incurrir  
1412 por cada unidad de efectividad que se gane, aplicando la siguiente ecuación:

1413



1414 Ecuación 5. Análisis de costo incremental

Dónde:

**CEI:** costo efectividad incremental

**CA y CB:** costo de la intervención

**EA y EB:** la efectividad de cada tratamiento

$$CEI = \frac{CA - CB}{EA - EB}^8$$

1415  $CEI \text{ opción} = \frac{\$265,980,242.31 - \$85,924,279.30}{16,222,808.55 \text{ t} - 9,884.00 \text{ t}}$

1416  $CEI \text{ opción} = \frac{\$180,055,963.01}{16,212,924.55 \text{ t}}$

1417 CEI opción : \$11.10

1418 De acuerdo al análisis de costo efectividad incremental, el valor máximo estimado al  
1419 que se deberían gestionar los RHME es a un costo aproximado de \$11.10 por unidad,  
1420 teniendo en cuenta que la razón de la efectividad incurre en costo del tratamiento. Esta  
1421 razón se estima en base al costo general (vida funcional) de los sistemas de gestión,  
1422 uso de insumos, operación y funcionamiento de ambos tratamientos.

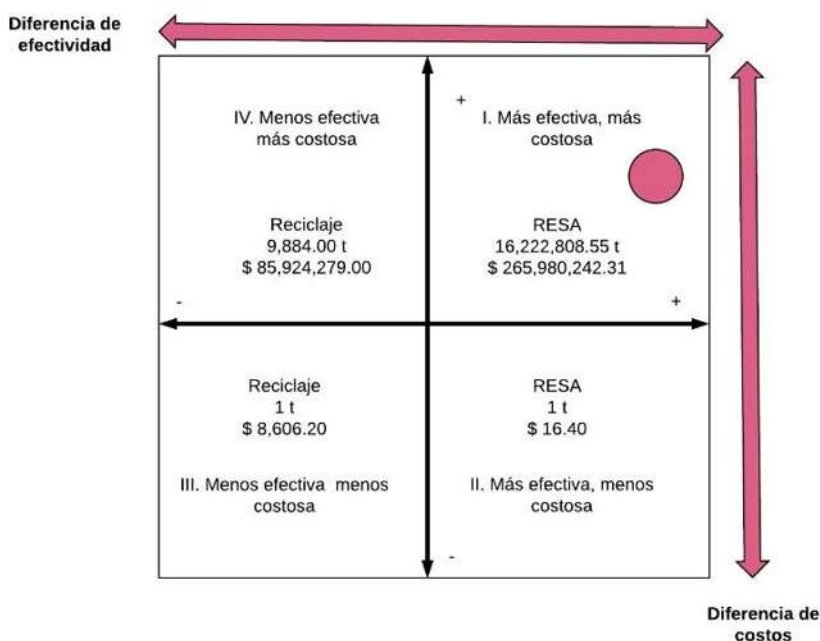
1423 Entonces se puede interpretar que, la opción más económico eficiente es la gestión  
1424 bajo el escenario actual, porque aun agregado el 68% del costo total neto de la  
1425 alternativa 1 el costo incremental sería de un total de \$27.5 por unidad. Mientras que  
1426 para la alternativa 2 aun que el costo incremental representa el 0.12% del costo total  
1427 neto el costo total sería de \$8,617.3 por unidad tratada.

1428 La Figura 57 muestra un gráfico con 4 cuadrantes conocido como plano de costo  
1429 efectividad. Se puede observar que el eje horizontal representa la diferencia entre la  
1430 efectividad de la intervención de interés (2) y la intervención actual (1) expresada en  
1431 toneladas de RHME tratadas en una constante de 20 años, mientras que el eje vertical

<sup>8</sup> Elaboración a partir de (Gaspari 1986).



1432 representa la diferencia en costes netos por unidad de RHME gestionada. El cuadrante  
1433 I permite representar la intervención actual y observar que es la más costosa, sin  
1434 embargo, es más efectiva a diferencia del cuadrante IV (interés) que es menos efectiva  
1435 y más costosa. Al realizar el análisis de CEI se puede corroborar por costo neto que la  
1436 gestión de los RHME bajo la intervención 1 cuadrante II es la mejor opción, mientras  
1437 que la intervención 2 cuadrante IV. Si la intervención de interés acaba en el cuadrante  
1438 II o I es claro que es una intervención viable, esto dependiendo del máximo CEI que  
1439 se está dispuesto a pagar por unidad.



1440  
1441 Figura 57 Plano de costo efectividad de los sistemas de gestión de RHME

1442

### 1443 4.3.3 Conclusiones

- 1444 • A partir de los resultados del ACE se determinó que el método más costo  
1445 eficiente es la gestión bajo el escenario de disposición final en el relleno  
1446 sanitario, debido a que la efectividad de este escenario es 1000 veces mayor.





- 1447 • A partir de los resultados del análisis de CEI se confirma que la opción más  
1448 viable es la gestión es la actual, debido a que el costo incremental no afecta la  
1449 efectividad del sistema por unidad tratada.
- 1450 • El ACE sirvió para determinar que el reciclaje y la recuperación de RHME  
1451 genera un beneficio potencial al sector social (pepena) y el sector privado  
1452 (pelletizado) por la recuperación e ingreso a la cadena de valor de un material  
1453 considerado desecho.
- 1454 • Reciclar una tonelada de plástico (PET) equivale al ahorro de 4.44 barriles de  
1455 petróleo para fabricar resina virgen (ECOCE 2015), lo que se traduce a un  
1456 ahorro de \$6,107.00 por obtención de materia prima.
- 1457 • Una tonelada de cartón o papel ahorran 25,000 litros de agua (\$450.00 pesos),  
1458 el uso de 4,100 kWh (\$8,200.00 pesos) y la tala de 17 árboles (17 metros) que  
1459 brindan oxígeno a 40 personas por un año (ECOCE 2015).

#### 1460 **4.3.4 Limitaciones y recomendaciones**

- 1461 • Una de las principales limitaciones es que, los métodos de valoración  
1462 económica para la gestión de residuos hospitalarios son por medio de métodos  
1463 de valoración contingente para residuos hospitalarios peligroso, lo que dificulta  
1464 tener una referencia del método de CEI para la evaluación de los sistemas de  
1465 RHME. Sin embargo la metodología fue adecuada y adaptada al análisis de  
1466 estos residuos.
- 1467 • Se recomienda después de realizar el ACE realizar otra investigación de  
1468 valoración contingente al sector hospitalario para tener un panorama global  
1469 entre lo que se paga por gestionar estos residuos y la cantidad que se estaría



1470 dispuesto este sector a pagar para recuperar e invertir en un sistema de gestión  
1471 con potencial de recuperación.

1472 • Se recomienda promover la segregación y recuperación de los residuos de  
1473 envases post-consumo, de PET y otros plásticos, a través su valorización en  
1474 \$/kg, para evitar que se queden enterrados en los rellenos sanitarios.

1475 • Participar en la generación de legislación, reglamentación y normatividad  
1476 relacionada con el manejo de los RHME, con la finalidad de tener certidumbre  
1477 jurídica y continuidad en materia de acopio y reciclaje.

1478 • Promover una nueva industria de reciclaje en México, que genere un mercado  
1479 nacional, empleos y certidumbre a la recuperación de los diferentes tipos de  
1480 RHME.

1481



## 1482 **5 Discusión**

1483 Anualmente se generan 5 millones de residuos hospitalarios de los cuales el 90% se  
1484 consideran RHME. Esta es un área de importante preocupación, debido a que solo el  
1485 20% recibe un tratamiento oportuno (OMS, 2016). Si bien a nivel internacional se tiene  
1486 conocimiento de la huella de carbono de algunos tratamientos como la incineración  
1487 para RHP (Ghodrat et al. 2016; Bujak 2015; Ray. 2010; Tchernitchin 2005; Connett et  
1488 al. 1997). Existe una escasez de información en la literatura sobre los impactos  
1489 ambientales de los sistemas de gestión para los RHME. Para el mejor conocimiento  
1490 de la autora, este trabajo es el primer intento de cuantificar la huella ambiental de los  
1491 RHME en México, con el enfoque de ciclo de vida (ACV) y es complementado con un  
1492 análisis de costo efectividad.

1493 Los antecedentes revisados en esta investigación muestran el impacto ambiental en  
1494 la categoría de CC por distintos métodos de tratamiento para los RHME, se puede  
1495 observar que emiten entre 600 y 1000 kg de CO<sub>2</sub> eq por tonelada, de igual manera  
1496 tienen un ingreso estimado de 50,000 \$ aproximadamente por la recuperación y  
1497 reciclaje de materiales como cartón, vidrio, metal y plásticos. La Tabla 62 muestra un  
1498 comparativo de los resultados obtenidos en esta investigación y otras investigaciones  
1499 con enfoque de ciclo de vida

1500 .

1501 Tabla 272. Comparación de resultados de ACV para RH

Lugar	Sistema-producto	Resultados del análisis			Referencia
		Impacto Ambiental	Cargas evitadas	Económico	
México	Ciclo de vida de la disposición final y reciclaje de los RHME	693.10 kg CO <sub>2</sub> eq/ton	1,094.30 kg CO <sub>2</sub> eq/ton	\$58,318.28 MNX	Este estudio
Pakistán	Aplicación del ciclo de vida para la gestión de los residuos sólidos hospitalarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 737.3 kg CO<sub>2</sub> eq/ton</li> <li>• 688.46 kg CO<sub>2</sub> eq/ton</li> <li>• 450 kg CO<sub>2</sub> eq/ton</li> </ul>	606.40 kg CO <sub>2</sub> eq/ton	\$59,818.00 MNX	(Mustafa. et al. 2016)
China	Evaluaciones comparativas del ciclo de vida de los tratamientos de incineración y no incineración de residuos médicos.	461 kg CO <sub>2</sub> eq/ton	1,200 kg CO <sub>2</sub> eq/ton		(Zhao et al. 2009)
Brasil	Aplicación de la evaluación del ciclo de vida y análisis de económico en el manejo de desechos de atención de salud.	120 pt/3.2 ton 25 pt/3.2 ton 12 pt/ton		2,934.00 \$ 2,112.13 \$ 225.18.00\$	(Soares et al. 2013)

1502

1503 Comparando los resultados obtenidos en esta investigación se puede observar que las  
1504 emisiones de los sistemas de gestión analizados se aproximan a las emisiones de CO2  
1505 eq reportadas en esta investigación. Esto es interesante debido a que las otras  
1506 investigaciones analizan diferentes métodos de gestión para los RH. Por ejemplo  
1507 (Mustafa. et al. 2016) analizaron tres escenarios distintos, en cuales los residuos  
1508 fueron incinerados, dispuestos en relleno sanitario o segregados para reciclaje. Al  
1509 comparar los resultados se pueden observar tres aspectos importantes.

1510 Primero el método de EICV es diferente entre ambas investigaciones, la investigación  
1511 de referencia analiza los resultados con el método CML 2001 V2.05 / World, 1995 y  
1512 esta investigación es evaluada con el método ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / World  
1513 Recipe H. Sin embargo, la diferencia de resultados entre métodos es del 5%, esto se  
1514 corrobora con el análisis de incertidumbre respecto a la calidad del método realizado  
1515 en esta investigación, esto quiere decir que las emisiones de CO2 eq con el método  
1516 CML son de 695.9 kg CO2eq/t y con el método r cipe son de 693.10 kg CO2 eq/ton,  
1517 lo que hace suponer que el nivel de confianza de la evaluación del ciclo de vida del  
1518 sistema de gestión de disposición en RESA tienen un nivel de confianza del 95%.

1519 El segundo aspecto importante es que incinerar y enviar lo RH al RESA tienen un  
1520 potencial de emitir 6% más emisiones CO2 eq al ambiente, que sólo enviar los RHME  
1521 al RESA. Por otra parte, el proceso de esterilizar y reciclar los RHME contribuye en  
1522 evitar emisiones ambientales un 55% más, que solo reciclarlos. Por último, el tercer  
1523 aspecto y más importante es que los RHME tienen la oportunidad de ser reingresados  
1524 a la cadena de valor en otros países teniendo ingresos de \$59,818.00 MNX/año, al  
1525 realizar el análisis económico este sugiere que si que si los RHME en México tuvieran



1526 la oportunidad de ser reingresados a la cadena de valor se tendrían ganancias  
1527 aproximadamente de \$58,318.28 MNX/anuales.

1528 Aunque es importante conocer y estudiar la contribución al cambio climático de los  
1529 procesos de gestión de los RH. Es más importante conocer el impacto ambiental  
1530 general. Esto quiere decir que se tienen que identificar primero la clase de residuos  
1531 que se están generando por el servicio de atención médica, segundo identificar la  
1532 contribución a los impactos ambientales por categoría de residuo y por procesos de  
1533 gestión (transporte, disposición final, esterilización, incineración, reciclaje y uso de  
1534 insumos) y por ultimo evaluar si la recuperación o cualquier otro sistema de gestión es  
1535 costo eficiente hablando en términos ambientales y monetarios, para poder ser  
1536 aplicados como una solución. Esta investigación intenta dar respuesta algunas de esas  
1537 interrogantes analizando la huella ambiental global de dos sistemas de gestión, uno  
1538 actual que es la disposición en RESA y otro propuesto que es la esterilización más el  
1539 reciclaje, complementado con un análisis de costo efectividad. Se ha identificado para  
1540 la disposición en RESA que el daño más importante es sobre la contaminación al agua  
1541 (Soares et al. 2013; Zhao et al. 2012), la categoría de residuos de mayor contribución  
1542 son el cartón, plásticos y residuos orgánicos. En el caso de la esterilización y reciclaje  
1543 de los RH se identificó que este sistema de gestión contribuye a evitar cargas  
1544 ambientales por arriba del 60%.

1545 Además de responder a las preguntas en términos ambientales que sistema de gestión  
1546 tienen mayor contribución a los impactos ambientales en las diferentes categorías  
1547 también se identificó la contribución por categoría de residuos. para complementar  
1548 esta investigación se analizó en términos monetarios que sistema es más costo



1549 efectivo teniendo como respuesta que el sistema con un mayor desempeño en  
1550 términos monetarios y de capacidad de gestión es la disposición en RESA, pero al  
1551 complementar este estudio con un análisis de ganancias para el sector privado y el  
1552 sector social, se puede concluir que el sistema de esterilización y reciclaje es más  
1553 rentable que el sistema actual. Esto muestra un potencial de oportunidad de mejora en  
1554 términos ambientales y monetarios.

## 1555 **6 Limitaciones**

1556 Se cuenta con análisis de ciclo de vida para la gestión de RH, sin embargo, a mejor  
1557 conocimiento de la autora, no se han publicado estudios que solo se enfoquen  
1558 exclusivamente a residuos hospitalarios de manejo especial, ya que las otras  
1559 investigaciones incorporan RHP y se enfocan en la evaluación de escenarios de  
1560 incineración, disposición en RESA o compostaje, excluyendo puntos importantes como  
1561 caracterización de residuos, análisis de sistemas de reciclaje y análisis económico  
1562 para identificar la viabilidad de los sistemas de gestión. El enfoque del ciclo de vida es  
1563 una herramienta útil para estimar los impactos ambientales de las diferentes etapas de  
1564 los sistemas de gestión de los residuos. Sin embargo, para su aplicación se necesita  
1565 de formación y entrenamiento específico y es de acceso limitado por la inversión  
1566 económica para su obtención. Por estas razones este trabajo cuenta con las siguientes  
1567 limitantes:

- 1568 • El perfil de impacto ambiental estimado, no puede generalizarse a todos los  
1569 sistemas de disposición final o reciclaje debido a que se desconocen las  
1570 condiciones y la operación de los procesos unitarios de cada sistema. Esta limitante



1571 puede ser cubierta al ampliar el universo de estudio y estudiar diferentes sistemas  
1572 teniendo en cuenta una mayor cobertura geográfica.

1573 • Los modelos de caracterización y bases de datos para modelar el escenario mixto  
1574 son escasos lo que genera una aproximación al impacto ambiental, el cual podría  
1575 variar con respeto a la región. es recomendable que debería de ampliarse la base  
1576 de datos o crear mix mexicanos.

1577 En cuanto al análisis económico, este trabajo se limita en:

1578 • El método de ECE es aplicado en el sector hospitalario para evaluar programas de  
1579 intervención sanitaria, por lo cual el análisis se tuvo que adaptar a la evaluación de  
1580 los programas de gestión para RH.

1581 • Como el reciclaje no es realizado en México para los RHME y el mercado es  
1582 limitado, la estimación de recuperación económica por los residuos se realizó en  
1583 base a los materiales que si tienen mercado permitido a nivel nacional.

## 1584 **7 Conclusiones**

1585 Este trabajo representa una primera evaluación del ciclo de vida del sistema de gestión  
1586 actual para los RHME en México. Complementado con un análisis económico, que  
1587 muestra el potencial de recuperar materiales y así disminuir los impactos ambientales  
1588 relacionados a su gestión, así como obtener un beneficio social y económico por un  
1589 material considerado desecho.

1590 • El sector hospitalario debe prestar más atención a los problemas ambientales  
1591 que genera por la gestión de sus residuos y de esta manera adoptar políticas  
1592 de segregación de materiales para su recuperación y reciclaje.





- 1593
- 1594
- 1595
- Los formuladores de políticas en materia de RHME deben de evaluar la viabilidad de darle una segunda oportunidad a un material que puede aportar beneficios sociales y ganancias económicas.

1596

**Cronograma de actividades**

	primer semestre						segundo semestre						tercer semestre						cuarto semestre					
Actividades/mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Materias MCIA																								
<b>Capítulo 1</b>																								
Conceptualización																								
<b>Capítulo 2</b>																								
Definición de objetivo y alcance																								
Inventario del ciclo de vida																								
Análisis de impactos ambientales																								
Interpretación del ciclo de vida																								
Examen tutorial																								
<b>Capítulo 3</b>																								
Resultados																								
Inventario para análisis costo efectividad																								
ACE																								
Examen tutorial																								
<b>Estructura final de tesis</b>																								
Estructura de artículo científico																								
Examen de grado																								

1599 **Bibliografía**

- 1600 14040, I., 2006a. Análisis de ciclo de vida principios y marco de referencia,  
1601 14040, I., 2006b. ISO 14040-Environmental management - Life Cycle Assessment -  
1602 Principles and Framework, Available at: [hles+and+framework#0](#).
- 1603 ALCARAZ-VERA, J.V., ÁVALOA-RODRÍGEZ, M.L. & ALVARADO-FLORES, J.J.,  
1604 2016. Manejo de residuos peligrosos en la región Cuitzeo, Michoacán, a partir de  
1605 la aplicación del método de valoración contingente y su incidencia en el  
1606 desarrollo sustentable. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*, 2(5), pp.1–  
1607 16. Available at:  
1608 [http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo\\_Urbano\\_y\\_Sustentable/vol2num5/Revista\\_del\\_Development\\_Urbano\\_y\\_Sustentable\\_V2\\_N5.pdf](http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo_Urbano_y_Sustentable/vol2num5/Revista_del_Development_Urbano_y_Sustentable_V2_N5.pdf).
- 1609 Bellido, E. et al., 2004. Norma Técnica: Procedimientos Para El Manejo De Residuos  
1610 Sólidos Hospitalarios, Available at:  
1611 <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Norma+t?cnica:+procedimientos+para+el+manejo+de+residuos+s?lidos+hospitalarios#0>.
- 1612 Blandón, K. & Castellanos, Z., 2010. Gestión del manejo integral de los desechos  
1613 sólidos en el hospital Alemán Nicaragüense de Managua. , 23(2), pp.53–61.  
1614 Available at: [www.nexo.uni.edu.ni/%0AGestión](http://www.nexo.uni.edu.ni/%0AGestión).
- 1615 Blank, L. & Tarquín, A., 2012. *Tarq!jin* Septima ed., Mc Graw Hill.
- 1616 Bujak, J., 2015. Thermal treatment of medical waste in a rotary kiln. *Journal of*  
1617 *Environmental Management*, 162, pp.139–147. Available at:  
1618 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.048>.
- 1619 C., M.S.B.. & Alatrística.B, 2013. ENVIRONMENTAL IMPACT OF A PUBLIC  
1620 HOSPITAL IN THE CITY OF LIMA, PERU. *Revista Peruana de Medicina*  
1621 *Experimental y Salud Pública*, 30(1), pp.58–63. Available at:  
1622 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36333050015>.
- 1623 Cifuentes, C. & Iglesias, S., 2008. Gestión ambiental de residuos sólidos  
1624 hospitalarios del Hospital Cayetano Heredia Environmental management of solid  
1625 wastes in Cayetano Heredia Hospital. *Instituto de Investigaciones FIGMMG*,  
1626 11(2008), pp.7–12. Available  
1627 at:[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12\\_n23/pdf/a03v12n23.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12_n23/pdf/a03v12n23.pdf).
- 1628 Commission, E., 2010. International Reference Life Cycle Data System,  
1629 Luxembourg.: Office of the European Union.
- 1630 Connett, P., Unidos, E. & Connett, P., 1997. Incineración de desechos médicos : , (2).
- 1631 Diaz, L.F. et al., 2008. Characteristics of healthcare wastes. *Waste Management*,  
1632 28(7), pp.1219–1226.
- 1633 DOF, 2008. Ley general de salud, Available at:  
1634 [http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/legis/lgs/LEY\\_GENERAL\\_DE\\_SALUD.pdf](http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/legis/lgs/LEY_GENERAL_DE_SALUD.pdf).
- 1635 DOF, 2015. Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos,  
1636 México. Available at:  
1637 [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_220515.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf).
- 1638 DOF, 2004. NOM-083-SEMARNAT-2003, México D,F. Available at:  
1639 <http://www.dof.gob.mx>.
- 1640 DOF, 2014. Norma Oficial Mexicana, México.



- 1644 Eckelman, M. et al., 2012. Comparative life cycle assessment of disposable and  
1645 reusable laryngeal mask airways. *Anesthesia and analgesia*, 114(5), pp.1067–  
1646 1072.
- 1647 ECOCE, 2015. ECOCE,  
1648 Eslava-schmalbach, J., 2011. INTERPRETACIÓN DE ESTUDIOS DE COSTO-  
1649 EFECTIVIDAD EN GINECOLOGÍA Interpreting cost-effectiveness analysis  
1650 studies in gynecology. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología Vol.*,  
1651 62(2), pp.177–187.
- 1652 FAO, 2012. Evaluación del impacto ambiental, Available at: <http://www.fao.org>.  
1653 Ferreira R., A.J. et al., 2005. Los Servicios de Salud y la Generación de Residuos  
1654 Sólidos. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 36. Available at:  
1655 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220525057>.
- 1656 Fleitas-Estévez, G.G. et al., 2013. Estrategias Para La Minimización De La Gestión  
1657 Segura De Productos Químicos Caducos Y Ociosos. *Ciencia en su PC*, (3),  
1658 pp.12–27.
- 1659 García Sanz-Calcedo, J., Cuadros, F. & López Rodríguez, F., 2011. La auditoría  
1660 energética: Una herramienta de gestión en atención primaria. *Gaceta Sanitaria*,  
1661 25(6), pp.549–551.
- 1662 García V., S. et al., 2015. Desarrollo de la gestión medioambiental certificada en  
1663 unidades hospitalarias y ambulatorias de hemodiálisis. *Nefrología*, 35(6),  
1664 pp.539–546. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nefro.2015.09.004>.
- 1665 Gaspari, K.C., 1986. ANALISIS DE COSTO-EFECTIVIDAD Serie de M. AID & CIP,  
1666 eds., Wisconsin Avenue Chevy Chase, Maryland 20815: PRICOR. Available at:  
1667 [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABD143.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD143.pdf).
- 1668 Ghodrati, M. et al., 2016. Exploring treatment methods for sharps medical waste in  
1669 Victoria. *Universidad Tecnológica de Swinburne*, (February). Available at:  
1670 <https://www.researchgate.net>.
- 1671 Goedkoop, M. et al., 2013. ReCiPe 2008. A life cycle assessment method which  
1672 comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level  
1673 First Edit., Leiden, Netherlands: 1) PRé Consultants, Amerfoort, Netherlands 2)  
1674 CML, University of Leiden, Netherlands 3) RUN, Radboud University Nijmegen  
1675 Netherlands 4) RIVM, Bilthoven, Netherlands.
- 1676 Gómez Sántiz, F. & Guerrero García Rojas, H.R., 2014. El análisis institucional en el  
1677 campo de la gestión de los recursos naturales Bienes comunes. *Economía y*  
1678 *sociedad*, XVIII(30), pp.67–68. Available at:  
1679 <http://www.redalyc.org/pdf/510/51032370005.pdf>.
- 1680 Gusca, J. et al., 2015. Assessment Method of Health Care Waste Generation in  
1681 Latvia and Kazakhstan. *Energy Procedia*, 72, pp.175–179. Available at:  
1682 <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.025>.
- 1683 ILCD, 2010. General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, Available  
1684 at: [http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-  
1685 DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-  
1686 EN.pdf%5Cnhttp://eplca.jrc.ec.europa.eu/](http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf%5Cnhttp://eplca.jrc.ec.europa.eu/).
- 1687 ISO, 2006. ISO 14044 Environmental Management-Life Cycle Assessment-  
1688 Requirements and Guidelines, Ginebra, Suiza.
- 1689 ISO 14044, 2006. Environmental management — Life cycle assessment —  
1690 Requirements and guidelines, Available at:



- 1691 <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11367-011-0297-3>.
- 1692 James, R., 2007. DIALYSIS AND THE ENVIRONMENT: COMPARING HOME AND  
1693 UNIT BASED HAEMODIALYSIS. *Journal of Renal Care*, 33(3), pp.119–123.  
1694 Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-6686.2007.tb00056.x>.
- 1695 Kaseva, M.E. & Gupta, S.K., 1996. Recycling - An environmentally friendly and  
1696 income generating activity towards sustainable solid waste management. Case  
1697 study - Dar es Salaam City, Tanzania. *Resources, Conservation and Recycling*,  
1698 17(4), pp.299–309.
- 1699 Lee, B.-K., Ellenbecker, M.J. & Rafael, M.-E., 2002. Analyses of the recycling  
1700 potential of medical plastic wastes. *Waste Management*, 22(5), pp.461–470.  
1701 Available at:  
1702 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X02000065>.
- 1703 Lomas, P.L. et al., 2015. Guía practica para la valoración económica de los bienes y  
1704 servicios ambientales de los ecosistemas, Available at:  
1705 <https://www.researchgate.net/publication/268285963%0D>.
- 1706 Marmolejo, L., Madera, C. & Torres, P., 2010. Gestión de los residuos sólidos en  
1707 hospitales locales del norte del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Facultad*  
1708 *Nacional de Salud Pública*, 28(1), pp.56–63. Available at:  
1709 [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2010000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es)  
1710 [386X2010000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2010000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- 1711 Marmolejo R., L.F., Madera P., C.A. & Torres L., P., 2010. Gestión de los residuos  
1712 sólidos en hospitales locales del norte del Valle del Cauca , Colombia. *Revista*  
1713 *Facultad Nacional de Salud Pública*, 28(1), pp.56–63. Available at:  
1714 <http://www.redalyc.org/pdf/120/12016345008.pdf>.
- 1715 Mata S., A.M. & Reyes G., R.E., 2006. Normativa vigente en algunos países de  
1716 América Latina sobre residuos hospitalarios. *Universidad, Ciencia y Tecnología*,  
1717 10(37), pp.46–49.
- 1718 Mazzetti S., P. et al., 2004. Norma Técnica: Procedimientos Para El Manejo De  
1719 Residuos Sólidos Hospitalarios, Available at: [http://www.disaster-info.net/PED-](http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/peru/salud/Resolucion_Ministerial_217.pdf)  
1720 [Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/peru/salud/Resolucion\\_Ministerial\\_217.pdf](http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/peru/salud/Resolucion_Ministerial_217.pdf).
- 1721 Medina, M., 2001. Reciclaje de desechos sólidos en América Latina. *Frontera Norte*,  
1722 11(21), pp.8–31. Available at: [http://www.colef.mx/fronteranorte/articulos/FN21/1-](http://www.colef.mx/fronteranorte/articulos/FN21/1-f21_Reciclaje_desechos_solidos_en_America_Latina.pdf)  
1723 [f21\\_Reciclaje\\_desechos\\_solidos\\_en\\_America\\_Latina.pdf](http://www.colef.mx/fronteranorte/articulos/FN21/1-f21_Reciclaje_desechos_solidos_en_America_Latina.pdf).
- 1724 Ministerio de Salud, 2010. Manejo de residuos de establecimientos de atención de  
1725 salud, Available at: [http://www.ispch.cl/sites/default/files/manual\\_reas.pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/manual_reas.pdf).
- 1726 Monge, G., 1997. Manejo De Residuos En Centros De Atención De Salud. Hojas de  
1727 divulgación técnica, (69–70), pp.1–12. Available at:  
1728 <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/hdt069.pdf>.
- 1729 MSP, 2010. Manejo De Residuos De Establecimientos De Atencion De Salud  
1730 Segunda., Santiago de Chile: Organización Panamericana de la Salud.
- 1731 Mustafa., A., Wenping., W. & Nawaz., C., 2016. Application of life cycle assessment  
1732 for hospital solid waste management: A case study. *Journal of the Air & Waste*  
1733 *Management Association*, 66(10), pp.1012–1018. Available at:  
1734 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2016.1196263>.
- 1735 Narváez, A.B., Cruz, F.A. & Velásquez, R.M., 2013. Instrumentos Económicos Para  
1736 un Eficiente Manejo de los Desechos Sólidos en la Ciudad de Managua  
1737 Instrumentos Económicos Para un Eficiente Manejo de los Desechos Sólidos en



- 1738 la Ciudad de Managua, Available at: <http://www.bcn.gob.ni/>.
- 1739 Neveu C, A. & Matus C, P., 2007. Residuos hospitalarios peligrosos en un centro de  
1740 alta complejidad. *Revista Medica de Chile*, 135(7), pp.885–895.
- 1741 NHS, 2009. Saving Carbon, Improving Health, Available at:  
1742 [http://www.sdu.nhs.uk/documents/publications/1237308334\\_qyIG\\_saving\\_carbo](http://www.sdu.nhs.uk/documents/publications/1237308334_qyIG_saving_carbon,_improving_health_nhs_carbon_reducti.pdf)  
1743 [n,\\_improving\\_health\\_nhs\\_carbon\\_reducti.pdf](http://www.sdu.nhs.uk/documents/publications/1237308334_qyIG_saving_carbon,_improving_health_nhs_carbon_reducti.pdf).
- 1744 OMS, 2003. Guide to cost - effectiveness analysis c,  
1745 OMS, 2014. Safe management of wastes from health-care activities - edited by  
1746 CHARTIER, Yves et al. segunda ed. Y. Chartier et al., eds., Available at:  
1747 <http://www.searo.who.int>.
- 1748 Ray., J., 2010. Incineration: Why this may be the most environmentally sound method  
1749 of renal healthcare waste disposal. *Journal of Renal Care*, 36(3), pp.161–169.
- 1750 Riedel, L.M., 2011. Environmental and Financial Impact of a Hospital Recycling  
1751 Program. *AANA Journal*, 79(4), pp.8–14.
- 1752 Rodríguez, D., 2008. Metodología para el manejo de los residuos sólidos  
1753 hospitalarios. *Metodología para el Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios*.
- 1754 Rodríguez S., D.S., 2008. Metodología para el manejo de residuos sólidos  
1755 hospitalarios. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y  
1756 Arquitectura unidad Zacatengo.
- 1757 Romero, B., 2003. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. tendencias  
1758 tecnológicas, pp.91–97. Available at:  
1759 [http://www.icesi.edu.co/blogs/mercadeosostenible2012\\_02/files/2012/10/ACV\\_M](http://www.icesi.edu.co/blogs/mercadeosostenible2012_02/files/2012/10/ACV_MEDIO-AMBIENTE.pdf)  
1760 [EDIO-AMBIENTE.pdf](http://www.icesi.edu.co/blogs/mercadeosostenible2012_02/files/2012/10/ACV_MEDIO-AMBIENTE.pdf).
- 1761 SEMARNAT, 2016. Residuos Residuos, Available at:  
1762 [www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap7\\_residuos.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf).
- 1763 Soares, S.R. et al., 2013. Applications of life cycle assessment and cost analysis in  
1764 health care waste management. *Waste Management*, 33(1), pp.175–183.  
1765 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.021>.
- 1766 SSD, 2007. Residuos hospitalarios. Guía para reducir su impacto sobre la salud y el  
1767 ambiente, Argentina. Available at: <https://www.saludsindanio.org>.
- 1768 Subero, A.M.M., Gil, R.E.R. & Seminario, R.M., 2004. Manejo de desechos  
1769 hospitalarios en un Hospital Tipo IV de Caracas, Venezuela. *Interciencia*, 29(2),  
1770 pp.89–93.
- 1771 Tchernitchin, A.N., 2005. Incineración de Residuos Hospitalarios , Farmacéuticos y  
1772 Peligrosos . Riesgos para la Salud . *Cuaderno Médico Social*, 45, pp.269–284.
- 1773 Velázquez-González, M.A. et al., 2005. Estrategia para la generación de una base de  
1774 datos sobre residuos peligrosos corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos e  
1775 inflamables, CRETÍ, en unidades hospitalarias. *Tecnología, Ciencia, Educación*,  
1776 20(2), pp.45–56. Available at: [http://www.imiq.org/wp-](http://www.imiq.org/wp-content/uploads/2012/02/20206.pdf%5Chttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4822020)  
1777 [content/uploads/2012/02/20206.pdf%5Chttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4](http://www.imiq.org/wp-content/uploads/2012/02/20206.pdf%5Chttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4822020)  
1778 [822020](http://www.imiq.org/wp-content/uploads/2012/02/20206.pdf%5Chttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4822020)
- 1779 WHO-OMS, 2004. Gestión de desechos médicos de un vistazo, Available at:  
1780 [www.noharm.org](http://www.noharm.org).
- 1781 Zhao, W. et al., 2009. Comparative life cycle assessments of incineration and non-  
1782 incineration treatments for medical waste. *International Journal of Life Cycle*  
1783 *Assessment*, 14(2), pp.114–121. Available at: [https://doi.org/10.1007/s11367-](https://doi.org/10.1007/s11367-008-0049-1)  
1784 [008-0049-1](https://doi.org/10.1007/s11367-008-0049-1).



1785 Zhao, Y. et al., 2012. Environmental impact assessment of the incineration of  
1786 municipal solid waste with auxiliary coal in China. *Waste Management*, 32(10),  
1787 pp.1989–1998. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.012>.  
1788  
1789



1790

1791

1792

1793

1794

1795

1796

1797

1798

# ANEXOS

1799

1800

1801

1802

1803

1804

1805

1806

1807

1808

1809

1810

1811

1812

1813

1814

1815





## 1816 **Anexo A**

### 1817 **GLOSARIO**

1818 **Análisis de ciclo de vida:** es una metodología que investiga y evalúa los impactos  
1819 ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia, uso  
1820 y fin de vida.

1821 **Clasificación:** es la distribución, ordenamiento específico de acuerdo a determinadas  
1822 características.

1823 **Impacto ambiental:** es aquella alteración de la línea de base como consecuencia de  
1824 la acción antrópica o de eventos naturales sobre el medio ambiente.

1825 **Institución de salud:** es aquel establecimiento en el que se imparten servicios de  
1826 atención médica básica y especializada a la población en general.

1827 **Reciclaje:** es la acción de aplicar un proceso sobre el material para que pueda volver  
1828 a utilizarse.

1829 **Reutilización:** el empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie  
1830 un proceso de transformación.

1831 **Residuos:** los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión  
1832 Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo  
1833 propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido,  
1834 líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser  
1835 susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final  
1836 conforme a lo dispuesto en la misma Ley.

1837 **Residuos de manejo especial:** son aquellos generados en los procesos productivos,  
1838 que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como  
1839 residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos  
1840 sólidos urbanos.

1841 **Residuos comunes:** desechos que no entrañan ningún peligro biológico, químico,  
1842 radiactivo o físico particular.



1843 **Residuos hospitalarios:** cualquier material sólido y semisólido, líquido o gaseoso que  
1844 se encuentre contenido en un envase del cual el generador, se desprenda o tenga la  
1845 intención o la obligación de desprenderse, generado en los Centros o Servicios de  
1846 atención a la salud humana.

1847 **Residuos infecciosos:** desechos contaminados con sangre u otros fluidos corporales  
1848 (por ejemplo, a partir de muestras de diagnóstico desechadas), cultivos o cepas de  
1849 agentes infecciosos procedentes de actividades de laboratorio (por ejemplo, desechos  
1850 relacionados con autopsias o animales de laboratorio infectados, o desechos  
1851 relacionados con pacientes ingresados en salas de aislamiento y equipo conexo (por  
1852 ejemplo, hisopos, vendajes e instrumental médico desechable).

1853 **Residuos peligrosos:** son aquellos que posean alguna de las características de  
1854 corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan  
1855 agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes,  
1856 embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio,  
1857 de conformidad con lo que se establece en esta Ley.

1858 **Sistema de gestión integral:** conjunto de actividades interrelacionadas que a través  
1859 de acciones específicas permiten definir e implementar los lineamientos generales y  
1860 de operación de las entidades públicas.

1861 **Tratamiento:** procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los  
1862 cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o  
1863 peligrosidad.

1864 **Valorización:** principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar  
1865 el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos,  
1866 mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de  
1867 responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y  
1868 económica.

1869



## 1870 ANEXO B

1871 **FORMATOS DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DE**  
 1872 **MANEJO ESPECIAL 2.-1.-Formato ECRHME-02-Equipo y aspectos de seguridad**  
 1873 (llenar por cada miembro de equipo humano). Marcar la casilla correspondiente y  
 1874 firmar ambos recuadros

Fecha:	Lugar:	Responsable:	
Hora inicio:	Hora terminación:	Integrantes equipo:	
<b>EQUIPO</b>	<b>ENTREGADO</b>	<b>NO ENTREGADO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Guantes anti punción			
Overol de seguridad			
Mascarilla			
Goggles			
Casco			
Botas			
<b>Datos del que recibe:</b>			
Nombre:			
<b>Datos de quien entrega equipo:</b>			
Nombre y firma:			
<b>Datos salud de integrante que recibe equipo (llenar solo el día inicial de estudio):</b>			
Tipo de sangre			
Alergias			
Tel. Contacto			
Vacuna antitetánica	SI	NO	
Fecha de aplicación de última dosis			

1875 2.-Formato ECRHME-03-categorías de residuos hospitalarios no peligrosos

<b>RHME</b>		
<b>CATEGORÍA</b>	<b>CANTIDAD (kg)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Papel		
Cartón		
Plástico		
Metales		
Vidrio		
Textiles		
Sanitarios		
Orgánicos		
<b>GENERACIÓN TOTAL</b>		
<b>TAMAÑO DE MUESTRA</b>		
Cuarteo (Si/No, explicar)		



Tamaño de muestra (kg)		
Responsable de esta decisión: (Nombre, firma y fecha)		

1876

## ANEXO C

1877 Tabla A. Matriz de validación de calidad de los datos (ICV-estudio de caracterización)

1878

<b>Cobertura temporal</b>	<b>Cobertura geográfica</b>	<b>Cobertura tecnológica</b>	<b>Precisión</b>	<b>Integridad (%) medido</b>
Periodo de estudio 2016-2018	Los datos son representativos para la unidad médica de atención ambulatoria	no aplica	La cantidad caracterizada es una muestra representativa de la generación total de los RHME de la unidad de estudio, conforme a la norma NMX-AA-15-1985.	Se midió un 50% de los RHME generados en la unidad médica, se proyectó la generación anual con un intervalo de confianza del 90%
<b>Representatividad</b>	<b>Coherencia</b>	<b>Reproducibilidad</b>	<b>Fuentes de datos</b>	<b>Incertidumbre</b>
Los datos son representativos para la clínica de estudio	El estudio de caracterización se ha realizado en total apego a las normas: NMX-AA-15-1985, NNMX-AA-22-1985 y NOM-161-SEMARNAT-2011. De igual manera se empleó el uso de las normas ISO 14040 e ISO 14044.	El estudio se apega a las normas ISO 14040 E ISO 14044, las cuales detallan la metodología para realizar el estudio de ACV.	Estudio de caracterización	El estudio se realizó conforme a las NMX-AA-22-1985, NMX-AA-22-1985 Y NOM-161-SEMARNAT-2011, con un margen de error del 10%.

1879

1880

1881



1882 Tabla B. Matriz de validación de calidad de los datos (ICV-transporte)

Cobertura temporal	Cobertura geográfica	Cobertura tecnológica	Precisión	Incertidumbre
Periodo de estudio 2016-2018	Los datos son representativos para la ciudad de Morelia Michoacán	Los vehículos considerados son:	La distancia recorrida es un promedio de las posibles rutas de trayecto del lugar de generación a cada uno de los escenarios. El rendimiento del combustible fue obtenido a partir de las especificaciones técnicas de los vehículos considerados.	Las asignaciones para el transporte se realizaron de acuerdo a la información obtenida de los trabajadores de recolección y transporte, así como las fichas técnicas de los vehículos.  <a href="http://www.ford.mx/servlet/BlobServer/Ford_350.pdf">http://www.ford.mx/servlet/BlobServer/Ford_350.pdf</a> <a href="https://m.nissan.com.mx/np300/specs/ft_np300.pdf">https://m.nissan.com.mx/np300/specs/ft_np300.pdf</a>
		Vehículos a gas natural		
		Camioneta marca Ford-F-350 de 3.5 toneladas de capacidad con rendimiento de 1.2 kg/km		
		Vehículo a diésel		
		Camioneta marca Nissan NP3000, 4 toneladas de capacidad con rendimiento de 14 L/km		
Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuentes de datos	
Los datos son representativos para la transportación de residuos sólidos de la ciudad de Morelia Michoacán.	El estudio se ha realizado en total apego a las normas: ISO-14040 e ISO 14044.	El estudio se apega a las normas ISO 14040 e ISO 14044, las cuales detallan la metodología para realizar el estudio de ACV.	La información fue obtenida de acuerdo a lo referido por la administración de la clínica, los choferes de los vehículos para residuos y fichas técnicas de los vehículos.	

1883

1884 Tabla C. Matriz de validación de calidad de los datos (ICV-escenario de residuos)

1885



Cobertura temporal	Cobertura geográfica	Cobertura tecnológica	Precisión	Incertidumbre
Periodo de estudio 2016-2018	Los datos son representativos para la ciudad de Morelia Michoacán	Esterilizado* esterilizador médico Steriflash 200ST	Los residuos para cada escenario fueron calculados de acuerdo al estudio de caracterización	Las asignaciones para la cantidad de residuos a evaluar en cada escenario se realizaron de acuerdo a la información obtenida del estudio de caracterización, así como las fichas técnicas del esterilizador, artículos científicos y normativas vigentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>*Esterilizador médico Steriflash 200ST: <a href="http://www.ortmed.mx/">http://www.ortmed.mx/</a></li> <li>*NOM-083-SEMARNAT-2003</li> <li>(OMS 2014; Riedel 2011; DOF 2015; Lee et al. 2002).</li> </ul>
		Relleno Sanitario*		
		Relleno sanitario de la ciudad de Morelia Michoacán		
Representatividad	Coherencia	Reproducibilidad	Fuentes de datos	
Los datos son representativos para la ciudad de Morelia Michoacán.	El estudio se ha realizado en total apego a las normas: ISO-14040 e ISO 14044.	El estudio se apega a las normas ISO 14040 e ISO 14044, las cuales detallan la metodología para realizar el estudio de ACV.	La información fue obtenida de acuerdo a lo referido por la administración de la clínica, los choferes de los vehículos para residuos y fichas técnicas, artículos científicos y normas vigentes	

## Anexo D

1886

1887 **Tabla A. Contribución de substancias por categoría de impacto (E-A)**

1888

1889 **Tabla B. Contribución de substancias por categoría de impacto (E-B)**

1890



Cambio climático												
Sustancia		Unidad		Total	Transporte a RESA		Residuos remanentes		Esterilización		Transporte a reciclaje	Reciclaje
<b>Contribución a cambio climático</b>		kg CO <sub>2</sub> eq		9E+02	0E+00		9E+02		0E+00		0E+00	0E+00
Carbon dioxide, fossil	Unidad	Total	kg CO <sub>2</sub> eq	6E+03	8E+01	PI	1E+01	DM	1E+02	Tex	3E+02	0E+03
Methane dioxide	kg CO <sub>2</sub> eq	9E+02	kg CO <sub>2</sub> eq	1E+00	3E+08	1E+01	0E+00	3E+00	1E+00	1E+02	0E+02	4E+02
Methane biogenic, fossil	kg CO <sub>2</sub> eq	7E+02	kg CO <sub>2</sub> eq	1E+01	3E+00	5E+02	0E+00	3E+00	3E+00	0E+02	0E+01	6E+00
Methane, fossil	kg CO <sub>2</sub> eq	1E+03	kg CO <sub>2</sub> eq	5E+08	7E+03	6E+00	2E+05	0E-07	6E+01	2E+02	0E+02	1E+02
<b>Contribución a agotamiento de la capa de ozono</b>		kg CFC-11 eq		3E+03	6E+02		4E-02		2E-03		0E+00	0E+00
Methane, fossil	kg CO <sub>2</sub> eq	2E+02	kg CFC-11 eq	6E-11	2E+06	4E+11	2E+01	0E-01	1E+08	0E+00	0E+00	1E+00
<b>Contribución a agotamiento de la capa de ozono</b>		kg CFC-11 eq		-8.8E-06	3.6E-08		4.7E-06		8.5E-07		1.7E-07	
Hydrocarbons, chlorinated	kg CFC-11 eq	6E-06	kg CFC-11 eq	4.9E-06	5.5E-10	7.2E-09	2.9E-07	5E-07	2.5E-09	4.6E-06	1.3E-05	4.6E-06
Ethane, bromochlorodifluoro	kg CFC-11 eq	6E-06	kg CFC-11 eq	1.4E-05	3.5E-08	7.1E-07	3.8E-07	5E-07	4.6E-07	1.3E-05	4.6E-06	
Methane, bromotrifluoro	kg CFC-11 eq	7E-07	kg CFC-11 eq	1.1E-05	1.2E-05	8.2E-07	1.1E-05	0E+00	5.6E-05	6.9E-05	0E+00	
<b>Contribución a acidificación terrestre</b>		kg SO <sub>2</sub> eq		0.0	0.0		0.0		0.0		0.0	
Ammonia	kg CFC-11 eq	8E-06	kg SO <sub>2</sub> eq	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6
Methane bromotrifluoro-	kg CFC-11 eq	8E-06	kg SO <sub>2</sub> eq	0.6	0.0	2E-07	0.6	1E-07	0E+00	0E+00	8E-07	0.0
Nitrogen oxides	kg CFC-11 eq	1E-06	kg SO <sub>2</sub> eq	-7.4	0.2	0.0	0.2	1E-08	1.1	4E-07	8.9	-8.9
Methane, dichlorodifluoro-	kg CFC-11 eq	1E-06	kg SO <sub>2</sub> eq	-19.0	0.1	0.6	0.6	2E-08	0.4	4E-07	20.7	-20.7
Sulfur dioxide	kg CFC-11 eq	1E-06	kg SO <sub>2</sub> eq	-19.0	0.1	0.6	0.6	2E-08	0.4	4E-07	20.7	-20.7
<b>Contribución a acidificación terrestre</b>		kg SO <sub>2</sub> eq		0.0	0.0		0.0		0.0		0.0	
<b>Contribución a eutrofización de agua fresca</b>		kg P eq		0.03	0.00		0.01		0.00		0.01	
Nitrate	6 kg SO <sub>2</sub> eq	0.67	kg P eq	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.02	0.09	0.00	0.25
Nitrate	6 kg SO <sub>2</sub> eq	0.78	kg P eq	0.58	0.90	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Bisphosphate	6 kg SO <sub>2</sub> eq	1.00	kg P eq	0.03	0.34	0.00	3.00	0.01	0.02	0.06	0.00	0.26
<b>Contribución a eutrofización de agua fresca</b>		kg P eq		-0.01	0.00		0.00		0.00		0.00	
<b>Contribución a eutrofización de agua fresca</b>		kg N eq		0.21	2.2 E-4		1.7 E-3		5.1 E-4		5.0 E-	
Phosphate	kg N eq	0.21	kg N eq	1.27	0.00	3	1.27	7.0 E-5	5.2 E-3	1.2 E-2	3.1 E-2	0.2
Ammonia	kg N eq	0.95	kg N eq	0.73	0.00	2.1	6.78	0.00	0.00	0.00	0.2	-0.06
Ammonium, ion	kg N eq	0.95	kg N eq	0.74	0.00	2	0.84	0.01	3.1 E-2	4.9 E-2	0.0	-0.11
Nitrate	kg N eq	1.3	kg N eq	3.0 E-6	-0.11 E-6	0.00	2.9	6.03	0.00	0.00	1.9 E-6	-0.14
Nitrogen	kg N eq	1.3	kg N eq	3.0 E-6	-0.11 E-6	0.00	2.9	6.03	0.00	0.00	1.9 E-6	-0.14
Phosphorus	kg N eq	1.3	kg N eq	3.0 E-6	-0.11 E-6	0.00	2.9	6.03	0.00	0.00	1.9 E-6	-0.14
Nitrogen oxides	kg N eq	1.3	kg N eq	3.0 E-6	-0.11 E-6	0.00	2.9	6.03	0.00	0.00	1.9 E-6	-0.14
<b>Contribución a toxicidad humana</b>		kg 1.4-DB eq		4.8 E-5	2.9 E-5		2.9 E-5		4.6 E-6		1.1 E-	
Arsenic	kg 1.4-DB eq	4.8 E-5	kg 1.4-DB eq	-61.24	0.07	6	0.30	2.3 E-6	0.94	0.32	9.0 E-6	-62.87
<b>Contribución a eutrofización de agua marina</b>		kg 1.4-DB eq		-35.10	0.01		0.99		0.47		0.05	
Ammonia	kg N eq	1.27	kg 1.4-DB eq	-35.10	0.01	0.99	0.47	0.05	0.35	0.19	0.72	-36.62





Ammonium, ion	kg N eq	3.41	kg 1,4-DB eq	0.00	-286.52	0.53	0.05	0.20	0.00	10310	0.00	4.30	0.78	-137026
Nitrate	kg N eq	3.68	kg 1,4-DB eq	0.00	-22.26	0.57	0.05	0.78	0.00	00490	0.00	0.58	0.84	-51023
Nitrogen	kg N eq	0.12	kg 1,4-DB eq	0.00	-32.76	0.02	0.00	0.07	0.00	00080	0.00	0.05	0.03	-32066
<b>Contribución a formación de oxidantes fotoquímicos</b>														
Carbon monoxide, fossil	kg 1,4-DB	15.72	kg NMVOC	0.02	-0.37	0.00	0.00	0.00	0.02	00000	0.00	0.02	0.04	-1042
Nitrogen dioxide	eq		kg NMVOC		1.14	0.00		1.14		0.00		0.00		0.00
Nitrogen oxides	kg 1,4-DB	56.86	kg NMVOC	0.02	-23.21	0.00	3.44	0.05	49.32	00301	0.02	1.92	0.89	-15089
NM VOC, non-methane volatile organic compounds	kg 1,4-DB	49.27	kg NMVOC	0.02	-11.78	0.04	0.44	0.05	0.01	0.00	0.02	0.20	10.54	-12.12
Sulfur dioxide	eq		kg NMVOC		-1.54	0.01		0.05		0.05		0.03		-1.68
<b>Contribución a formación de material particulado</b>														
NO <sub>2</sub>	eq		kg PM10 eq		0.25	0.00		0.25		0.00		0.00		0.00
Vanadium	kg 1,4-DB	23.35	kg PM10 eq	0.02	-0.09	0.00	22.98	0.01	0.00	0.01	0.02	0.42	0.08	-3.59
Part. < 2.5 um	eq		kg PM10 eq		-2.14	0.02		0.02		0.28		0.10		-2.56
<b>Contribución a formación de oxidantes fotoquímicos</b>														
Methane	kg NMVOC	0.55	kg PM10 eq	0.00	-0.09	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.09	0.07	0.26	-0.21
<b>Contribución a ecotoxicidad marina</b>														
Nitrogen dioxide	kg NMVOC	1.19	kg 1,4-DB eq	0.00	2.0E-02	0.0E-05	0.03	7E-05	0.00	0.0E-05	0.16	8.4E-04	0.44	2.0E-02
Nitrogen oxides	kg NMVOC	1.39	kg 1,4-DB eq	0.00	3.0E-02	0.0E-02	0.08	9E-04	0.00	0.0E-03	0.00	6.8E-05	0.05	5.0E-02
NM VOC, non-methane volatile organic compounds	kg NMVOC	0.15	kg 1,4-DB eq	0.00	-1.1E-02	1.7E-04	0.00	3.4E-04	0.00	8.8E-03	0.01	7.7E-04	0.02	-5.5E-02
Mercury	kg 1,4-DB eq		kg 1,4-DB eq		-2.5E-02	3.6E-05		3.3E-04		2.5E-04		1.7E-04		-2.6E-02
<b>Contribución a formación de material particulado</b>														
Ammony	kg PM10 eq	0.26	kg 1,4-DB eq	0.00	0.0E+0	0.0E+0	5.9E-	0.0E+0						
Bromine	kg PM10 eq	0.30	kg 1,4-DB eq	0.00	4.1E-03	2.5E-03	1.8E-	1.9E-	0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0	1.1E-	0.1E-02	0.0E+0
Copper	kg 1,4-DB eq		kg 1,4-DB eq		-2.8E-01	1.1E-03	3.0E-	7.0E-	2.3E-03		5.0E-03			-2.9E-01
Nickel	kg PM10 eq	0.13	kg 1,4-DB eq	0.00	-5.9E-04	5.5E-04	0.3E-	1.8E-	3.5E-04	8.5E-	0.4E-	1.0E-	0.3E-02	-2.6E-03
Selenium	kg 1,4-DB eq		kg 1,4-DB eq		-9.0E-02	2.3E-05	6.5E-	7.8E-	1.4E-04		1.1E-04			-9.0E-02
Part. > 2.5 um, < 10um	kg PM10 eq	1.44			3.7E-02	9.0E-03	0.2E-	6.1E-04	8.1E-02	1.5E-	0.1E-	4.4E-01		6.6E-01
<b>Contribución a ecotoxicidad marina</b>														
Carbon-14	kg 1,4-DB		kBq U235 eq		-4262.89	4.21		8.67		7.60		19.53		-4302.90
Cesium-137	kg 1,4-DB		kBq U235 eq		-6.82	0.00	1.1E-	2.64	0.03		0.00			-9.49
Cobalt-60	eq	2.4E-03	kBq U235 eq	0.03	-7.85	-5.2E-06	0.04	0.32	6.0E-06	0.0E-06	7.8E-	0.00	3.9E-05	-8.7E-05
Hydrogen-3, Tritium	kg 1,4-DB		kBq U235 eq		-16.38	0.00	4.1E-	6.02	0.00		0.00			-16.40
Vanadium	eq	4.2E-02	kBq U235 eq	0.04	-1.45	-2.7E-05	0.02	0.07	7.4E-06	0.0E-05	3.8E-	0.00	1.5E-04	-18.3E-04
Iodine-129	kg 1,4-DB		kBq U235 eq		-18.30	0.00	2.1E-							-18.30
<b>Contribución a uso de suelo agrícola</b>														
Copper	kg 1,4-DB		eq		4.0E-02	3.9E-02	5.6E-04	1.3E-05	0.04	0.00	5.9E-05	1.3E-06	7.5E-06	1.5E-04
Occupation, annual crop	m <sup>2</sup> a				0.25	0.00		0.00		0.03		0.00		0.28
Occupation, forest, extensive	m <sup>2</sup> a				-8.28	0.00		0.04		0.01		0.01		-8.35



Occupation, forest, intensive	kg 1,4-DB	m <sup>2</sup> a		-3014.24	0.27	8.7E-02		9.03		1.26	-3025.43		
Occupation, permanent crop	eq	9.5E-03	1.3E-04	-2.2E-04	3.0E-05	03	0.00	1.0E-05	0.0E-10	1.4E-09	3.3E-04	-6.2E-09	
<b>Contribución a uso de suelo urbano</b>													
Occupation, construction Site	eq	6.3E-03	6.1E-03	-5.0E-05	3.7E-07	05	0.07	7.9E-06	0.0E-08	1.7E-06	1.8E-05	-7.9E-06	
<b>Contribución a ecotoxicidad en agua fresca</b>													
Occupation, industrial area	kg 1,4-DB	m <sup>2</sup> a		-12.33	0.00	0.02		0.02		0.00	0.00	-12.38	
Vanadium	eq	2.4E-03	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Occupation, traffic area, rail/road embankment	kg 1,4-DB	m <sup>2</sup> a		-32.69	0.40	0.01		0.06		1.85		-35.01	
Occupation, traffic area, road network	eq	4.2E-02	0.00	5.73	1.68	0.00	0.50	0.01	0.00	0.00	8.71	0.02	-5.30
<b>Contribución a uso de suelo natural</b>													
Occupation, annual crop	eq	4.0E-02	0.00	-4.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	-4.79	
Occupation, forest, extensive	kg 1,4-DB	m <sup>2</sup> a		-37.90	0.00	0.01		0.12		0.02		-38.05	
Occupation, forest, intensive	eq	9.5E-03	0.01	-0.07	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	-0.09	
Occupation, permanent crop	kg 1,4-DB	m <sup>2</sup> a		0.06	0.00	0.00		0.00		0.00		0.07	
Antimony	eq	6.3E-03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Occupation, permanent crop, irrigated	m <sup>2</sup> a			42.38	0.00	-0.01		0.12		-0.02		42.53	
<b>Contribución a radiación ionizante</b>													
<b>Contribución a agotamiento de recursos fósiles</b>													
Oil, crude	kg oil	1.5E+0	1.2E+0	-4.0E+0	0.37	5.9E-01	0.80	1.9E-01	1.91E-02	8.8E-01	3.9E+0	-2.9E+0	
Carbon-14	eq	1	0	-4.78	0	6.1E-01	0.01	1.9E-01	9.8E-02	0	0	-244.62	
Energy, from oil	kg oil	2.8E+0	0	-37.90	0.00	1.4E-01	23.39	0.00	0.00	0.00	0	0.00	
Energy, from gas, natural	kg oil	0	6.2E-04	-0.17	0.00	2.6E-03	23.65	0.00	0.00	0.00	9.0E-01	0.00	
Cesium-137	eq	0	0	0.06	0.00	0.84	0.59	7.5E-04	3.6E-02	3.2E-01	0.00	0.00	
Energy, from coal	kg oil	3.6E+0	1.2E-04	42.38	2.155	1.8E-02	1.46	4.6E-04	17.11E-03	3.9E-02	99.95	-2916.64	
Coal, hard	kg oil	3.6E+0	1.2E-04	42.38	2.155	1.8E-02	1.46	4.6E-04	17.11E-03	3.9E-02	99.95	-2916.64	
Cobalt-60	eq	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Contribución a agotamiento de recursos minerales</b>													
Lead-129	eq	5.2E-01	0	0.005	0.503	0.02	0.00	0.00	8.0E-03	5.9E-02	2.642E-05	0.005	
Iodine-129	eq	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Manganese	kgBq U235	0.03	0	0.067	0.372	3.1E-02	0.176	0	0	0.0379	0	0.067	
Radium-222	eq	7.3E-01	7.3E-03	0.00	0.063	0.02	0.00	8.0E-03	8.0E-03	5.4E-02	2.1E-01	0.00	
Radium-226	eq	0.00	0	0.012	0.027	0	0.005	0	0	0.001	0	0.012	
<b>Contribución a uso de suelo agrícola</b>													
Zinc		6.05E-05		0.001	1.15	1.7E-00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.05E-05	0.001	
<b>Contribución a ecotoxicidad terrestre</b>													
Occupation, sclerophyllous	m <sup>2</sup> a	3.9E-01	8.1E-08	3.3E-01	1.9E-09	09	0	2.8E-09	0	0	6.6E-02	0.00	
Ldrin	kg 1,4-DB	3.0E-01	0	0.02	0.00	7.6E-00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	
Occupation, forest, intensive	m <sup>2</sup> a	0	4.9E-01	0	3.2E-01	02	0	7.5E-02	0	0	6.2E-01	0.00	
Copper	kg 1,4-DB	0.03	0.01	5.3E-00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	-0.05	
Occupation, forest, extensive	m <sup>2</sup> a	2.1E-01	3.1E-03	9.8E-02	1.6E-02	03	0	4.9E-02	0	0	4.3E-02	0.00	
Occupation, annual crop, intensive	kg 1,4-DB	-0.04	0.00	5.4E-00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	
Occupation, annual crop, intensive	m <sup>2</sup> a	2.6E-02	2.5E-03	1.4E-02	2.5E-03	04	0	3.0E-03	0	0	5.2E-03	0.00	
Mercury	kg 1,4-DB	-0.02	0.00	4.5E-00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	
Occupation, annual crop, extensive	m <sup>2</sup> a	1.8E-02	6.0E-05	7.9E-03	1.5E-03	04	0	4.2E-03	0	0	4.0E-03	0.00	
<b>Contribución a uso de suelo urbano</b>													



Settlement, traffic, road network	m <sup>2</sup> a	8.01	1.44	0.98	-2.50	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.50	-0.00
Occupation, traffic,rail/road	m <sup>2</sup> a	1.11	1.06		0.04	0.00	0.01	0.00		0.00		0.01	0.00
Occupation, mineral extraction site	m <sup>2</sup> a	0.11	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.02	0.00
Occupation, dump site	m <sup>2</sup> a	2.49	0.01	2.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.42	0.00
Occupation, construction site	m <sup>2</sup> a	0.40	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.07	0.00
<b>Contribución a uso de suelo natural</b>													
Transformation, to forest	m <sup>2</sup> a	-0.08	0.00	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.01	
Transformation, forest, intensive	m <sup>2</sup> a	-0.04	-0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.01	
Transformation, from unknown forest, unspecified	m <sup>2</sup> a	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	
Transformation,forest intensive	m <sup>2</sup> a	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	
<b>Contribución a agotamiento de recursos fósiles</b>													
Oil, crude	kg oil eq	14.4	5.44	6.91	0.13	0.30	0.16	0.00	0.00	0.00		1.46	0.00
Energy, from oil	kg oil eq	25.9	0.00	0.00	0.00	1.26	0.00	0.98	2.88	8.15		12.62	
Energy, from gas, natural	kg oil eq	41.8	0.00	0.00	0.00	2.11	0.00	0.31	4.82	13.40		21.16	
Energy, from coal	kg oil eq	6.3	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.14	0.71	1.99		3.11	
Coal, hard	kg oil eq	4.9	0.42	2.75	0.59	0.11	0.19	0.00	0.00	0.80		0.00	
<b>Contribución a agotamiento de recursos minerales</b>													
Tin	kg Fe eq	0.11	0.00	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00		0.02	0.00
Nickel, 1.98% crude ore	kg Fe eq	0.11	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	0.00
Manganese	kg Fe eq	0.33	0.10	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.04	0.02
Iron	kg Fe eq	5.61	0.27	0.42	0.02	0.24	0.01	0.23	0.52	1.60		2.30	
Chromium	kg Fe eq	0.32	0.05	0.22	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		0.05	0.00
<b>Contribución a ecotoxicidad terrestre</b>													
Copper	kg SO2 eq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Vanadium	kg SO2 eq	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Copper	kg SO2 eq	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Bromine	kg SO2 eq	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
Antimony	kg SO2 eq	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00