

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



Reingeniería en los procesos productivos en la  
recuperación de residuos en una estación de transferencia

Presenta

Jorge Manuel Jáuregui Sesma

Directora de Tesis

Dra. Sara Ojeda Benítez

Codirectora de Tesis

Dra. Samantha E. Cruz Sotelo

Mexicali, Baja California, octubre del 2018

Índice de tablas.....	6
Índice de Figuras .....	7
Capítulo 1 Antecedentes.....	8
1.1 Justificación.....	13
1.2 Problemática.....	15
1.3 Objetivo General .....	16
1.4 Objetivos específicos.....	16
1.5 Hipótesis.....	17
Capítulo 2. Marco Teórico .....	17
2.1 Gestión de los residuos sólidos urbanos.....	17
2.1.1. Residuos sólidos urbanos en países desarrollados y en vías de desarrollo.....	19
2.1.2 Generación de RSU .....	20
2.1.3 Recolección y transporte de RSU.....	21
2.1.4 Tratamiento de los RSU .....	22
2.1.5 Confinamiento de RSU.....	23
2.1.6 Modelo conceptual de la GRSU .....	23
2.2 Residuos sólidos urbanos en México .....	25
2.2.1. Generación.....	25
2.2.2 Recolección .....	25
2.2.3 Transporte.....	25
2.3.4 Tratamiento y recuperación.....	26
2.3.5 Confinamiento .....	26
2.3.6 Marco legal aplicable al manejo de los RSU.....	26
2.3 Clasificación de los residuos sólidos urbanos .....	28
2.3.1. Clasificación de los RSU por su origen.....	28
2.3.2 Clasificación de los RSU por su composición.....	29
2.3.4 Procesos de valorización de residuos .....	29
2.4 Residuos sólidos plásticos .....	30
2.4.1. Clasificación de los plásticos.....	30
2.4.2 Gestión de los residuos sólidos plásticos dentro de los RSU .....	31
2.4.3. Tecnologías y procesos para la separación de residuos plásticos.....	32
2.5 Estación de Transferencia en la gestión de residuos urbanos.....	33
2.5.1 La función de la Estación de transferencia en el modelo de GRSU .....	33

2.5.2 Estaciones de transferencia en México.....	35
2.5.2 Maquinaria y equipo utilizado para la segregación de RSU en estaciones de transferencia .....	38
2.5.3 El segregador informal en países en vías de desarrollo.....	39
2.5.4 El segregador informal en México: formas de trabajo y estilo de vida .....	40
2.6 Reingeniería aplicada en el manejo de RSU .....	41
2.6.1 Herramientas de estudio del trabajo aplicadas a operaciones de segregación y procesos productivos. ....	41
2.6.1.1 Estudio de tiempos .....	41
2.6.1.2 Proceso de gestión aplicado a las operaciones de segregación.....	44
2.6.1.3 Procesos críticos y manejo de materiales .....	45
2.6.1.4 Diagrama causa-efecto (aplicado a operaciones críticas).....	45
2.6.1.5 Diagramas de recorrido (aplicado al proceso de manejo de materiales) .....	45
2.6.1.6 Análisis costo-beneficio .....	46
2.7 Análisis del ciclo de vida: Una herramienta de evaluación ambiental .....	46
2.7.1 Fases del ACV.....	47
Capítulo 3 Metodología.....	50
3.1 Procesos y actores en la ETIR.....	51
3.2 Instrumentos de reingeniería para el diseño de la estación de transferencia .....	52
3.2.1 Cálculo de capacidades del sistema productivo en la ETIR.....	53
3.2.1.1 Estudio de tiempos a los procesos productivos .....	53
3.2.2.2 Análisis de cargas de trabajo, secuencias y capacidad por proceso .....	55
3.2.3 Causa-raíz de los factores críticos en los procesos de recuperación ETIR.....	57
3.3 Diseño de la Estación de Transferencia con recuperación de Residuos (ETIR) .....	58
3.3.1 Delimitar áreas, trazar flujo de materiales y diseño del diagrama de recorrido .....	59
3.4 Escenarios para la valorización de RSU en la ETIR .....	60
3.4.1 Escenario Base (E <sub>0</sub> ).....	60
3.4.2 Escenario (E <sub>1</sub> ).....	60
3.4.3 Escenario (E <sub>2</sub> ).....	60
3.5 Análisis costo-beneficio .....	60
3.5.1 Inversión requerida en sistemas de recuperación .....	61
1. Sistema de segregación.....	61
2. Sistema de compactación .....	61
3. Infraestructura e instalaciones del sistema de recuperación. ....	61
3.5.2 Ingresos y egresos del sistema de recuperación .....	62

3.6 Análisis del Ciclo de Vida (ACV).....	62
3.6.1 Etapa I: Definición de objetivos y alcance .....	62
3.6.2. Etapa II: Inventario de ciclo de vida (ICV) .....	63
3.6.3 Etapa III: Evaluación de impacto ambiental (EIA) .....	66
Capítulo 4 Resultados.....	68
4.1 Actores y Procesos de recuperación de RSU en la ETIR .....	68
4.1.1 Procesos de segregación y valorización de residuos en ETIR.....	69
4.1.1.1 Operaciones de valorización.....	69
4.1.1.2 Transporte de materiales.....	71
4.1.2 Actores involucrados .....	71
4.1.2.1 Operadores informales (pepenadores):.....	71
4.1.2.2 Operadores formales (Empleados de la ETIR):.....	71
4.1.2.3 Operadores del servicio municipal (Choferes): .....	71
4.2 Aplicación de instrumentos de reingeniería para el diseño de la estación de transferencia .....	72
4.2.1 Procesos productivos en ETIR .....	72
4.2.2 Análisis de carga de trabajo, secuencias y capacidad utilizada en los procesos.....	73
4.2.2.1 Capacidades de procesos y actores en la ETIR .....	73
4.2.2.2 Factores críticos en los procesos de recuperación en la ETIR.....	74
4.2.3 Factores críticos en el proceso de recuperación .....	75
4.2.3.1 Capacidad productiva en los procesos de valorización de residuos en ETIR.....	75
4.2.3.2 Análisis de causas de bajos rendimientos en la eficiencia del personal .....	76
4.2.3.3. Operación ineficiente de la ETIR por diseño de planta.....	76
4.2.3.4 Análisis de causas en riesgo por contingencias y accidentes .....	77
4.2.3.5 Análisis de minas de los procesos productivos de valorización .....	78
4.3 Diseño de la estación de transferencia con recuperación de residuos (ETIR).....	79
4.3.1 Delimitar áreas, trazar flujo de materiales y diseño del diagrama de recorrido .....	79
4.4 Escenarios de reingeniería de la ETIR para la valorización de RSU .....	80
4.4.1 Escenario base ( $E_0$ ).....	80
4.4.2 Escenario ( $E_1$ ).....	81
4.4.2.1 Diseño de la estación de transferencia en el escenario ( $E_1$ ).....	83
4.4.3 Escenario ( $E_2$ ).....	84
4.4.3.1 Diseño para la operación de la ETIR en el Escenario ( $E_2$ ) .....	86
4.5 Análisis Costo-Beneficio.....	86

4.5.1 Ingreso de la ETIR por concepto de venta de producto (E <sub>1</sub> ) .....	86
4.5.1.1 Análisis de la inversión requerida .....	87
4.5.1.2 Análisis financiero (E <sub>1</sub> ).....	87
4.5.2 Ingreso de la ETIR por concepto de venta de producto (E <sub>2</sub> ) .....	88
4.5.2.1 Análisis de la inversión requerida .....	89
4.5.2.2 Análisis financiero (E <sub>2</sub> ). .....	89
4.6 Aplicación del ACV al caso de estudio .....	90
4.6.1 Etapa I: Determinación de objetivos y alcance .....	90
4.6.2 Etapa II: Inventario de ciclo de vida.....	91
4.6.3 Etapa III: Evaluación del impacto ambiental .....	94
Capítulo 5. Discusión .....	98
Conclusiones .....	100
Recomendaciones .....	102
Referencias .....	105
Anexo 1 Guía para calificar la velocidad de la actuación .....	114
Anexo 2 Márgenes o tolerancias .....	115
Anexo 3 Minas en el área de plancha.....	117
Anexo 4 Minas segregación secundaria .....	118
Anexo 5 Minas en el área de pesaje de producto. ....	119
Anexo 6 Minas en el área de segregación terciaria. ....	120
Anexo 7 Minas en el área de compactación. ....	121
Anexo 8 Minas en el área de almacén. ....	122

## Índice de tablas

Tabla 1 Generación de RSU en países desarrollados .....	20
Tabla 2 Generación de RSU en países en vías de desarrollo.....	21
Tabla 3 Tratamiento de los RSU en países desarrollados .....	22
Tabla 4. Confinamiento de RSU en países desarrollados.....	23
Tabla 5 Lineamientos oficiales en la GRSU .....	27
Tabla 6 Grupos dominantes de plástico y aplicaciones.....	31
Tabla 7 Estaciones de transferencia en México 2012.....	36
Tabla 8 Diagrama SIPOC.....	44
Tabla 9 Procesos en la valorización por escenario.....	63
Tabla 10 Registro de inventario de consumo .....	65
Tabla 11 Horas de operación de los equipos por escenario.....	66
Tabla 12 Tiempo estándar de las operaciones de la ETIR .....	72
Tabla 13 Minas en los procesos productivos de la ETIR .....	78
Tabla 14 Requerimiento de equipos y capacidad de valorización escenario base (E <sub>0</sub> ) .....	81
Tabla 15 Requerimiento de equipos y capacidad de valorización escenario (E <sub>1</sub> ) .....	82
Tabla 16 Requerimiento de equipos y capacidad de valorización escenario (E <sub>2</sub> ) .....	85
Tabla 17 Ingreso por venta de reciclables en Escenario (E <sub>1</sub> ).....	87
Tabla 18 Inversión en infraestructura en el Escenario (E <sub>1</sub> ) .....	87
Tabla 19 Comparación ingreso-egreso en el Escenario (E <sub>1</sub> ) .....	88
Tabla 20 Ingreso de ETIR en base a su composición (E <sub>2</sub> ) .....	88
Tabla 21 Inversión en infraestructura (E <sub>2</sub> ) en pesos.....	89
Tabla 22 Comparación ingreso-egreso (E <sub>2</sub> ).....	89
Tabla 23 Meta de valorización de residuos .....	90
Tabla 24 Recursos consumidos por escenario en la valorización de residuos .....	91
Tabla 25 Composición de residuos sólidos urbanos en el área de estudio .....	91
Tabla 26 Inventario de consumo de energía eléctrica gas diésel por escenario .....	92
Tabla 27 datos utilizados para el cálculo de inventario en los equipos del ETIR .....	93

## Índice de Figuras

Figura 1 Países desarrollados y en vías de desarrollos incluidos en el análisis.....	18
Figura 2 Modelo conceptual de la GRSU.....	24
Figura 3. Modelos conceptuales de estaciones de transferencia .....	35
Figura 4 Estaciones de transferencia en operación por entidad federativa en México 2012.....	37
Figura 5 Modelo conceptual de la presencia del pepenador en la GRSU .....	39
Figura 6 Formato estándar para el estudio de tiempos .....	42
Figura 7 Diagrama Ishikawa .....	45
Figura 8 Simbología del diagrama de recorrido. ....	46
Figura 9 Ubicación de Estaciones de Transferencia en Baja california .....	50
Figura 10 Distribución de áreas de operación Estación de transferencia Xochimilco .....	51
Figura 11 Secuencia de procesos y definición de actores .....	52
Figura 12 Tiempos de las operaciones en ETRS.....	54
Figura 13 Diagrama SIPOC aplicado a capacidades.....	56
Figura 14 SIPOC aplicado a factores críticos.....	57
Figura 15 Diagrama causa-efecto aplicado a procesos críticos.....	58
Figura 16 Diagrama de recorrido de proceso .....	59
Figura 17 Ubicación de procesos de recuperación y actores implicados. ....	68
Figura 18. Capacidades productivas en la valorización de residuos en ETIR.....	73
Figura 19. Factores críticos en los procesos de valorización de residuos en ETIR.....	74
Figura 20 Delimitación de áreas de trabajo y flujo de valorización de RSU .....	79
Figura 21 Capacidad productiva limitada de la ETIR (Diagrama causa-efecto).....	75
Figura 22. Bajos rendimientos en la eficiencia del personal en la ETIR.....	76
Figura 23 Operación ineficiente de la ETIR por diseño de planta .....	77
Figura 24 Riesgo de contingencias y accidentes en la ETIR.....	77
Figura 25 Escenario base (E <sub>0</sub> ): proceso de valorización de residuos en ETIR.....	80
Figura 26 Escenario propuesto con integración de equipos mecánicos .....	82
Figura 27 Diseño de operación de ETIR para el escenario (E <sub>1</sub> ) .....	83
Figura 28 Escenario propuesto (E <sub>2</sub> ) con entrada de RSU segregados en fuente .....	85
Figura 29 Diseño de estación de transferencia en el Escenario (E <sub>2</sub> ) .....	86
Figura 30 Evaluación de escenarios con reciclaje de residuos .....	94
Figura 31 Evaluación de los escenarios de recuperación de residuos sin reciclaje .....	95
Figura 32 Evaluación del proceso de valorización en el escenario (E <sub>0</sub> ).....	95
Figura 33 Evaluación del proceso de valorización en el escenario (E <sub>1</sub> ).....	96
Figura 34 Evaluación ambiental en el escenario (E <sub>2</sub> ) por etapa de valorización.....	97

## Capítulo 1 Antecedentes

El crecimiento de la población y a la adquisición desmedida de bienes de consumo, sin haber establecido previamente las medidas de control y políticas de manejo de residuos adecuadas, ha implicado altas tasas de generación de residuos. Lo cual impacta al ambiente y tiene efectos en la salud humana (Cobo et al., 2018; Diaz-Barriga-Fernández et al., 2017; Colomer y Gallardo 2007).

El aumento en la generación de residuos está relacionado con el consumo y producción de bienes, los cuales se incrementan con el desarrollo económico de la sociedad (García y You, 2017; Beolchini y cols. 2012). Es por esto que tanto en los países industrializados como en los países en vías de desarrollo se observa un continuo incremento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) que aunado a las problemáticas medioambientales, de salud, económicas y sociales que éstos conllevan han convertido el tema del manejo de los RSU en uno de los más relevantes de la sociedad moderna (Di María y Micale, 2013; Vasudevan y cols., 2012).

Actualmente como parte de la dinámica económica, ha surgido un interés en la recuperación de materiales reciclables. Países industrializados, países con economías emergentes y países subdesarrollados han puesto mayor atención a las actividades de reciclaje, principalmente por presiones ambientales, presiones políticas, la oposición pública a los sitios de disposición final y los altos costos de disposición atribuibles a la falta de tierras (conke,2018; Tien y cols., 2007;Collins, 2006)

Los residuos son definidos como cualquier material de desperdicio generado por la industria y las actividades humanas que no poseen un valor residual (Ortiz y cols, 2010). Sin embargo, dentro de la corriente de los RSU existen materiales recuperables entre ellos el papel, cartón, metales y plásticos, que bajo un esquema de manejo integral pueden ser nuevamente valorizados. Por lo tanto, se presta particular atención en su tratamiento, manejo integral y mejora de los procesos de recuperación.

De acuerdo a los indicadores publicados por la OECD en el 2018 el porcentaje de material recuperado durante el 2011 por medios de compostaje y reciclaje en países desarrollados osciló entre el 25% y el 63% en países como Suiza, Alemania, Suecia, Italia, Bélgica, Austria, Luxemburgo, Australia, Gran Bretaña y España entre otros. Sin embargo en

países menos desarrollados como México, Chile, Islandia entre otros el porcentaje de recuperación fue entre el 1% y el 20%.

La infraestructura para dar un manejo adecuado a los residuos sólidos urbanos es aún insuficiente en los países en desarrollo. La capacidad instalada en el país debe ser optimizada para contar con sistemas efectivos de manejo que permitan, su aprovechamiento, recolección y reciclaje de los residuos.

Un análisis del consumo per cápita de plásticos indica un aumento aproximado de 100 kg por habitante en los países del tratado de libre comercio de América del Norte y Europa Occidental, con un potencial de crecimiento a 140 kg por persona en el año 2015. En Europa el mayor potencial de crecimiento reside en los nuevos estados miembros de la Unión Europea. Su consumo actual es entre 50 y 55 kg per cápita y por lo tanto esto representa un poco más de la mitad del consumo en los estados miembros más antiguos de Europa. (OECD 2018).

Existen alrededor de 20 grandes grupos de plástico y cada uno con numerosos subgrupos, lo que permite una óptima selección de un plástico específico para cada aplicación. Son cinco los grupos dominantes en términos de volumen de producción, estos son: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), cloruro de Polivinilo (PVC), Poliestireno (PS rígido y EPS expandible) y Tereftalato de Polietileno (PET). Juntos estos cinco conforman el 75% de la demanda total en Europa. En el transcurso del 2007 todos estos plásticos mencionados tuvieron un incremento de .5% a 7.5 % con un promedio de 3%, en la demanda. La industria de empaque sigue siendo el mayor usuario final para materiales plásticos representando el 37%, seguido por la industria de la construcción con un 21%. Los sectores automotrices y eléctrico/electrónico consumen el 8% y 6% respectivamente del volumen total. La tecnología médica y otros sectores como los hogares y agricultura representan el 28% restante. (OECD 2018).

El plástico constituye una fracción importante y en continuo crecimiento dentro de los RSU en Europa, actualmente se está debatiendo como serán manejados estos residuos. (Rigamonti y cols 2014).

En un estudio reciente, Rigamonti y cols 2014 seleccionaron 77 escenarios y categorizados en cuatro escenarios principales sobre el manejo de residuos plásticos basados en la tecnología dominante para cada uno de ellos: reciclaje mecánico, reciclaje químico, incineración y confinamiento. La conclusión del estudio indica que el reciclaje

mecánico es la mejor opción en base a estudios de investigación por el método de Análisis de ciclo de vida LCA el cual indica que tiene mayor impacto ambiental en relación a: la energía empleada, el potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de agotamiento de recursos abióticos y producción de RSU. El reciclaje mecánico consiste en la separación de plásticos por tipos de polímeros, su descontaminación, molienda y extrusión (fundición) para ser convertidos en pellets.

Previo a estos procesos de reciclado de los RSU (particularmente los plásticos) debe ser analizado el proceso de recuperación y los métodos actuales de segregación. Como se mencionó anteriormente el proceso de urbanización mundial es acelerado y no está siendo vigilado u organizado por políticas públicas. Muchas de las ciudades tienen más gente de las que pueden sostener, muchos están desempleados y tienen bajos niveles de educación, como parte de este problema se incluye a los inmigrantes que viven en tugurios y son marginados de la sociedad. Como una forma de sobrevivir y generar ingresos muchos de ellos se convierten en recolectores de materiales reciclables, llamados pepenadores quienes son excluidos del mercado de trabajo debido a su falta de preparación o bien por sus bajas edades, por lo cual se inician en la actividad de recolectar residuos reciclables en las calle y en los rellenos sanitarios. (Auler y cols., 2013).

En el tema de residuos sólidos, no todos los estudios hacen referencia exclusivamente a los avances tecnológicos. Los estudios en los países tercermundistas se enfocan a los pepenadores, sus formas de organización, sus tipos de trabajo, condiciones de vida, ingresos, sus interrelaciones políticas y sociales con otros grupos (Ayodele et al.,2018) Esto debido a que los pepenadores son parte de la cadena de recuperación de los residuos sólidos encargados de recoger los materiales reciclables de los tiraderos y hacerlos llegar a las industrias recicladoras vendiéndolos a precios que la industria establece.

En el ámbito global (Asia y África) y regional (América Latina) las investigaciones de la OIT-IPEC (2004 a y 2004 b), OIT (2006), BID (2005) y WEIGO (2007) presentan perspectivas sobre los escenarios de trabajo en los rellenos sanitarios a mediano plazo manifestando que el trabajo de niños y adultos en los basureros sigue constituyendo un refugio para los estratos más marginados, a su vez el ingreso monetario individual generado por la actividad de la pepena es insuficiente para sobrevivir por lo cual se recurre a integrar a la familia a la actividad para cubrir las cuotas de subsistencia. Declaran que la

seguridad social y de salud es casi inexistente para el pepenador debido a su condición de trabajo informal. (Cervantes y cols. 2012).

De acuerdo a (Auler y cols ,2013) en Brasil la recolección de materiales reciclables fue reconocida por el gobierno como una ocupación laboral, pero este hecho no implica que se hayan mejorado las condiciones de trabajo debido a que los trabajadores siguen sin tener los beneficios que marca la ley además de no contar con contratos laborales, aunado a esto siguen siendo explotados por la industria recicladora. En el año 2010 Brasil estableció una política nacional en desperdicios sólidos, el cual el objetivo principal es fomentar el reciclaje en donde los pepenadores participan como agentes ambientales. Sin embargo debido al mal trato y abuso que se sigue teniendo sobre ellos los pepenadores prefieren agruparse en cooperativas para hacer más organizada la recolección y selección de materiales, generando así por ellos mismos más trabajo e ingreso.

De acuerdo al reporte de (Parizeau, 2013) en Buenos Aires el trabajo del pepenador provee de valiosas entradas de material reciclable a las industrias reduciendo el volumen de RSU destinado a los rellenos sanitarios. Sin embargo a pesar del trabajo y servicio que ofrece en condiciones precarias con bajos sueldos y grandes riesgos a contraer enfermedades estos presentan un rechazo por la sociedad debido a su forma de trabajo informal y apariencia.

Con base a lo que mencionan Cervantes y cols, 2012 en México desde los años sesenta del siglo pasado algunas investigaciones han analizado el fenómeno laboral de la pepena y han destacado las siguientes características generales:

- a) Procedencia y características socioeconómicas: la mayoría son emigrantes de zonas rurales, edad fluctúa entre 30 y 60 años, nivel educativo menor al de primaria.
- b) Trabajo infantil: aproximadamente es desde los cinco años con nula vigilancia.
- c) Condiciones de vida: habitan en los basureros en viviendas marginales, no cuentan con servicios públicos, laboran en condiciones de trabajo riesgosas para la salud e integridad física.
- d) Organización: Se rigen por liderazgos tradicionales (partidos políticos) o sindicatos afines a algún partido.

El autoempleo en la recolección de residuos en condiciones de informalidad laboral y de peligrosidad de los sitios de destino final es una de las actividades irrefutables de la

desigualdad e injusticia social no resueltas en las economías capitalistas subdesarrolladas. La existencia de esta actividad muestra que todos los intentos de las organizaciones internacionales y gobiernos nacionales por erradicar estos empleos han fallado (Cervantes et al., 2012). Sin embargo los beneficios que resultan de la pepeña informal de residuos pueden incluir los siguientes:

- Contribución a la salud pública y al sistema de saneamiento. En las ciudades en vías de desarrollo la recolección informal de basura es la única manera de que la basura de muchos barrios que no son atendidos por las autoridades municipales sean desechados.
- Empleo y fuente de ingreso para los pobres. El Banco Mundial estima que entre el 1% y 2% de la población urbana en los países en vías de desarrollo se gana la vida mediante la recolección de residuos.
- Suministro de materiales reciclados de bajo costo a la industria
- Reducción de los gastos municipales. Reducen la cantidad de desechos que tienen que ser recogidos, transportados y eliminados con fondos públicos.
- Contribución a la sustentabilidad del medio ambiente. Esta actividad disminuye la cantidad de materia prima utilizada conservando recursos naturales y energía, reduciendo a su vez la contaminación atmosférica y del agua.

## 1.1 Justificación

En países del centro y Sur América (caso específico de México) no se ha dado correctamente el manejo de los RSU, y un problema importante es la mezcla de los distintos materiales que se encuentran en estos mismos y requieren ser separados para futuros tratamientos, esto genera un incremento en los costos de segregación y en sus procesos, a su vez incrementa las condiciones insalubres. Esta práctica es muy común en México en donde la mayoría de la gente no tiene la disciplina de separar los residuos sólidos resultando en un significativo incremento del peso y volumen total de los RSU aunado con el hecho de que no se cuentan con las instalaciones adecuadas para el almacenamiento de estos residuos (Santibáñez-Aguilar y cols, 2013).

En el caso de México la aplicación de medios institucionales adecuados, financieros, económicos y herramientas sociales son necesarios para garantizar un adecuado manejo de los RSU sustentable (Ghinea y cols 2012).

En varios estados del interior de la república de México como Morelia, Celaya, Apatzingán, Lázaro Cárdenas y León se han empleado sistemas de manejo de los RSU y han logrado recolectar y segregar un 5.8% de plásticos (PP, PE, PET, PS, HDPE) del total de los RSU generados (Instituto Nacional de Ecología de México INE 2012).

Los residuos plásticos recuperables son productos que siendo tratados por procesos tecnológicos pueden ser utilizados para la elaboración de otros productos que reutilizan los usuarios finales tales como nanotubos, pellets, parafinas, olefinas, aceites pesados, diésel entre otros, proporcionándonos a la vez el beneficio de no disponer de ellos contaminando así el medio ambiente (Alireza y Gordon, 2012; Laner y Rechberger, 2009).

Es un avance que la industria privada empiece a resolver los problemas de recuperación y confinación de residuos, viéndose esto como un tema redituable, sin embargo el problema no está resuelto en su totalidad. Hace falta aún dar crecimiento al sistema productivo para lograr alcanzar a recolectar la mayoría de los plásticos recuperables.

De los diferentes tipos de plásticos el PET se ha convertido en el material de empaque de mayor preferencia en el mundo siendo utilizado en su mayoría para embotellar agua y refrescos. Esto debido a las propiedades que posee el material tanto en resistencia como en bajo peso comparado con las botellas de vidrio. Un sistema pre establecido para la recolección del PET es la recolección en acera, en donde el PET es recolectado junto con

otros materiales de empaque (mixtos) y es segregado de manera automática o manual y posteriormente es llevado al proceso de reciclado. Este sistema de recolección está establecido en muchos países y garantiza una tasa de recolección mayor a la de otros plásticos. Esto hace que grandes cantidades de botellas de PET de post consumo estén disponibles para ser recicladas en todo el mundo haciéndolo uno de los plásticos más factibles para invertir en equipos de segregación y reciclaje (Welle, 2011).

En el mismo sentido los análisis sociales han permitido a los investigadores ir más allá del conocimiento de la realidad, particularmente en el caso de los pepenadores y recicladores de basura. Debido a sus extremas condiciones de trabajo y la marginación por parte de la sociedad es considerada sociedad aislada, lo cual los lleva a crear sus propios grupos cerrados con sus propios hábitos, costumbres, creencias y valores; por lo tanto se requieren mecanismos especiales para lograr su integración a la sociedad. Ya sea que la sociedad los reconozca o no como parte de ella, el hecho es que los pepenadores son de gran utilidad para el medio ambiente (Castillo 2003).

Para explorar las características del trabajo adulto e infantil en la pepena informal en el año 2008 se realizaron estudios en 15 basureros de 12 estados de México (Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Chihuahua) arrojando resultados que confirman que la pobreza es uno de los principales acicates para auto emplearse en la segregación de basura (Cervantes et al., 2012).

En un estudio reciente Ojeda et al., (2012) señalan que los pepenadores representan el primer eslabón en el circuito de recuperación de los residuos sólidos urbanos, y esta tarea es realizada tanto en las calles como en los basureros.

En la región central de México existen tres plantas segregadoras con capacidad instalada para procesar 5500 toneladas por día. Una de estas plantas está localizada en el relleno del bordo poniente, la otra planta está localizada en la delegación Gustavo A. Madero llamada San Juan de Aragón y la tercera en el este de Santa Catarina. En la actualidad 1,500 ex pepenadores trabajan en estas instalaciones, lo cual representa que alrededor de 6000 miembros de familia son beneficiados de forma directa o indirecta.

Existe la visión de la basura como un producto sin valor, pero no es así, forma parte de un proceso que le da valor, para por varias etapas entre ellas la recolectada, transportada, almacenada, clasificada, lavada, vendida y reciclada transformándola así en mercancía.

Esto significa que el valor intrínseco de estos materiales y su valor de cambio pueden ser recuperados si el factor de mano de obra humano es incorporado. De inicio es verdad que los diferentes productos y bienes son transformados en basura cuando pierden su utilidad por nosotros como consumidores, pero es verdad también que recolectar y reciclar estos productos se vuelven a convertir en bienes que adquieren nuevamente valor a través de estas actividades.

La presente investigación tiene la finalidad de dejar establecidos por escrito los métodos estandarizados manuales y mecánicos de inicio a fin de cómo realizar la práctica de recuperación, segregación y empaque de productos recuperables con la finalidad de que estos métodos y tecnología nos den la base de establecer la forma más eficiente de recuperar el mayor volumen de producto por unidad de tiempo. Esta investigación va orientada para dar beneficio a otras unidades de transferencia en otros municipios en donde se realizan estas prácticas de manera tradicional y sin ningún tipo de método orientado a la máxima recuperación de productos reciclables. Integrando a su vez a través de métodos mecánicos de segregación como son bandas transportadoras y métodos de segregación la mano de obra humana en las actividades de recolección y segregación de material.

Para el logro del objetivo general de este proyecto se presentan los resultados específicos para cada una de las etapas del proceso, resultados útiles y de interés tales como: Que cantidad de plástico puede recolectar por hora un operador de manera manual, que cantidad de plástico puede recolectar una persona con herramientas y equipo, cantidades de plástico que pueden ser segregadas y compactadas por hora, formas eficientes de distribución de equipos, áreas de trabajo, cálculo de espacios adecuados para realizar trabajos en procesos, y exponer márgenes promedio de ganancia obtenida por cada tipo de plástico al realizar la práctica de recuperación. Estos resultados deberán ser utilizados por otros usuarios para que les permitan establecer la forma exacta de como operar una unidad de transferencia eficiente y obtener máximos beneficios de manera pronta.

## **1.2 Problemática**

El crecimiento de la ciudad, el incremento de residuos y la falta de soporte técnico y de equipos dan paso a que las autoridades municipales en la ciudad de Mexicali B.C.

deleguen la tarea de recolección de residuos a la iniciativa privada licitando la concesión del manejo del relleno sanitario y la unidad de transferencia.

En septiembre del 2010, Promotora Ambiental (PASA) firmó un contrato para operar el relleno sanitario y tres estaciones de transferencia en Mexicali B.C. por un plazo de 20 años. Mexicali cuenta con una población de casi 1 millón de habitantes, en donde la empresa espera recibir aproximadamente 20 mil toneladas mensuales de residuos.

Ahora con este nuevo sistema de concesión de manejo de residuos a los particulares estos están aprovechando la oportunidad de antes de disponer de los residuos llevar a cabo procesos de recuperación de plásticos, cartón, papel y metales. Estos procesos se realizan actualmente en la unidad de transferencia designada. Sin embargo los procesos manuales y mecánicos que se llevan a cabo no son lo suficientemente eficientes para proporcionar un alto índice de productividad a la empresa. El manejo de RSU en México en referencia a la segregación de plásticos por categoría representa un costo de 0.235 us/kg. (INE 2012).

La gran cantidad de gente trabajando en el proceso sin métodos adecuados, los grandes espacios no aprovechados, la falta de mecanismos de segregación de alto volumen, y la falta de un sistema productivo eficiente son los grandes problemas a los que se enfrenta hoy en día la unidad de transferencia, generando así una pobre recuperación de residuos plásticos y dejando ir un gran costo de oportunidad.

### **1.3 Objetivo General**

Analizar el sistema de recuperación de residuos en una estación de transferencia en Mexicali, aplicando reingeniería y ACV para proponer un sistema de valorización ambiental y económicamente factible.

### **1.4 Objetivos específicos**

1. Analizar los métodos actuales manuales y mecánicos de segregación para determinar las causas que afectan la productividad
2. Analizar la distribución de planta para determinar el flujo de recorrido en el manejo de materiales y el aprovechamiento de espacios
3. Determinar la capacidad productiva de los procesos y proponer nuevos métodos de trabajo

4. Identificar la tecnología factible a ser utilizada para la realización de los procesos propuestos y diseñar nueva distribución de planta
5. Realizar un análisis costo beneficio en la implementación del nuevo diseño justificando la calidad económica en la práctica de recuperación de residuos
6. Establecer escenarios para la valorización de residuos en la estación de transferencia, aplicando el ACV para evaluar el impacto ambiental.

### **1.5 Hipótesis**

Con base a la cantidad de toneladas de residuos sólidos que recibe al mes la estación de transferencia y que son segregados para su recuperación, es factible incrementar al triple el volumen recuperado. Esto a través de la implementación de métodos y tecnología que permita un incremento del 300% en la productividad.

## **Capítulo 2. Marco Teórico**

En este capítulo se presenta el marco teórico-conceptual de la problemática ambiental que se aborda en esta tesis, para ello se ha organizado 5 secciones, en la primera se presenta en un análisis de cómo se lleva a cabo la gestión de residuos sólidos urbanos, tomando como base del análisis los países desarrollados, en vías de desarrollo y en México, analizando desde su generación hasta la disposición final. En la segunda sección se incluye la clasificación de los residuos, que puede ser por origen, composición y por el potencial de valorización. En la tercera, se analizan los plásticos como parte de los residuos que se desean valorizar, su clasificación y tecnologías de tratamiento, ya que este subproducto de los residuos que se generan en la localidad es el que nos interesa valorizar. En la cuarta, se presentan los métodos de segregación, así como la función de los centros de transferencia en el ciclo de la gestión de los residuos y en la última sección se incluye la reingeniería y las herramientas estadísticas y de gestión utilizadas para aplicar esta metodología, en el caso de esta tesis a una unidad de transferencia.

### **2.1 Gestión de los residuos sólidos urbanos**

Para analizar la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), se consideró importante hacerlo incluyendo algunos países, para identificar fortalezas y debilidades para proponer un modelo conceptual y partir de este para identificar como se realiza la gestión, para ello

se seleccionaron países que se organizaron con base a la categoría de país desarrollado y en vías de desarrollado de acuerdo a los criterios del Banco Mundial, quien lo clasifica con base al método de conversión Atlas para disminuir el impacto de fluctuaciones cambiarias, se seleccionaron países de América, Europa, Asia y África en la figura 1 se ubican geográficamente.

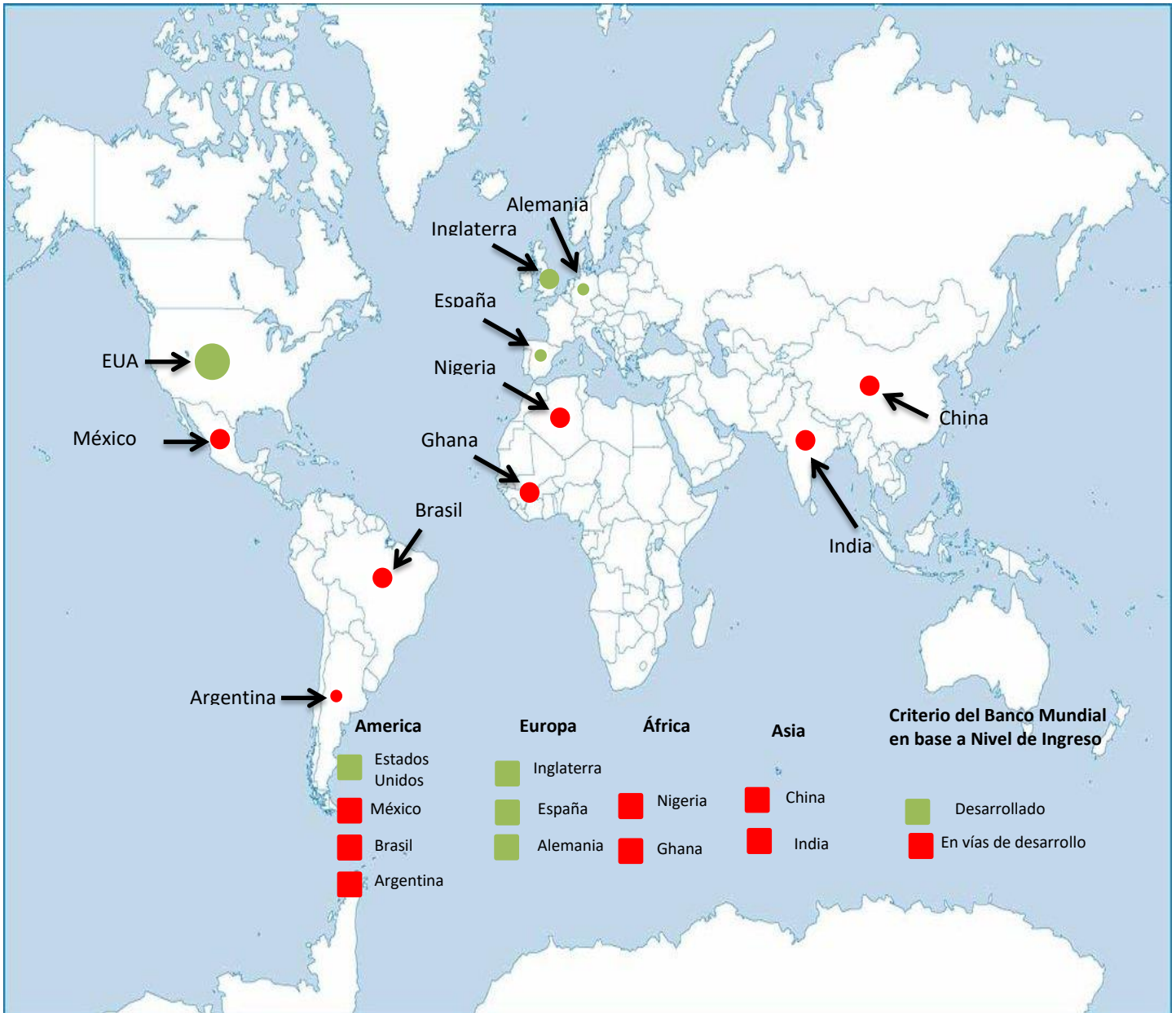


Figura 1 Países desarrollados y en vías de desarrollos incluidos en el análisis

Los RSU (Residuos Sólidos Urbanos) son definidos como aquellos generados por los hogares, así como otros residuos que por su naturaleza o composición pueden asimilarse a los residuos domésticos, tal es el caso de los comercios e instituciones públicas (Stowell,2016; Andarani y Goto,2013; Fodor y Klemes,2012). Estos residuos son generados en grandes cantidades por los habitantes en los distintos municipios del mundo, por lo cual es necesario llevar un control y administración de los mismos.

Con base a esto surge el concepto de Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (GRSU) el cual se refiere al conjunto de operaciones que se realizan con ellos desde que se generan en los hogares y servicios hasta la última fase en su tratamiento. De forma general estos comprenden las siguientes etapas: depósito, recogida, transporte y tratamiento (Sthiannopkao, & Wong 2013; Pires et al., 2011). Estas etapas representan una tarea difícil para los responsables de llevarlas a cabo que en la mayoría de los casos es responsabilidad de las autoridades municipales.

### **2.1.1. Residuos sólidos urbanos en países desarrollados y en vías de desarrollo**

La GRSU es uno de los temas más relevantes en los países desarrollados, impulsado por la necesidad de hacer frente a una producción total de residuos que desde 1995 al 2013 ha aumentado considerablemente (OECD 2015).

Con base a esto para tener un mejor control en la GRSU los países desarrollados realizan actividades y toman decisiones en relación a la selección de sitios y vertederos de tratamiento de residuos (Lombardi et al., 2015; Wang et al. , 2009), estrategias de expansión de capacidad de los sitios de desecho, tecnologías, asignación de flujos para las instalaciones de transformación y determinación de zonas de servicio a los distritos por tipos de residuos (Garlapati, 2016; Aquiles et al. , 2013; He et al. , 2009).

Por otra parte en relación a los países en vías de desarrollo el manejo inadecuado de la GRSU es un tema complejo debido al crecimiento de la población, millones de toneladas de RSU se generan a diario con la necesidad de ser recogidos, clasificados, tratados y asignarles un destino final adecuado que en la actualidad en su mayoría son dispuestos en rellenos sanitarios y sitios a cielo abierto (USEPA, 2011; Fobit et al., 2007; OECD 2007).

### 2.1.2 Generación de RSU

En la etapa de generación es donde inicia y se conoce el problema de la gestión según las cantidades generadas, la composición y las variaciones temporales (Ghiani et al., 2013; Karak et al., 2012; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

La generación de RSU está directamente relacionada con el número de habitantes y la cultura de consumo a mayor población mayor generación tal como se muestra en la tabla 1, se observa que en los países seleccionados para el análisis Estados Unidos es el que presenta una mayor generación per cápita.

**Tabla 1 Generación de RSU en países desarrollados**

País	Año	Población millones	Generación Total Millones/Ton	Generación per cápita Anual
España	2013	46.65	20.94	449 Kg/hab
Inglaterra	2013	64.1	30.89	481.9 Kg/hab
Alemania	2013	80.62	49.74	617 Kg/hab
Estados Unidos	2012	316.1	251	794.05 Kg/hab

Fuente: Construcción propia con base a Banco Mundial (2015); OECD (2015).

En los países en vías de desarrollo se observa que aun teniendo una generación per cápita en promedio menor a la de los países desarrollados su generación total presenta cantidades mayores debido al número de habitantes que poseen. Ver tabla 2.

**Tabla 2 Generación de RSU en países en vías de desarrollo.**

País	Año	Población millones	Generación Total Millones/Ton	Generación per cápita Anual	Fuente
Gana	2010	24.2	4.5	186.15 Kg/hab	OECD (2015); Banco Mundial(2015)
India	2011	1252.13	228.51	182.5 Kg/hab	Department of Economic Affairs, 2009; Banco Mundial (2015)
China	2009	1331.26	157.34	118.18 Kg/hab	OECD (2015); Banco Mundial(2015)
Brasil	2012	200.4	57.9	288.92 Kg/hab	OECD (2015); Banco Mundial(2015)
Argentina	2009	40.37	12.32	305.17 Kg/hab	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2009). Banco Mundial (2015)

### 2.1.3 Recolección y transporte de RSU

La recolección y transporte es la actividad que consiste en recolectar y transferir los RSU del sitio de eliminación primaria al sitio de tratamiento (Gallardo et al., 2015).

En países desarrollados el sistema de recolección en su mayoría la realizan de forma selectiva, la cual consiste en la separación en la fuente (Gallardo et al.,2015; Dewi et al., 2010; Mourao et al., 2009).

con el uso de contenedores categorizados de acuerdo a la composición del residuo (Bovea et al.,2010). Para esto se utilizan distintos tipos de camiones con capacidades de compactación adecuadas y de acuerdo a los tipos de contenedores a cargar (Ghiani et al., 2014).

En países en vías de desarrollo la forma general de realizar la recolección es la no selectiva (no se efectúa captación diferenciada de los residuos) en donde esta actividad puede ser desarrollada por las autoridades municipales o por compañías privadas, en donde una vez recolectado el residuo en su mayoría pasa directamente a confinamiento o en ciertos casos a una unidad de transferencia (Wadehra et al., 2018; Pillai y Shah 2014; Lino y Ismail 2013; Owusu ,2013; Zhang et al., 2010;). En su mayoría el transporte que predomina son contenedores de caja abierta y compactadores en condiciones no adecuadas debido a la antigüedad de los mismos (Pattnaik y Reddy 2010; Chattopadhyay 2009).

#### 2.1.4 Tratamiento de los RSU

El tratamiento de los RSU es el centro de interés en la GRSM en los países desarrollados cuyo objetivo es la protección de la salud humana y el medio ambiente. Existen varias opciones para el tratamiento de los residuos y generalmente involucra decisiones en cuanto a tecnologías, ubicación (Achillas et al., 2013) y capacidad de la planta de tratamiento. Las formas más comunes de tratamiento son la incineración con recuperación de energía que implica la quema de RSU para generar electricidad (Beylot y Villeneuve, 2013; Tunesi, 2011), el tratamiento mecánico biológico para la generación de composta (Seigné et al., 2013) y el reciclaje mecánico que es la recuperación de materiales (plásticos) a través de fundición ( Rigamonti y cols 2014; Herva et al., 2014).

En la tabla 3 se muestra la relación del total de residuos tratados en los países desarrollados seleccionados para este análisis en donde se observa que Alemania presenta la mayor recuperación de los residuos que genera. En general el tratamiento por reciclaje es el que más recuperación per cápita presenta en relación a los otros tratamientos.

En países en vías de desarrollo el tratamiento para la recuperación de los RSU no representa actualmente el principal tema de interés, en el caso de India y Ghana las plantas tratamiento para generar composta son pocas y con volúmenes bajos de producción (Owusu, 2013; Pattnaik y Reddy 2010; Chattopadhyay, 2009). En el caso de China y Brasil la incineración con recuperación de energía ha generado pocos resultados debido al bajo valor calórico de los RSU y a la falta de sistemas eficientes (Lino y Ismail 2013; Zhang et al., 2010).

**Tabla 3 Tratamiento de los RSU en países desarrollados**

País	Año	Total de residuos Tratados Kg/Hab	Incineración Rec energía Kg/Hab	Reciclaje per cápita Kg/Hab	compostaje Kg/Hab
España	2013	178	44	88	46
Inglaterra	2013	309.58	100.12	132.66	76.8
Alemania	2013	617	218	290	108
Estados Unidos	2012	419.14	83.97	273.96	61.21

Fuente: Construcción propia con base a OECD (2015);eurostat(2015);epa(2015).

### 2.1.5 Confinamiento de RSU

Es la última fase del control de los residuos sólidos que consiste en colocarlos en determinados sitios de los cuales no serán removidos, con objeto de evitar daños al ambiente, el cual es uno de los objetivos en países desarrollados para ello introducen requisitos técnicos estrictos para los residuos y vertidos (Zavodskaya et al., 2014). En general se considera que el confinamiento es de tipo controlado. En la tabla 4 se muestra el confinamiento per cápita en los países de análisis y en promedio estos confinan el 35% de los RSU que generan.

**Tabla 4. Confinamiento de RSU en países desarrollados**

País	Año	Confinamiento Kg/Hab
España	2013	270
Inglaterra	2013	165.11
Alemania	2013	1
Estados Unidos	2012	387.46

Fuente: construcción propia con base a: OECD(2015)

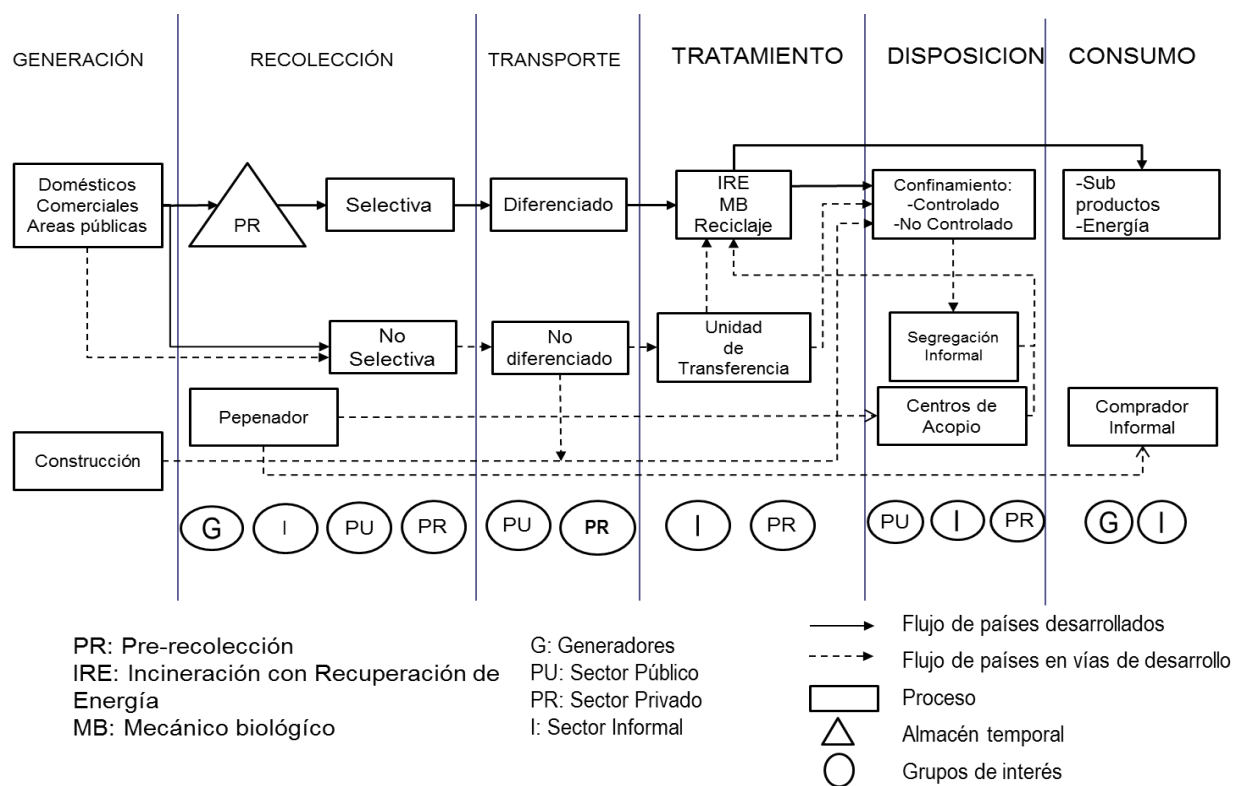
En países en vías de desarrollo los RSU en su mayoría se disponen en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto no controlados causando daños a la salud y al medio ambiente (USEPA 2011; OECD 2007), tal es el caso de India, China y Brasil en donde las disposiciones se manejan de forma inadecuada y sin las prácticas correctas de confinamiento (Pillai y Shah 2014; Lino y Ismail 2013; Zhang et al., 2010; Chen et al., 2010; Pattnaik y Reddy 2010). En el caso de Ghana el confinamiento se realiza en forma indiscriminada mezclando productos peligrosos y no peligrosos (Owusu, 2013).

### 2.1.6 Modelo conceptual de la GRSU

La gestión de RSU en países desarrollados y en vías de desarrollo sigue una línea de procesos en el ciclo de vida de estos que implican la generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición Ver fig. 2. En los países desarrollados han demostrado ser más eficientes en estos temas, en relación a la recolección y transporte estos se realizan de forma selectiva y con equipo especializado en donde la participación de los grupos de

interés como son: generadores, sector público y sector privado juegan un papel muy importante en la gestión. Observamos que su línea de gestión es más directa hacia el tratamiento y disposición de los residuos, esto debido al uso de tecnología e infraestructura llegando a la meta de generar subproductos y energía en menos tiempo y de forma eficiente.

Por otro lado, la GRSU en países en vías de desarrollo presenta en forma general una recolección no selectiva y transporte no diferenciado en donde los residuos son destinados al confinamiento, o en ciertos casos en ciertas entidades federativas se trasladan a unidades de transferencia para ser segregados y llevadas posteriormente a tratamientos. En este caso la participación del sector informal se anexa a los grupos de interés mencionados previamente, el cual desarrolla funciones importantes en el proceso de la GRSU. El confinamiento ya sea controlado o no controlado se desarrollan actividades de segregación que una vez realizadas se manda el producto al distinto tratamiento generando así un retorno innecesario si desde un principio se pudieran adecuar unidades de transferencia en la mayoría de las entidades y dieran paso directo al tratamiento.



**Figura 2 Modelo conceptual de la GRSU**

## **2.2 Residuos sólidos urbanos en México**

En el caso particular de México no se cuenta con una GRSU adecuada si tomamos en cuenta a la mayoría de los municipios del país. Uno de los principales problemas es que su sistema de recolección es no selectivo y esto hace que se incrementen los costos al momento de segregar los residuos, a su vez hace más difícil los procesos de tratamiento y genera condiciones insalubres (Cruz- Sotelo et al., 2017; Santibañez et al., 2013). El manejo y control de los RSU es competencia de las autoridades municipales y estos comprenden los residuos generados en los hogares, comerciales, institucionales y construcción (LGPGIR 2012).

### **2.2.1. Generación**

De acuerdo a la LGPGIR 2012 la generación es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo. Con base a los datos de (SEMARNAT 2012; Banco Mundial 2015) la generación de RSU en el año 2012 fue de 42.10 millones de toneladas, con una población de 120.84 millones lo cual indica que cada habitante generó 348.3 Kg de residuos en un año.

### **2.2.2 Recolección**

En general no se efectúa captación diferenciada de los residuos salvo en ciertos municipios, la cantidad recolectada en el año 2010 fue de 28.09 millones de toneladas y en ciertas entidades en donde se desarrolla recolección selectiva en el mismo año fue de 3.42 millones generando un total de 31.51 millones de toneladas SEMARNAT (2014). Para el año 2012 la cantidad de residuos recolectada en total fue de 39.32 millones de toneladas.

### **2.2.3 Transporte**

De acuerdo a (SEMARNAT 2015; Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011) el transporte para la recogida de los RSU se realiza en tres clasificaciones de vehículos como son: caja abierta (camión caja abierta, camión de volteo y redilas). Con compactador (con depósito cilíndrico, con separación, carga lateral, frontal y trasera). Otro tipo de vehículos (pick up, grúas, remolques). El total de vehículos suman 29,918 unidades para el año 2012, la cual representa una cantidad insuficiente si tomamos en cuenta las 32 entidades federativas y sus municipios.

#### **2.3.4 Tratamiento y recuperación**

De acuerdo a (LGPGIR 2012) el tratamiento son los procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos mediante los cuales se cambian las características de los residuos. En México en forma generalizada el tratamiento consiste en la segregación de los RSU de acuerdo a su composición y esta se lleva a cabo en unidades de transferencia que son instalaciones de almacenamiento temporal de los residuos para ser transportados posteriormente a un sitio de disposición final; eventualmente, podría aplicarse algún otro proceso a los materiales recibidos, como la separación, compactación y trituración. Con base a (SEMARNAT 2015; CNGMD 2011) en el año 2012 se contaba con 113 estaciones de transferencia y 841 centros de acopio (instalaciones dedicadas a la recepción de materiales susceptibles a ser reciclados), de los cuales se reciclaron 2.2 millones de toneladas equivalente al 5% de la generación total.

#### **2.3.5 Confinamiento**

De acuerdo a (LGPGIR 2012) la disposición final es la acción de depositar permanentemente los residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud y a los ecosistemas. Con base a (SEMARNAT 2015) en el año 2012 se confinó el 95% del total de los RSU generados. A la misma fecha se contaba con 238 rellenos sanitarios y 1643 tiraderos de cielo abierto.

#### **2.3.6 Marco legal aplicable al manejo de los RSU**

En la tabla 5 se muestra un resumen de los lineamientos oficiales aplicables al manejo de los RSU, estas normas se encuentran contenidas en la constitución mexicana, leyes, planes y reglamentos.

**Tabla 5 Lineamientos oficiales en la GRSU**

<b>Instrumento Legal</b>	<b>Descripción de funciones</b>
Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917	Establece la función de los municipios de ejecutar las actividades de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición de los RSU.
Ley general de equilibrio ecológico y protección al medio ambiente	Plantea que los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos quedan sujetos a autorización y legislación estatal o en su caso, municipal; y la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, mediante rellenos sanitarios.
Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos	Establece la facultad que tienen los municipios sobre el manejo integral de los RSU, la formulación de programas municipales de prevención y gestión integral, emitir reglamentos y demás disposiciones jurídico administrativas, prestar por sí o a través de gestores el servicio público de manejo integral de RSU.
NOM-83-SEMARNAT 2003	Indica las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, construcción, operación monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y de manejo especial.
Programa nacional para la prevención y gestión de los residuos 2009-2012	Establece los principios básicos que fundamentan la gestión integral de los residuos en el país, además fija los objetivos y estrategias a seguir en la gestión de los RSU.
Ley de prevención y gestión integral de residuos para el estado de B.C.	Define las competencias del estado y del municipio en el ámbito de la prevención y gestión de los RSU y manejo especial.
Reglamento para la prevención del aseo público	El servicio público de limpia del municipio debe de avocarse a la recolección, transporte y disposición final de los RSU provenientes de casa habitación, establecimientos industriales, comerciales o de servicios públicos o privados.

## **2.3 Clasificación de los residuos sólidos urbanos**

La clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos puede ser de distintas formas dependiendo del cual es el objetivo de su clasificación. Por lo tanto podemos clasificarlos de acuerdo a su origen, por su composición y por el potencial de valorización.

### **2.3.1. Clasificación de los RSU por su origen**

Con base a (Colomer y Gallardo 2007) los orígenes de los residuos sólidos en una comunidad están en general relacionados con el uso del suelo y localización. Un número variable de clasificaciones puede desarrollarse sobre los orígenes, podemos diferenciarlos en:

**Residuos domésticos y comerciales:** consiste en residuos sólidos orgánicos (comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, goma, madera y residuos de jardín) e inorgánicos (vidrio, cerámica, latas, aluminio, metales féreos) de zonas residenciales y de establecimientos comerciales.

**Residuos institucionales:** son provenientes de centros administrativos, escuelas, cárceles y hospitales, excluyendo residuos sanitarios de hospitales.

**Residuos de construcción y demolición:** estos provienen de la construcción, remodelación y arreglos de viviendas, edificios comerciales y otras estructuras. Estos residuos se componen de suciedad, piedras, hormigón, armaduras, ladrillos, escayola, madera, grava y piezas de electricidad.

**Residuos de los servicios municipales:** derivan de las operaciones de mantenimiento de las instalaciones municipales, barridos de calles, residuos de jardinería, residuos de sumideros, animales muertos y vehículos abandonados.

**Residuos de plantas de tratamiento y otros residuos:** son los residuos sólidos y semisólidos de aguas sucias provenientes de instalaciones de tratamiento de residuos industriales.

**Residuos industriales:** provienen de los desechos de las industrias excluyendo los residuos del proceso y residuos peligrosos.

**Residuos agrícolas:** obtenidos de las actividades relacionadas con la agricultura.

### **2.3.2 Clasificación de los RSU por su composición**

La composición de los RSU depende básicamente de los siguientes factores (Gallardo y Colomer 2014; Zhou et al., 2014; Colomer y Gallardo 2007):

Modo y nivel de vida de la población: el consumo de productos alimenticios hace que aumente el contenido de envases y empaques de todo tipo.

Actividad de la población y características: tipos de consumos que realizan dependiendo de la zona ya sean rurales o núcleos urbanos, áreas residenciales o zonas de servicios.

Climatología general de la zona y estacionalidad: los residuos recogidos en verano presentan un mayor contenido de orgánicos que en invierno.

En general los factores físicos, geográficos, socios culturales, económicos y políticos tienen influencia en la composición de los RSU.

### **2.3.4 Procesos de valorización de residuos**

Los procesos de valorización de residuos son aquellos por medio de los cuales se restaura el valor de un producto que anteriormente se consideraba como material de desecho; estos pueden ser tratamientos biológicos, térmicos y reciclaje.

#### **Tratamientos biológicos**

Se emplean para procesar material orgánico putrescible, así como fracciones de papel y cartón que no son reciclables. Los tratamientos biológicos pueden ser aeróbicos o anaerobios y los dos subproductos que se obtienen son la composta y el biogás respectivamente. Este tipo de tratamiento también puede ser utilizado como pretratamiento para reducir el volumen y estabilizar los residuos antes de ser enviados al confinamiento final. (Bueno et al.,2015 ; Sevigné et al., 2013).

#### **Tratamientos térmicos**

Son utilizados como pre-tratamiento de los residuos previo a su disposición final o pueden ser utilizados como medios de valorización de los residuos. Se incluyen entre este tipo de tratamientos la incineración en masa, pirolisis, gasificación y plasma. Éstos pueden tener distintos objetivos como son la reducción del volumen, la estabilización de los residuos, la esterilización de los residuos o la recuperación de energía; éste último objetivo se

considera un método de valorización. La energía recuperada de la quema de los residuos es utilizada para generar energía eléctrica. (Panepinto et al., 2015; Papageorgiou et al., 2009).

## **Reciclaje**

El proceso de reciclaje se define como la recuperación de materiales de la corriente de residuos para que puedan ser reutilizados. Son y Louati (2016). Este proceso implica una clasificación mecánica que a menudo se encuentra en los centros de recuperación de materiales (Das y Bhattacharyya, 2015).

La ley general para la prevención de la generación de residuos sólidos define el reciclaje como la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.

Las plantas de recuperación de materiales donde se realiza la separación de los diferentes materiales como aluminio, papel, plásticos y otros son considerados procesos de reciclaje.

## **2.4 Residuos sólidos plásticos**

### **2.4.1. Clasificación de los plásticos**

De acuerdo a (OECD 2015; Al-Salem et al., 2010) existen alrededor de 20 grupos de plásticos y cada uno con numerosos subgrupos, sin embargo son cinco los grupos dominantes en términos de volumen de producción. En la tabla 6 se describen los grupos dominantes, sus siglas, código asociado de identificación y algunos de los productos que se elaboran con ellos.

El consumo de plásticos varía de acuerdo al sector industrial, con base a OECD (2015) La Industria de empaque sigue siendo el mayor usuario final para materiales plásticos representando el 37%, seguido por la industria de la construcción con un 21%. Los sectores automotriz y eléctrico/electrónico consumen el 8% y 6% respectivamente del volumen total. La tecnología médica y otros sectores como los hogares y agricultura representan el 28% restante.

**Tabla 6 Grupos dominantes de plástico y aplicaciones**

PLASTICO	SIGLAS	CODIGO	APLICACIONES	USO DESPUES DE RECICLADO
Tereftalato de polietileno	PET	1	Botellas, envasado de productos alimenticios, refuerzos neumáticos de coche.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos.
Polietileno : Baja densidad Alta densidad	PEBD PEAD	2,4	Pead: botellas para productos alimenticios, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes, tuberías. Pebd: film adhesivo, bolsas, tubería para riego, recubrimiento de contenedores.	Pead: bolsas industriales, botellas para detergentes, contenedores y tubos. Pebd: bolsas para residuos, tubos, contenedores, fílmico agrícola.
Cloruro de polivinilo	PVC	3	Marcos de ventana, tubos rígidos, botellas, cables aislantes, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías y contenedores.
Polipropileno	PP	5	Envases para productos alimenticios, cajas, tapones, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas y textiles.
Poliestireno	PS	6	Botellas, vasos de yogures, recubrimientos.	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios de oficina.

Fuente: construcción propia con base a OECD(2015)

#### **2.4.2 Gestión de los residuos sólidos plásticos dentro de los RSU**

Con base a (Rigamonti et al., 2014) los grupos de plásticos mencionados en tabla 8 se encuentran en los confinamientos en diferentes formas de acuerdo a su composición, los más comunes son: PET, HDPE, LDPE. Estos son por lo general los más buscados por la industria y los sistemas de segregación se enfocan en su recuperación. El resto de los plásticos se manejan como plásticos mixtos o en ciertos casos como plásticos no reciclables.

La gestión de los RSP se define teniendo en cuenta la particularidad del material y las prácticas más comunes para su manejo. El plástico a diferencia de otros materiales como el hierro, aluminio y papel es muy heterogéneo y como consecuencia se requiere de ciertos pasos para su clasificación antes de ser reciclado como son:

- Eliminación de las fracciones no plásticas.
- Clasificación por tipo de polímero
- Clasificación por diferentes colores (PET solamente)

De acuerdo a (Welle 2011) el PET se ha convertido en el material de embalaje más favorable en todo el mundo para las bebidas. La razón para este desarrollo es las excelentes propiedades del material, especialmente su característica de resistencia y el muy bajo peso de las botellas en comparación con las botellas de vidrio. Debido a esto se han desarrollado procesos de descontaminación sofisticados, los cuales son llamados procesos de reciclaje súper limpios, que son capaces de descontaminar impurezas a tal grado que en un futuro los materiales reciclados de PET podrán ser utilizados para fines de uso alimenticio.

### **2.4.3. Tecnologías y procesos para la separación de residuos plásticos**

En la industria existen varias formas de separar los residuos plásticos del resto de los materiales que componen los RSU. La forma de separación depende de cómo es recolectado el residuo en la fuente generadora. Para ello la alimentación al sistema de separación puede darse de distintas formas (Rigamonti et al., 2014):

- a) Plásticos (botellas) vienen separadas desde la fuente (con mezcal de colores) pero depositada en contenedores limpios destinados para ello, por lo tanto el material se recibe casi libre de impurezas.

En este caso el proceso mecánico de separación consiste en la instalación de un rayos infra rojos que realizan la función de sortear el producto, separándolo primeramente en Botellas de PET y HDPE, posteriormente divide el PET en color claro, azul y colores mixtos.

- b) Plásticos (botellas) provienen de la fuente revueltos con otros tipos de residuos plásticos con impurezas.

En este proceso se requiere de equipo especial para la segregación como son: máquinas para cortar bolsas y desmenuzar los residuos, equipo separador de plástico fólmico, rayos infra rojos para separar PET y HDPE, imanes para separar el hierro y separadores de corriente especiales para el aluminio presente en el plástico.

- c) Plásticos provienen de la fuente mezclados con metales.

Para este proceso se requiere de separadores de rayos infra rojos, imanes y separadores de corriente.

- d) Recolección selectiva se da en todos los materiales, pero los plásticos son tratados de forma independiente.

Estos residuos son pre tratados en lugares que contienen instalaciones especiales de reciclaje mecánico, cuyo enfoque es la recuperación del plástico de alta calidad a través de procesos mecánicos para posteriormente ser reciclado. La separación mecánica utiliza en primer instancia molinos, posteriormente utiliza mecanismos de separación de residuos orgánicos y al final utiliza tecnología de rayos infra rojos para separar el plástico.

## **2.5 Estación de Transferencia en la gestión de residuos urbanos**

El manejo integral de residuos, generalmente incluye cinco etapas: recolección, transporte, valorización, tratamiento y disposición. Por otro lado, el proceso de gestión incluye un conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación. Estas acciones se enfocan en el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final.

En el campo de la gestión de residuos sólidos, la transferencia es el elemento funcional y se refiere a los medios, instalaciones y accesorios utilizados para efectuar los traslados de residuos desde un lugar a otro. La etapa de transferencia es importante en los sistemas modernos de gestión, principalmente en las grandes ciudades en las que las denominadas estaciones de transferencia de residuos sólidos (ETRS) se operan como un punto intermedio entre la recolección y el tratamiento o disposición final (Washburn, 2012)

### **2.5.1 La función de la Estación de transferencia en el modelo de GRSU**

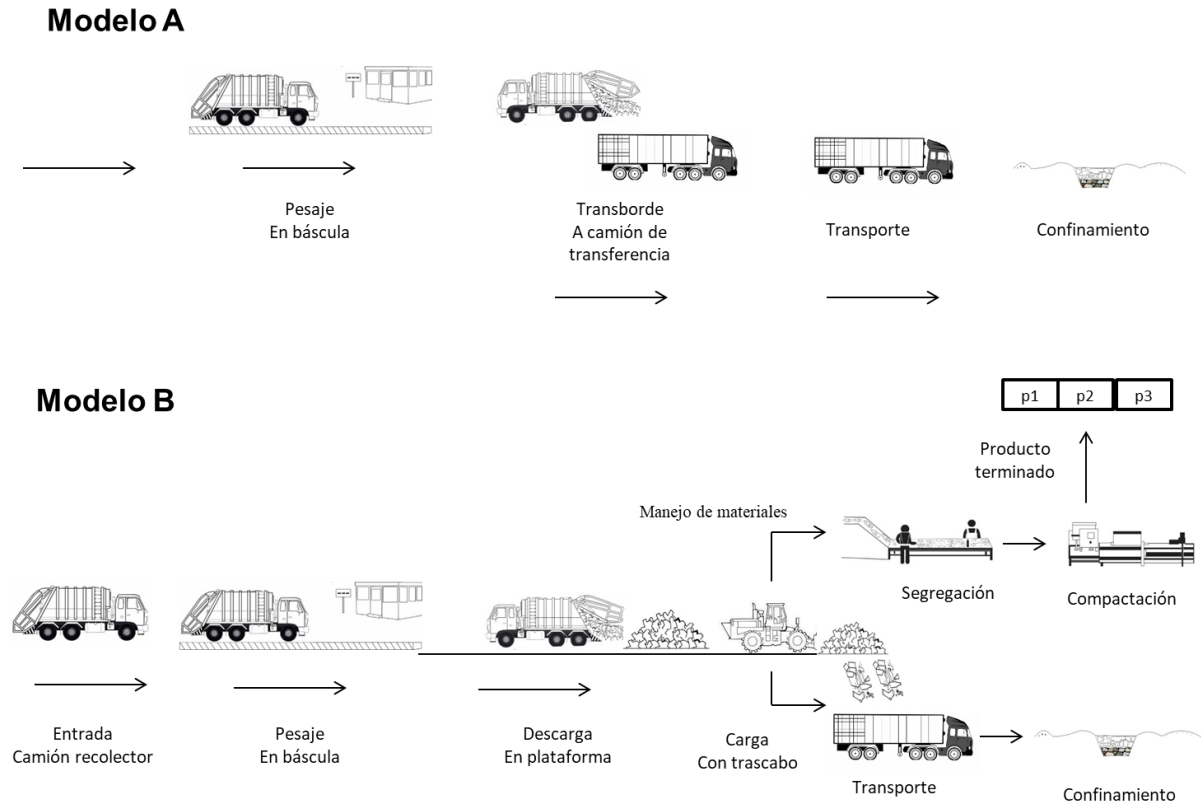
Para recuperar el valor de los residuos se requiere la segregación, es en esta parte del proceso en donde las ETRS juegan un papel muy importante. Una estación de transferencia es una instalación en donde se realizan descargas y almacenamiento de residuos, los cuales posteriormente son transportados a otro lugar para su disposición final o valorización. Es importante destacar que la ETRS no es una instalación propia del modernismo. Sánchez y Estrada (1996) señalan que, en el manejo de residuos sólidos,

esta infraestructura siempre ha acompañado al ser humano en su desarrollo, sin embargo, es hasta finales del siglo pasado que se ha generalizado en las grandes ciudades.

El propósito de ETRS es recibir los residuos sólidos de los vehículos provenientes de la recolección para transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y ser transportados a la planta de tratamiento o al relleno sanitario, optimizando los costos de operación y reducir emisiones al aire. También pueden reducir el número total de viajes en vehículos que viajan hacia el sitio de disposición ayudando a reducir los impactos en el uso de los camiones (EPA 2015; Soltani et al., 2014; Zang et al., 2013; Li et al. 2013).

El tamaño y capacidad de la ETRS depende del tamaño de la zona de servicio, la cantidad generada de RSU y su composición, y los tipos de vehículos utilizados en la recolección y distancias al sitio de disposición (EPA 2015; Zang et al., 2013; Chatzourdis y Komilis 2012). De acuerdo a su tipo de construcción las instalaciones pueden ser Abiertas (Techo sin paredes), Semi cerradas (techo con dos paredes) y completamente cerradas (con puertas de acceso a camiones), (Washburn 2012).

En la figura 3 se presentan los dos modelos básicos del desarrollo de funciones en las unidades de transferencia. En el modelo A se describe el proceso básico de solo transbordar los RSU de camiones pequeños a los más grandes para ser transportados al confinamiento. En el modelo B en las unidades de transferencia se incluyen los procesos de segregación y compactación como valor agregado para posteriormente tratar los residuos.



**Figura 3. Modelos conceptuales de estaciones de transferencia**

**2.5.2 Estaciones de transferencia en México**

En México las estaciones de transferencia forman parte de la GRSU. Sin embargo, de las 32 entidades que lo conforman, solo 23 cuentan con estaciones de transferencia, las que suman un total de 113 (Tabla 7). Aunque en México operan ETRS de los tres modelos descritos, en el 71% de los casos únicamente se efectúa el trasbordo de RSU mientras que, solo en el 29% restante se realizan actividades de segregación y, en algunos casos, de compactación y trituración (INECC, 2012). Es claro entonces que en México la GRSU es un tema que requiere de mayor atención y que la problemática asociada al manejo de la basura sigue sin resolverse, como lo demuestra el reducido número de municipios que cuentan con los beneficios de una ETRS.

**Tabla 7 Estaciones de transferencia en México 2012**

Entidad federativa	Estaciones de transferencia 2010	Solo almacenamiento temporal	Almacenamiento temporal, separación, compactación y trituración	Estaciones de transferencia 2012*
Aguascalientes	3	3	0	4
Baja California	5	5	0	5
Ciudad de México	13	13	0	13
Chiapas	1	0	1	3
Chihuahua	3	3	0	3
Durango	2	2	0	2
Guerrero	0	*	*	1
Hidalgo	0	*	*	2
Jalisco	7	4	3	14
Edo. de México	15	7	8	15
Michoacán de Ocampo	1	0	1	3
Morelos	7	4	3	10
Nuevo León	5	4	1	6
Oaxaca	4	4	0	4
Puebla	7	5	2	8
Querétaro	1	1	0	3
Quintana Roo	2	0	2	1
San Luis Potosí	3	1	2	1
Sonora	3	3	0	3
Tabasco	1	1	0	1
Tamaulipas	0	*	*	1
Veracruz	3	2	1	7
Yucatán	0	*	*	2
<b>Total</b>	86	62	24	113

\* La distribución del tipo de estación de transferencia no está disponible para el año 2012  
Fuente: Modificado de INEGI (2012) y SEMANART (2014).

La figura 4 muestra cómo están distribuidas las estaciones de transferencia por entidad federativa, ubicadas en cinco zonas geográficas ya que en el sector oficial de nuestro país, el tema del manejo de los residuos en nuestro país se maneja por zona (INE, 2007, SEMARNAT, 2010). Como se observa, son cuatro las entidades federativas que tiene el mayor número de ETRS, destacando Estado de México (15 ETRS), Jalisco (14 ETRS), Distrito Federal (13 ETRS) y Morelos (10 ETRS). Para el caso del Distrito Federal las ETRS operan como sitios de

almacenaje temporal y transferencia; sus instalaciones se ubican en un punto intermedio entre las diversas fuentes generadoras de residuos sólidos (casas, negocios, industrias) y las plantas de selección o el sitio de disposición final.



Fuente: Jáuregui, et al. (2016)

#### **Figura 4 Estaciones de transferencia en operación por entidad federativa en México 2012**

El objetivo principal de las ESTR en México es el de incrementar la eficiencia del servicio de recolección en la medida en que los vehículos recolectores reducen los tiempos para la descarga de sus residuos, lo que ocurre cuando en vez de trasladarse hasta las plantas de selección o hasta los sitios de disposición final, los vehículos recurren a la estación de transferencia ubicada en su demarcación. Esta operación permite que dichos vehículos se incorporen nuevamente a sus rutas durante la misma jornada de trabajo. Luego entonces, el sistema de transferencia para residuos sólidos municipales se está volviendo indispensable debido al continuo crecimiento de las ciudades, lo que obliga a la selección de sitios de tratamiento y de disposición final cada vez más alejados de los centros de población. En este sistema, los camiones de transferencia reciben el cargamento de un promedio de cinco a seis vehículos recolectores para, finalmente, transportar

una carga útil aproximada de 20-25 toneladas de residuos hasta los sitios de disposición final o de aprovechamiento.

Con la finalidad de reducir los volúmenes que se envían a los sitios de disposición final, la tendencia en los últimos años ha sido invertir en ETRS con recuperación, o asociadas a plantas de segregación y recuperación. Así mismo, se ha generalizado la participación del sector privado en las etapas del ciclo de los residuos, en la modalidad de concesión. No obstante, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2012 la generación diaria de residuos fue de 99,771 toneladas, de las cuales se valorizaron tan sólo 448 (INEGI, 2015), lo que hace evidente que la instalación de ETRS con recuperación de residuos puede ser una alternativa para elevar el volumen de recuperación.

### **2.5.2 Maquinaria y equipo utilizado para la segregación de RSU en estaciones de transferencia**

El empleo de la maquinaria y equipo es un factor importante para alcanzar altos niveles de eficiencia en relación a la segregación de los RSU. Los equipos que a continuación se describen son mecánicos en combinación con mano de obra calificada para formar un sistema de combinación Hombre-máquina.

Los equipos comúnmente empleados en una unidad de transferencia relacionados con el manejo y segregación de los RSU son generalmente: bandas de segregación, alimentadores de bandas, compactadores horizontales, básculas y retroexcavadoras.

A continuación se describen las características específicas de cada equipo para cumplir con capacidades promedio demandadas en unidades de transferencia.

#### **Compactadoras horizontales**

Las compactadoras horizontales se aplican para el empaque y flejado automático de papel, (cartón, periódico), residuos de plástico (film plástico y cajas, botellas de PET, HDPE), residuos municipales, paja y otros materiales sueltos.

#### **Retroexcavadora**

Este equipo es importante en relación al manejo de materiales (RSU), realiza el Movimiento de toneladas de residuos para carga y arrastre de los mismos.

#### **Bandas de segregación**

Las bandas de segregación trabajan en conjunto con el alimentador, este equipo es el que realiza el transporte de los materiales en línea para que manualmente sean segregados.

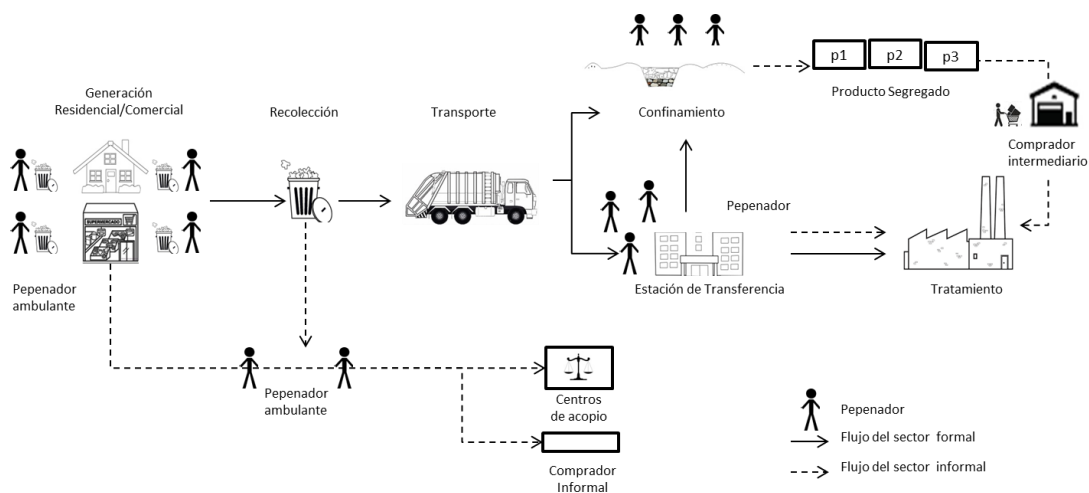
## Basculas

Este equipo es necesario para el control de las entradas y salidas de materiales en las unidades de transferencia. Dos tipos de básculas son requeridas, la primera para pesar vehículos de carga (entradas y salidas) denominadas básculas para camión y la segunda para el peso del producto terminado en forma de pacas denominada báscula de piso,

### 2.5.3 El segregador informal en países en vías de desarrollo

Con base a lo mencionado en párrafos anteriores la integración de la mano de obra en la cadena de recuperación de los RSU es un elemento fundamental. Actualmente en los países en vías de desarrollo la mayoría de los procesos de segregación son manuales y son realizados en rellenos sanitarios o en unidades de transferencia. Estas funciones son realizadas por personas que trabajan de forma independiente y son llamados segregadores informales. Estos son excluidos del mercado de trabajo debido a su falta de preparación o por sus bajas edades y son los que inician el proceso de recuperación de RSU reciclables en las calles (Auler et al., 2013).

En la figura 5 se muestra la participación del pepenador dentro del proceso de GRSU en los países en vías de desarrollo.



**Figura 5 Modelo conceptual de la presencia del pepenador en la GRSU**

Las actividades que realiza el pepenador se desarrollan en tres lugares físicos distintos, el primero es en las calles directamente de los contenedores de basura residencial y comercial, los cuales son transportados por ellos mismos a los centros de acopio (lugar donde se compran materiales reciclables) o a la venta en el mercado informal (tiendas de

segunda o mercados sobre ruedas). El segundo lugar de operación es directamente en los sitios de confinamiento en donde se asocia en grupos y segregan producto para venderlo al sector privado. Y el tercer lugar es en las unidades transferencia en donde los materiales son segregados de forma manual y vendida para su tratamiento.

Con base a lo mencionado nace la inquietud de analizar al pepenador en relación a sus aspectos socioeconómicos, condiciones de trabajo y forma de vida resultando lo siguiente: De forma general en los países en vías de desarrollo el pepenador carece de seguridad social y de salud debido a su condición de trabajo informal (Cervantes et al., 2012).

Los problemas de salud que presentan debido a la actividad que desarrollan atenta directamente a la vida del pepenador presentando problemas en la piel, ojos, sistema respiratorio, estómago, hipertensión, diabetes e infecciones generales. Tal es el caso de Nigeria (Agumwamba, 2003), Brasil (Auler et al., 2013), China (Zhang et al., 2010).

Las condiciones de trabajo son precarias y sin el equipo de trabajo adecuado para realizarlo como mascarillas o guantes, desarrollando la función con las manos desnudas y calzado inadecuado, lo cual genera métodos de trabajo ineficientes tal es el caso de India (Chandramohan et al., 2010), Brasil (Lino y Ismail 2013), China (Chen et al., 2010).

El trabajo del pepenador provee de valiosas entradas de material de reciclaje al sector privado sin embargo debido a su pobre apariencia física como resultado de su labor este recibe el rechazo de la sociedad y son tratados como ladrones y limosneros tal es el caso de Argentina (Perizeau, 2013), Brasil (Lino y Ismail 2013), Ghana (Owusu, 2013), Nigeria (Chidi y Ajaero 2011), e India (Pillai y Shah, 2011).

#### **2.5.4 El segregador informal en México: formas de trabajo y estilo de vida**

La recolección de RSU en los tiraderos de basura (pepena) representa una de las peores formas de trabajo informal en México, de la cual se han realizado investigaciones desde los años sesenta a la fecha (Cervantes et al., 2012) obteniendo las siguientes características generales:

- a) Sobre su procedencia la mayoría son inmigrantes de zonas rurales con edades entre 30 y 60 años.
- b) Se observa la participación de niños en la actividad
- c) Habitan en tiraderos en viviendas marginadas
- d) Se rigen por liderazgos tradicionales y sindicatos.

- e) El nivel educativo predomina la primaria, y es gente con poca experiencia laboral.
- f) Niveles de ingreso precarios, por debajo de los mínimos oficiales.
- g) La familia es el núcleo en el desarrollo de la actividad.
- h) El desarrollo de la pepena provoca enfermedades y en ocasiones mortales.

En caso específico de Mexicali de acuerdo a (Ojeda et al., 2012) los pepenadores son un grupo formado por 382 personas de las cuales 217 pertenecen al sindicato de la CTM y el resto se denominan agentes libres. El 56% de los pepenadores son inmigrantes de otras entidades del país y al igual que en otros estados representan un sector informal dado que no poseen prestaciones que marca la ley y de igual forma las condiciones de trabajo son inadecuadas y propensas a enfermedades respiratorias, gástricas e infecciosas.

## **2.6 Reingeniería aplicada en el manejo de RSU**

La reingeniería de procesos es un análisis y rediseño radical de los procesos en los negocios para lograr mejoras dramáticas en medidas como en costos, calidad, servicio y rapidez. Está destinada a incrementar las capacidades de gestión del nivel operativo, implementación de estrategias y políticas de una organización, con la intención de elevar la eficiencia y productividad a través de interacciones novedosas (Hammer y Champy 2014).

La aplicación de reingeniería en el manejo de los RSU específicamente en los procesos productivos en las estaciones de transferencia es el camino para el logro de un mejor aprovechamiento de los recursos y maximizar la capacidad productiva en la recuperación de residuos. Integrando a la vez la actividad humana en el proceso.

### **2.6.1 Herramientas de estudio del trabajo aplicadas a operaciones de segregación y procesos productivos.**

#### **2.6.1.1 Estudio de tiempos**

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución pre establecida. (Niebel y Freivalds 2006).

La aplicación de la técnica en las estaciones de transferencia para los procesos de pesaje, acopio, segregación, compactación y transportes nos permite conocer las capacidades actuales para cada uno de los procesos y los puntos críticos.



## 7.- Modelo de calificación de la actuación del operador

Se califica al operador en base a su desempeño, para esto se uniformiza el criterio de actuación en base al modelo Westinghouse, ver anexo I.

## 8.- Calculo del estándar.

El tiempo estándar para una operación dada es el tiempo requerido para que un operario de tipo medio, plenamente calificado y adiestrado, y trabajando a un ritmo normal, lleve a cabo la operación, (Niebel y Freivalds 2006). Para obtener el tiempo estándar se aplica la Ecuación 1:

$$Tie = Tn + TO \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Tie = Tiempo estándar

Tn = Tiempo normal

TO = Tolerancias

Para el cálculo de tiempo normal se utiliza la ecuación Ec2:

$$Tn = Tp \times Fc \quad \text{Ec2}$$

Donde:

Tp = Tiempo Promedio

Fc = Factor de calificación

**Tiempo promedio:** Es la suma de las tomas de tiempos obtenidas de una sola actividad dividida entre el número de muestras.

**Factor de Calificación:** Es el % aplicado que determina el nivel de su desempeño durante el muestreo.

**Tolerancias:** Es un % que se suma al tiempo para tomar en cuenta la disminución del ritmo de trabajo producido por la fatiga inherente a todo trabajo así como factores externos, ver anexo II.

Para efectos del estudio en el manejo de RSU en el sitio de transferencia deben seleccionarse trabajadores con más de un año de experiencia en la labor que desempeñan.

Indicadores del estudio.

- a) Cuellos de botella: representan operaciones más lentas de los procesos.
- b) MLT: tiempo total de manufactura que indica el tiempo que tarda una pieza en procesarse desde la primer operación hasta el proceso final.

- c) TC: tiempos de ciclo, indican cada cuanto está el sistema productivo arrojando un producto final.
- d) RP: razón de producción, que indica cuantas piezas puede procesar un operador en su proceso por cada unidad de tiempo.

### 2.6.1.2 Proceso de gestión aplicado a las operaciones de segregación

El SIPOC es una herramienta de gestión que ayuda a resolver problemas específicos que se pueden presentar durante el desarrollo de un proyecto. Es un acrónimo de las palabras en inglés de “Supplier, Input, Process, Output, Customer”. (George et al., 2005).

La aplicación de esta herramienta en el proyecto de reingeniería aplicada al sitio de transferencia nos permite visualizar de inicio a fin todos los procesos implicados en el sistema productivo, sus participantes, secuencias de operación y capacidades utilizadas, ver tabla 8.

**Tabla 8 Diagrama SIPOC**

FLUJO OPERATIVO		PROTAGONISTA						ANALISIS DE PROCESOS		AREA:	
		A	B	C	D	E	F			G	FECHA:
#	Actividad	A	B	C	D	E	F	G	Descripción del cómo	Con qué Herramienta Tecnología	CAPACIDAD
1	Actividad A										
2	Actividad B										
3	Actividad C										
4	Actividad D										
5	Actividad E										
6	Actividad F										
7	Actividad G										
8	Actividad H										
9	Actividad I										
10	Actividad J										

### 2.6.1.3 Procesos críticos y manejo de materiales

En el análisis de los procesos se debe incluir la identificación de aquellas actividades que representen factores críticos que generen efectos negativos en el sistema productivo, ya sea en las operaciones o en el manejo de los materiales.

### 2.6.1.4 Diagrama causa-efecto (aplicado a operaciones críticas)

El diagrama causa – efecto (Ishikawa), es un diagrama causal que representa gráficamente las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso con su respectiva retroalimentación (Kume, 2002), la aplicación de esta herramienta en el proyecto de reingeniería aplicada al sitio de transferencia nos permite visualizar de inicio a fin todas las causas posibles de los problemas críticos que afectan al proceso, ver figura 7.

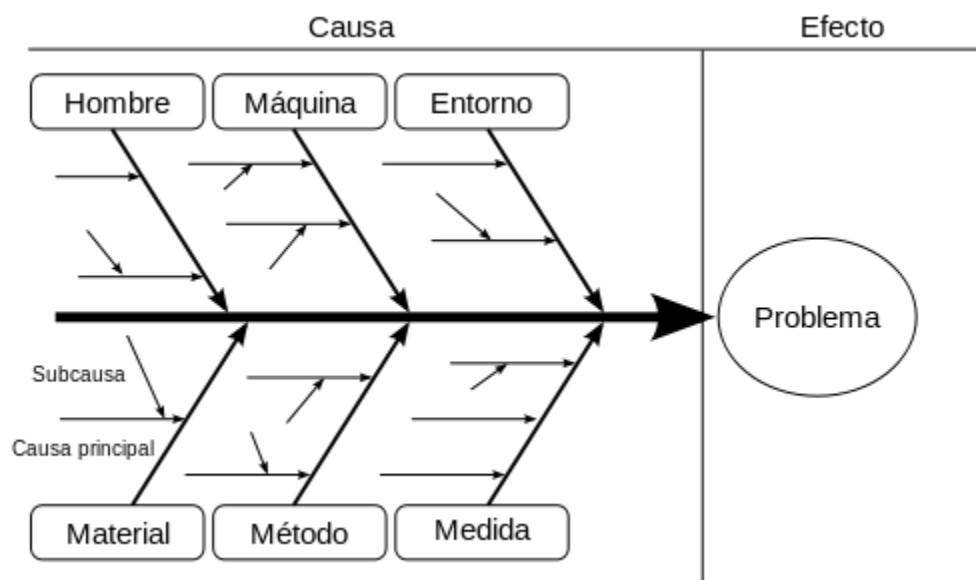


Figura 7 Diagrama Ishikawa

### 2.6.1.5 Diagramas de recorrido (aplicado al proceso de manejo de materiales)

Es un esquema de distribución de planta en un plano bi o tridimensional a escala, que muestra dónde se realizan todas las actividades, procesos, transportes, almacenamientos, demoras, inspecciones y distancias recorridas que se ejecutan en un proceso productivo (Niebel y Freivalds 2006). En este caso se aplica al sitio de transferencia para optimizar el manejo de materiales, ver en figura 8 la simbología empleada en este diagrama.

Significado	Símbolo
Operación	
Inspección	
Actividad combinada	
Transporte	
Almacenamiento	
Demora	

**Figura 8 Simbología del diagrama de recorrido.**

### **2.6.1.6 Análisis costo-beneficio**

La implementación de reingeniería en la estación de transferencia para el incremento de la productividad implica la inversión de tecnología adecuada, refiriéndose con esto a equipos de uso mecánico y manual, los cuales representan un costo a invertir. El análisis costo-beneficio es el indicador que determina la utilidad expresada en porcentaje como beneficio de la inversión después de pagar la tasa de interés exigida en el proyecto y el monto de la inversión inicial. En la medida en la que este indicador es mayor hay más beneficio; por el contrario cuando el resultado del cálculo es un valor negativo se interpreta como el porcentaje de inversión faltante que no genera flujos de efectivo, es decir, es el costo que no se cubre de la inversión (Morales y Morales 2003).

### **2.7 Análisis del ciclo de vida: Una herramienta de evaluación ambiental**

Las herramientas para el análisis del comportamiento ambiental son instrumentos que permiten obtener información para la identificación y/o cuantificación de los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de un producto, proceso o servicio, tales como el consumo de recursos y energía, generación de residuos y emisiones. A partir del análisis de la información obtenida a través de estas herramientas es posible determinar en qué etapa del ciclo de vida de un producto se generan mayores impactos ambientales y de qué tipo. Proporcionando así sugerencias para mejorar el desempeño ambiental (Bartolozzi et

al., 2018). Así mismo para evaluar efectos económicos y ecológicos en sectores específicos de la GRSU (Bartolozzi et al., 2018; Liu et al., 2017).

El ACV es la técnica aceptada actualmente por la comunidad científica para evaluar los impactos medioambientales de un producto, proceso o actividad en todo su ciclo de vida, así mismo permite obtener una descripción del producto o proceso a través de la descripción de procesos unitarios: 1) Extracción y procesos de materias primas. 2) Producción, transporte y distribución. 3) Uso, reutilización y mantenimiento. 4) Reciclado y eliminación del residuo. Una prospección de su evolución y una evaluación cuantitativa de sus impactos (ISO 14040-44, 2006), además de servir como una herramienta con ventajas y bondades como:

- Provee información fiable de las consecuencias medioambientales de un producto en cada una de las etapas del ciclo de vida.
- Identifica etapas medioambientales críticas, oportunidades de mejora de un producto
- Permite descartar deficiencias, fortalezas, comparaciones ambientales cuantitativas entre elementos diferentes.

### **2.7.1 Fases del ACV**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es definido en la norma ISO 14040 como “la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema o producto a través de su ciclo de vida”, entendiéndose ciclo de vida como etapas consecutivas e interrelacionadas desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final”.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un proceso objetivo destinado a evaluar los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando las energías y materiales utilizados, así como las emisiones generadas y los residuos vertidos al ambiente (PEND. REFERENCIA: UNE-EN-ISO 14040-44, 2006).

El ACV sigue cuatro fases principales: definición del objetivo y del alcance del estudio, análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV), Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV), e Interpretación del Ciclo de Vida.

**FASE I: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE:**

Esta etapa incluye las razones para llevar a cabo el estudio, se describen los límites del sistema de estudio y se define la unidad funcional, que es una referencia cuantitativa de las entradas y salidas de un Inventario del Ciclo de Vida (ICV).

El objetivo de un ACV establece la aplicación prevista, las razones del estudio y el público previsto.

En cuanto al alcance, se debe considerar:

- Todas las operaciones que componen el sistema de producto a estudiar o aquellas operaciones que son objeto de interés, es decir, se deben definir los límites del sistema.
- Se debe definir la unidad funcional sobre la cual se realizará el inventario de entradas y salidas al sistema.
- Las categorías de impacto ambiental seleccionadas y la metodología de evaluación de impactos.
- Los procedimientos de asignación para sistemas con múltiples productos de salida.
- Las suposiciones, limitaciones y requisitos iniciales de calidad de los datos.

(Cuéllar, 2016)

#### FASE II: DESARROLLO DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV):

El ICV de un producto o proceso cuantifica las entradas y salidas en todo el límite del sistema. Los datos para cada proceso pueden ser:

- ✓ Entradas de energía, materia prima, entradas auxiliares y otras entradas físicas.
- ✓ Productos, coproductos y residuos.
- ✓ Emisiones al aire, vertimientos al agua y suelo.

Después de la recopilación de datos se requiere de estos procedimientos de cálculo:

- ✓ Validación de los datos.
- ✓ Relación de los datos con los procesos u operaciones unitarias.
- ✓ Relación de los datos con la unidad funcional.

Las actividades del ICV también incluyen la entrega de datos de todas las actividades en el sistema y el cálculo de las cargas ambientales en relación con la unidad funcional.(Cuéllar, 2016)

#### FASE III: EVALUACION DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA (EICV):

El objetivo de la EICV es proporcionar información como base para las conclusiones, las recomendaciones y la toma de decisiones, de acuerdo con el objetivo y el alcance definidos. Evalúa los resultados del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) con respecto a su importancia ambiental. Por ello, el inventario de emisiones se asocia a categorías de impacto de interés definidas en el objetivo y alcance del ACV.

La Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) consta de siete actividades: selección de las categorías de impacto, clasificación, caracterización, normalización, agrupación, ponderación y análisis de calidad de los datos, donde las tres primeras son obligatorias, mientras que el resto son opcionales.

Las diferentes metodologías de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida se pueden agrupar en los siguientes dos grandes conjuntos en función de su objetivo final:

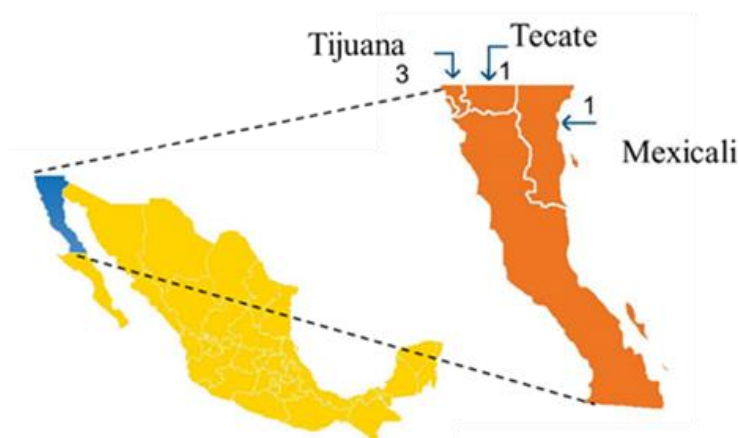
- Metodologías “*midpoints*” o de impactos de efecto intermedio: metodologías que tienen como resultado la definición de un perfil ambiental, mediante la cuantificación del efecto ambiental sobre diversas categorías (acidificación, destrucción capa de ozono, etc.) del producto, proceso o servicio analizado. Estas alcanzan solo la evaluación de los efectos indirectos o intermedios sobre el ser humano.
- Metodologías “*endpoints*” o de impactos de efecto final: metodologías que analizan el efecto último del impacto ambiental, esto es, tratan de identificar y definir el daño causado al hombre y a los sistemas naturales. Las categorías de impacto final son variables que afectan directamente a la sociedad (Cuéllar, 2016)

#### FASE IV: INTERPRETACIÓN:

La Interpretación del Ciclo de Vida es la fase final del procedimiento de ACV, donde se presentan las conclusiones, las recomendaciones y la toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos (Cuéllar, 2016).

### Capítulo 3 Metodología

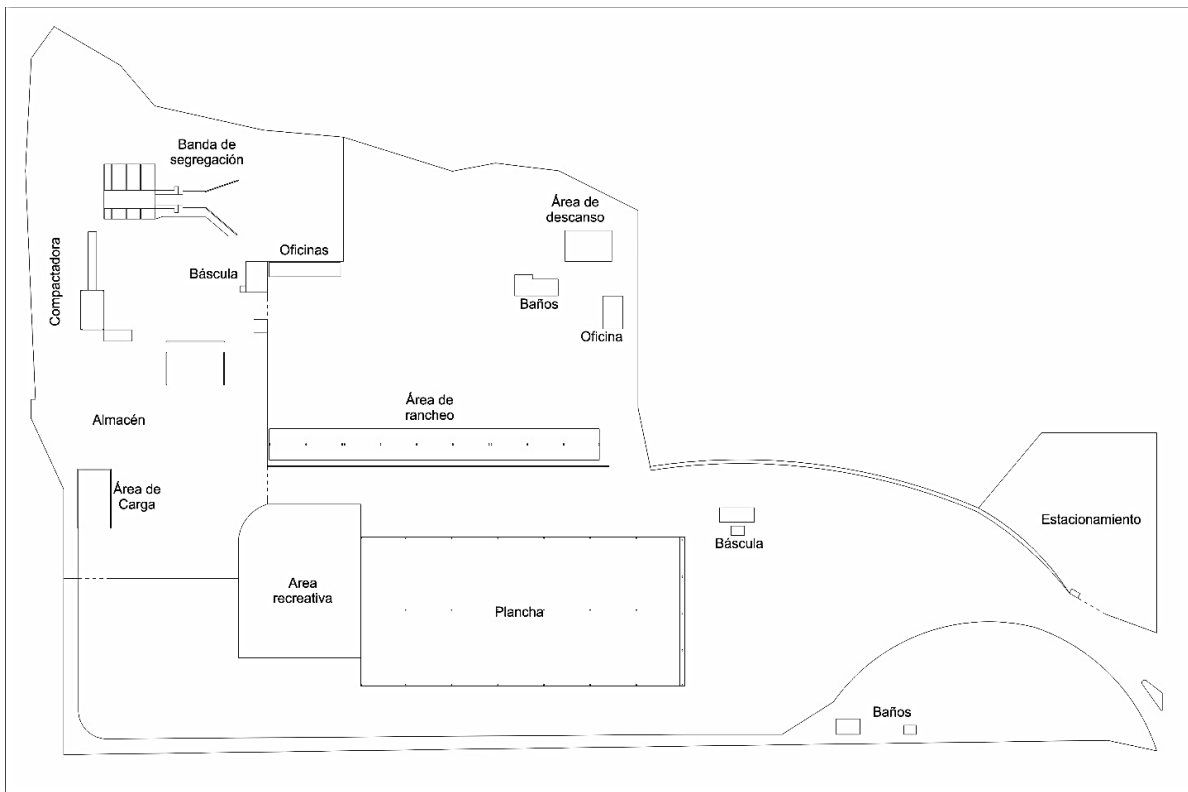
Esta investigación se desarrolló en la ciudad de Mexicali, B.C en la estación de transferencia ubicada en este. En el estado se cuenta con cinco estaciones de transferencia (SEMARNAT 2014), en la figura 9 se presenta su ubicación geográfica; en Mexicali sólo opera una, en Tijuana tres ubicadas en la Presa, zona centro y Valle sur, el otro municipio que tiene una estación de transferencia es Tecate.



**Figura 9 Ubicación de Estaciones de Transferencia en Baja California**

De acuerdo a COPLADEMM (2014), la población total del municipio de Mexicali es de 1,012,099 habitantes y genera un promedio de 567 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU), de acuerdo a datos proporcionados por el departamento del servicio de limpia del municipio, se estima que el 67% corresponden a residuos domiciliarios, 22% a residuos comerciales y el 11% de residuos industriales.

En Mexicali la estación de transferencia opera con recuperación de residuos (ETIR), cuenta con la infraestructura para el trasborde de los residuos al relleno sanitario y para realizar procesos de segregación y compactación. En la figura 10 se presenta la distribución de las áreas que operan en la estación de transferencia.



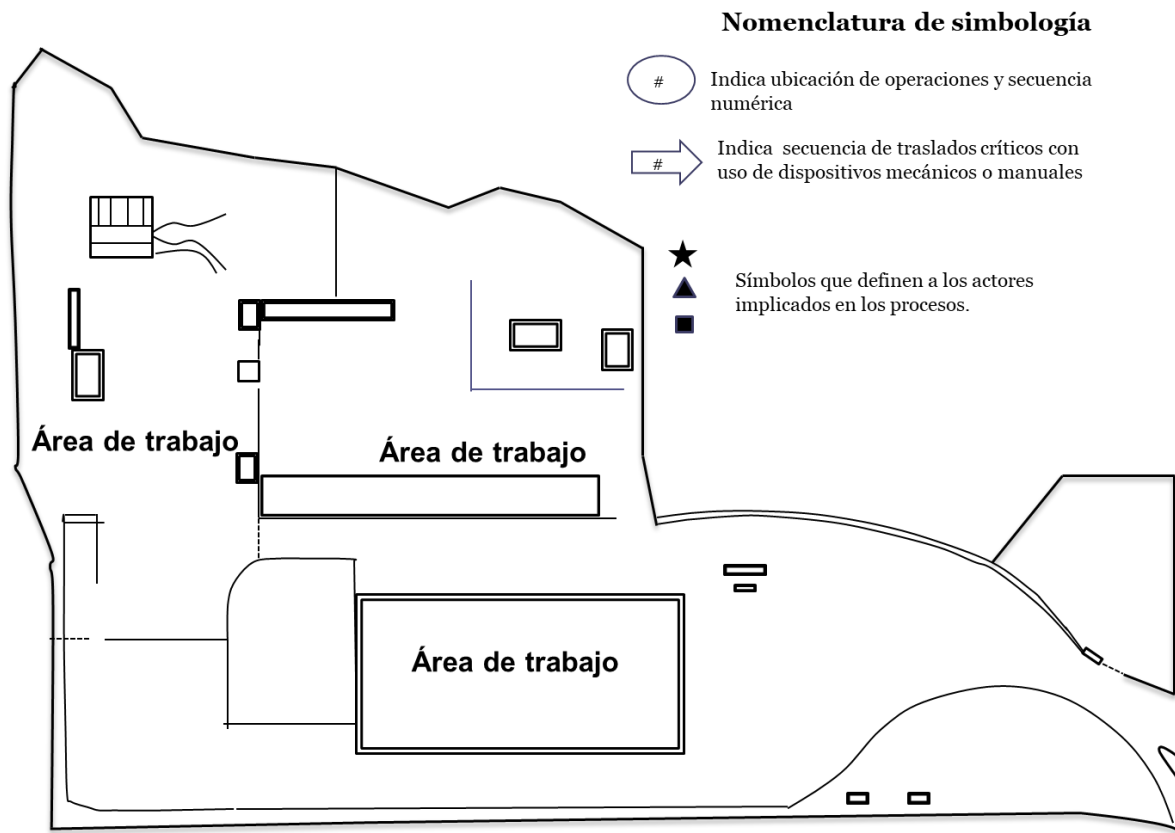
**Figura 10 Distribución de áreas de operación Estación de transferencia Xochimilco**

### 3.1 Procesos y actores en la ETIR

Para analizar la situación actual de la operación de la estación de transferencia (ETIR) se identificaron los procesos que serían analizados para aplicar la reingeniería para efectos de realizar mejoras a los métodos, los actores involucrados y los factores críticos (restricciones) para cada proceso en combinación con el factor humano.

Para definir los límites se observaron los procesos que se realizan en las distintas áreas de la ETIR durante una semana y así se pudo identificar el inicio y fin de los procesos y sus operaciones simultáneas.

Para esto se diseñó el plano vista superior a escala (lay out) en donde deben indicarse todas las operaciones correspondientes al proceso de segregación y los traslados de manejo de material críticos. A su vez deben indicarse en el mismo la ubicación de los actores involucrados en el proceso ver figura 11.



**Figura 11 Secuencia de procesos y definición de actores**

Se identificaron los actores involucrados en los procesos productivos que se realizan en la ETIR, en las áreas de trabajo que involucra actores que pertenecen al sistema formal de la empresa, agentes externos implicados en el proceso, y conocer la intervención de las autoridades municipales.

En esta etapa, los procesos que se analizaron son los referentes a la valorización de residuos (segregación) de mano de obra, maquinaria o equipo y combinación hombre máquina. Con el objetivo de evaluar los métodos actuales con los que se realizan los procesos para proponer mejoras a los mismos tanto en operaciones manuales como mecánicas.

### **3.2 Instrumentos de reingeniería para el diseño de la estación de transferencia**

En esta sección se presentan los métodos, y técnicas que se aplicaron para soportar el diseño de reingeniería de procesos de valorización de residuos en la estación de transferencia con recuperación (ETIR).

### **3.2.1 Cálculo de capacidades del sistema productivo en la ETIR**

Para realizar el proceso de reingeniería se evaluó la capacidad del sistema de segregación y valorización en la ETIR en Mexicali, se realizó un análisis del espacio, del flujo y manejo de materiales para identificar las áreas de oportunidad para mejorar la operación del sistema de valorización de residuos. Para lo cual se aplicaron herramientas de reingeniería como el estudio de tiempos y movimientos, análisis de cargas de trabajo, diagrama causa-efecto (Ishikawa) y análisis de mina.

#### **3.2.1.1 Estudio de tiempos a los procesos productivos**

Parte integral en la reingeniería de procesos es la aplicación del estudio del trabajo a través de la técnica del estudio de tiempos y movimientos. Instrumento que se aplicó a todas las operaciones de la ETIR.

Los estándares de los procesos definieron la base para obtener la capacidad productiva de cada área y determinar en dónde se encuentran localizados los cuellos de botella que detienen la producción.

A su vez se localizaron las áreas en donde se pueden implementar mejoras a los métodos.

El instrumento que se diseñó para definir las operaciones y/o procesos que se realizan y obtener el estándar en tiempo requerido para cada una, se presenta en la figura 12.

El instrumento se organizó en dos secciones, en la primera se presentan datos de identificación del proceso a evaluar, en el que se registra información sobre el 1) Estudio de tiempos: Se registra cuántos estudios de tiempos se han realizado de la operación en evaluación. 2). Área de trabajo: Indica el área definida en donde se realiza el proceso en la ETIR. 3) Nombre de la operación: indicar el nombre de la operación tal y como está definida dentro del área de trabajo. 4) Material y equipo: Se registra una breve descripción del tipo de material (RSU) y equipo que se maneja en la operación. 5) Descripción de la operación: Se registra se realiza la operación, sin detallar los elementos en forma específica. 6) Nombre del operador: se registró el nombre completo del actor a quien se realizó el estudio. 7) Preparado por: se registró el nombre del analista de tiempos quien realiza las lecturas de tiempos. 8) Fecha: registrar fecha y hora en la que se realizaron las lecturas de tiempos.



asignado al tiempo normal para tomar en cuenta la disminución del ritmo de trabajo producido por la fatiga inherente a toda actividad, así como factores externos. Los parámetros de tolerancias se encuentran en la tabla denominada “Márgenes o tolerancias” desarrollada por la oficina internacional del trabajo, Ver anexo II. **Tiempo estándar:** se registró el tiempo estándar en que debe de realizarse cada operación. Los datos requeridos para su cálculo se encuentran registrados en el presente formato y se aplica la ecuación 1. **Razón de producción:** se registró el número de veces que puede realizarse la operación en una unidad de tiempo (1 hora). **Comentarios:** Se registraron los sucesos o factores que ocurren alrededor de la operación que influyen en el desarrollo de la misma de forma negativa.

### **3.2.2.2 Análisis de cargas de trabajo, secuencias y capacidad por proceso**

Para analizar las cargas de trabajo, secuencias y capacidades utilizadas en cada proceso se desarrolló un instrumento que describió cada operación en la ETIR, considerando el enfoque de reingeniería. Los instrumentos que se desarrollaron para esta etapa fueron dos SIPOC uno aplicado a capacidades (Figura 13) y el segundo a factores críticos (figura 14).

En el primero se definió en forma específica para cada área de trabajo al proveedor, insumos, procesos, salidas y al cliente interno, los cuales representan la forma en la que se gestionan los procesos. Este instrumento (SIPOC) fue implementado para describir el proceso productivo desde que inician las actividades hasta que son entregadas al cliente final. Para su elaboración se consideró además de la fecha y responsable la actividad, en el que se indica el flujo operativo, el actor que ejecuta la actividad y el análisis de procesos.



**Figura 13 Diagrama SIPOC aplicado a capacidades**

**Actividad:** Se registran las operaciones desarrolladas en el proceso de forma secuencial. La claridad y definición de la operación es fundamental.

**Actor:** Corresponde al puesto que desempeña cada actor involucrado en el sistema, será el responsable por cada una de las actividades. A su vez indica cuales son las operaciones previas a su actividad y quien es el cliente a quien debe reportar su trabajo.

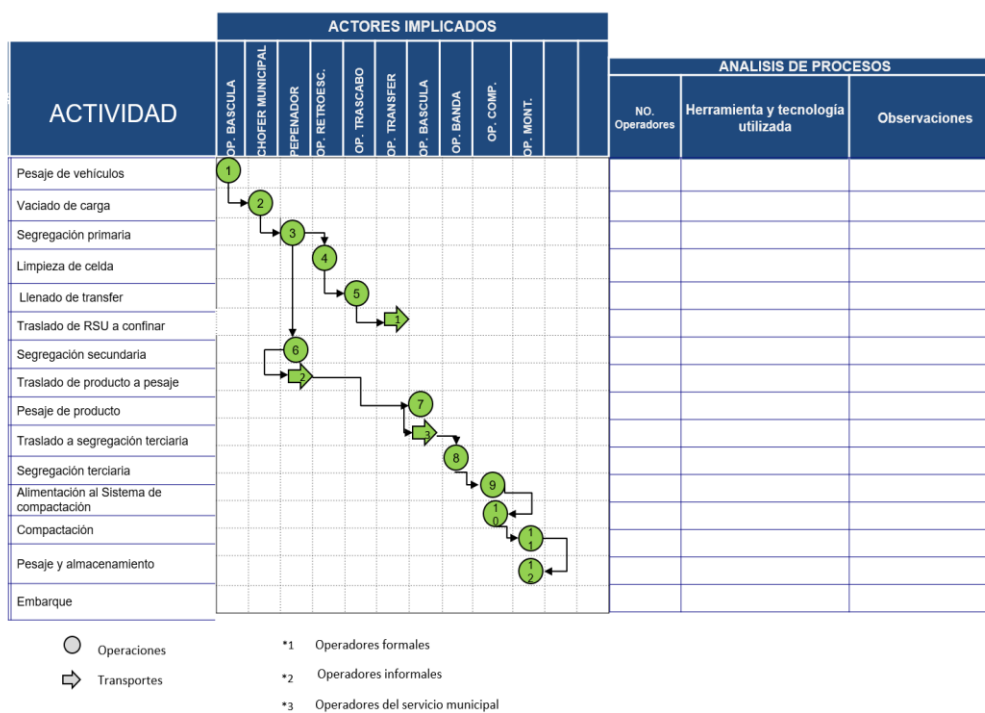
La secuencia operativa de los protagonistas se representa en forma de diagrama y se registran las operaciones que se desarrollan de manera simultánea en las mismas áreas pero fuera de la secuencia cronológica del flujo ver figura 14.

**Análisis de los procesos:** se registró la relación existente entre las distintas operaciones y se definió para cada la capacidad potencia y la utilizada.

- a) **Capacidad potencial:** Se registró la capacidad de producción de cada proceso de acuerdo al estándar establecido en el estudio de tiempos. Esto es, cuanta producción generan por unidad de tiempo.
- b) **Capacidad utilizada:** Se registró la capacidad de producción real de cada proceso, esto es lo que el sistema está generando independientemente que cumpla con el estándar o no.

El segundo SIPOC correspondió a los factores críticos, este instrumento está enfocado al análisis de los procesos ejecutados por los actores haciendo énfasis al número de actores que participan en cada proceso a las herramientas y tecnología utilizada en el mismo. Obteniendo así un análisis para generar observaciones de aquellos factores críticos de las operaciones que requieren atención, esto es detectar áreas de oportunidad para la mejora de los procesos

- a) Número de actores: Implica cuantificar el número de actores que participan en cada proceso
- b) Herramienta y tecnología utilizada: Consiste en describir el tipo de herramienta, maquinaria o equipo con el que se desarrollan los procesos. En caso de no existir herramienta se especifica que es operación manual.
- c) Observaciones: Hacer referencia a todos aquellos factores críticos que representan un área de mejora en los procesos.



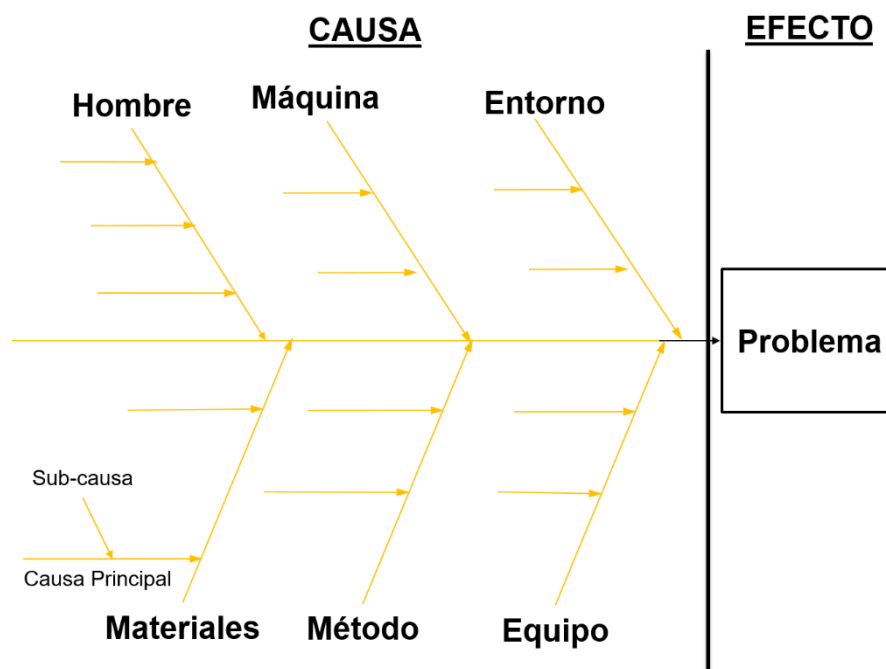
**Figura 14 SIPOC aplicado a factores críticos**

### 3.2.3 Causa-raíz de los factores críticos en los procesos de recuperación ETIR

Para identificar las causas que detonan los factores críticos en los procesos de recuperación de la ETIR, se aplicó el diagrama causa-efecto (Ishikawa), como instrumento

de apoyo para la elaboración de la matriz de gestión de soluciones, también se aplicó el análisis de minas para identificar las áreas específicas donde se encuentran las causas raíz.

El Ishikawa detectó las causas que originan los problemas que se presentan en los procesos, y se enfocó al análisis de: tecnologías de segregación y compactación, el entorno de trabajo que rodea al actor, tipo de materiales (RSU), métodos de segregación, maquinaria y equipo. Ver figura 15.



**Figura 15 Diagrama causa-efecto aplicado a procesos críticos**

El análisis de minas presenta los problemas (efectos detectados por Ishikawa) que presenta la ETIR en cada uno de sus procesos de valorización y asigna a estos mismos las causas raíz que lo originan.

### **3.3 Diseño de la Estación de Transferencia con recuperación de Residuos (ETIR)**

Para definir los escenarios y proponer la reingeniería de la ETIR, fue necesario identificar las áreas y el flujo de materiales en el proceso.

### 3.3.1 Delimitar áreas, trazar flujo de materiales y diseño del diagrama de recorrido

En esta etapa de la metodología se definió la ubicación de las áreas productivas, los espacios requeridos para realizar de manera eficiente los procesos y las distancias que recorre el producto en la ETIR. Esto con el fin de desarrollar una propuesta de diseño de planta en donde la secuencia del recorrido de materiales (RSU) y el aprovechamiento de espacios sea óptimo. El diagrama de recorrido es el instrumento aplicado a través del cual se analizaron los espacios y flujo de materiales. Para ello el diagrama se realizará con el levantamiento de Lay-out (plano vista superior) a escala de todas las áreas productivas dentro de la ETIR incluyendo máquinas, instalaciones y oficinas (figura 16).

**Almacenamiento:** Se ubicará el espacio del inventario inicial, materiales en proceso (WIP) y producto final.

**Transportes:** se indicará la secuencia y el proceso de transformación de los productos (RSU) desde el arribo (pesaje de vehículo) hasta su almacenamiento de producto final.

**Demoras:** se registrarán las áreas que generan almacenamientos temporales e interrumpen el flujo del proceso y no agregan valor a la actividad de segregación.

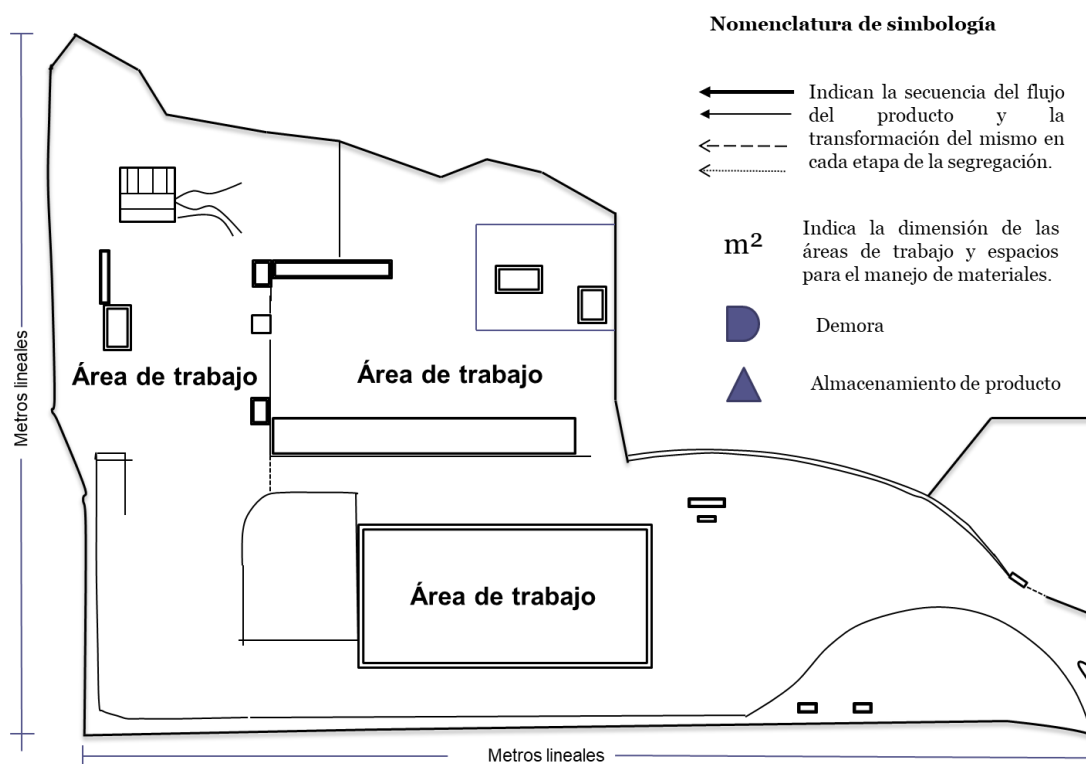


Figura 16 Diagrama de recorrido de proceso

### **3.4 Escenarios para la valorización de RSU en la ETIR**

El proceso de reingeniería implica evaluar los impactos ambientales asociados a la implementación de los cambios, por para proponer un modelo de recuperación de residuos en la ETIR se proponen tres escenarios para valorizar los residuos y evaluar los impactos de cada escenario. El primero es escenario base ( $E_0$ ), este muestra los procesos tal como se están desarrollando actualmente; el segundo, es el escenario de recuperación ( $E_1$ ) en donde se establece la primer etapa de cambios en los métodos de valorización y el último escenario es el de reciclaje ( $E_2$ ) en donde se propone un modelo de máxima recuperación.

#### **3.4.1 Escenario Base ( $E_0$ )**

Este escenario presenta los procesos y métodos que se desarrollan actualmente, con los equipos mecánicos y actores tanto formales como informales que realizan actividades de recuperación. Este escenario proporciona las bases para el cálculo de capacidades en los procesos productivos, métodos de trabajo de los actores y análisis en el manejo de materiales.

#### **3.4.2 Escenario ( $E_1$ )**

En este escenario la recolección de residuos que ingresan a la ETIR es de tipo mixta. Se propone incorporar a los procesos de segregación y valorización de residuos, equipos mecánicos y a los actores informales al modelo propuesto para incrementar la recuperación de residuos.

#### **3.4.3 Escenario ( $E_2$ )**

En este escenario se propone el uso de equipos mecánicos en la etapa de segregación ya que la recolección será selectiva eliminando la segregación manual.

### **3.5 Análisis costo-beneficio**

La implementación de reingeniería en la ETIR para el incremento de la productividad implica la inversión de tecnología adecuada, entre ellos equipos de uso mecánico, manual e infraestructura, los cuales representan un costo de inversión en los procesos. El análisis costo-beneficio mostró el margen de utilidad y el tiempo de recuperación de la inversión. Con base a este resultado se determinó la viabilidad de implementar el nuevo sistema propuesto de recuperación de residuos sólidos en la ETIR.

### **3.5.1 Inversión requerida en sistemas de recuperación**

Para diseñar y presupuestar el nuevo sistema de segregación, de compactación y de recuperación se incluyeron los siguientes equipos.

#### **1. Sistema de segregación**

- 1) Bandas transportadoras de producto (RSU) con dimensiones adecuadas al volumen de segregación por hora.
- 2) Plataformas de trabajo, adecuadas al método propuesto incluyendo la interacción con los actores y bandas transportadoras.
- 3) Diseño del sistema de alimentación de (RSU) al proceso de segregación.
- 4) Selección de maquinaria y equipo para el manejo de materiales

#### **2. Sistema de compactación**

- 1) Selección de compactadores horizontales con capacidades requeridas.
- 2) Diseño de plataformas de trabajo de operación para los actores.
- 3) Selección de sistemas de alimentación para la compactación.
- 4) Selección de maquinaria para el manejo de materiales.
- 5) Selección de básculas de pesaje.

#### **3. Infraestructura e instalaciones del sistema de recuperación.**

- 1) Pavimentación (asfalto).
- 2) Fosas de vaciado de RSU
- 3) Áreas de carga y descarga de producto
- 4) Techumbres de trabajo.
- 5) Instalaciones eléctricas.
- 6) Áreas recreativas y verdes.

### **3.5.2 Ingresos y egresos del sistema de recuperación**

Para definir el ingreso se determinó el volumen de venta de cada producto (plásticos, cartón, papel y metales) y precio de venta en el mercado, el cual indicó la facturación mensual del sistema de recuperación.

Para establecer los egresos mensuales se identificaron los costos de la materia prima, de mano de obra, costos fijos y operativos.

- 1) Costo de materia prima: precio que paga al pepenador por la compra de material.
- 2) Costo de mano de obra: salarios de empleados de la ETIR (directos e indirectos).
- 3) Costos fijos: luz, agua, teléfono, renta.
- 4) Costo operativo: gasolina, diésel, aceites, mantenimiento de equipo

### **3.6 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)**

El ACV es la herramienta que se aplicó para evaluar el impacto ambiental de los procesos que se proponen para cada escenario en la valorización de residuos en la ETIR.

#### **3.6.1 Etapa I: Definición de objetivos y alcance**

El objetivo de este estudio fue aplicar herramientas de reingeniería para proponer alternativas de operación en la estación de transferencia en Mexicali Baja California con el propósito de maximizar el porcentaje de valorización de RSU y reducir el volumen de estos que se mandan a confinamiento y describir las propiedades ambientales del ciclo de vida de cada escenario propuesto. Para aplicar la metodología a este caso de estudio se tomó como base el escenario actual  $E_0$  considerando las etapas de valorización de residuos incluyó los procesos manuales y mecánicos que se desarrollan actualmente. Posteriormente se determinó la unidad funcional (UF) son el manejo de 20,200 toneladas de residuos que ingresan a la ETIR.

Los procesos implicados en cada escenario se presentan en la tabla 9.

- a) Recolección de RSU. El sistema actual de recolección de residuos se realiza de forma no selectiva. Los camiones recolectores pasan a las residencias y comercios recibiendo los residuos en forma mixta. Se proponen escenarios en donde se usa el sistema de entrada de residuos A) mixto y B) mixto y segregado.

b) Segregación. Para valorizar los residuos con base a composición y características estos pasan por tres fases de segregación las cuales funcionan como filtro para obtener un producto final.

[1] Segregación primaria: En este proceso de segregación se contemplan dos formas de realizarlo A) manual, realizado por el sector informal y B) con el uso de equipos mecánicos.

[2] Segregación secundaria manual: Este proceso contempla un segundo filtro de separación el cual se realiza de forma manual realizado por el sector informal.

[3] Segregación selectiva mecánica: Proceso en donde se realiza la segregación final de los productos que cumplen con los requerimientos de la ETIR. El uso de equipos mecánicos como bandas transportadoras y compactadores son requeridos.

c) Traslado de RSU a confinamiento: Se contemplan dos formas de transportar los RSU no recuperados a confinamiento: a) sin compactar y b) compactado, el cual incrementa la eficiencia en transporte.

d) Tratamiento: Proceso realizado fuera de las instalaciones de le ETIR por empresas que cuentan con la tecnología adecuada para complementar el proceso de valorización de los residuos de acuerdo a su composición. El tratamiento considerado en el estudio es el reciclaje.

e) Confinamiento: Para la disposición final se consideró para todos los escenarios el confinamiento sin recuperación de energía. Esto debido a que en el área de estudio (Mexicali B.C.) por ahora no considera la recuperación de energía como una opción de tratamiento en el sitio de confinamiento, además de no contar con las instalaciones adecuadas para estos fines.

**Tabla 9 Procesos en la valorización por escenario**

Escenario	Recolección		Segregación				Traslado de RSU		Tratamiento	Confinamiento
	Mixta	Segregada	Primaria		Secundaria Manual	Selectiva Mecánica	No compactado	Compactado	Reciclaje	
			Manual	Mecánica						
E0	X		X		X	X	X		X	X
E1	X			X		X		X	X	X
E2	X	X				X		X	X	X

### 3.6.2. Etapa II: Inventario de ciclo de vida (ICV)

Para obtener los datos del ICV se caracterizaron los residuos que ingresan a la ETIR para conocer la composición para ello se aplicó el método del cuarteo, según la norma NMX-

AA-15, la muestra se obtuvo de acuerdo a la norma NMX-AA-22. Posteriormente se determinó el peso volumétrico de los residuos caracterizados como lo marca la norma NMX-AA-19.

Los datos de entrada para analizar los procesos que integran el sistema de valorización de la ETIR se obtuvieron del registro del consumo de energía eléctrica de los equipos mecánicos e instalaciones eléctricas de iluminación, se calcularon en kw/hora de consumo por mes. También se calculó el consumo de gas, diésel de equipos y vehículos de transporte. Identificados los procesos para la valorización de los residuos se aplicaron los siguientes criterios en la definición de inventarios.

- a) Para definir el consumo de los equipos eléctricos y mecánicos se consideraron especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.
- b) Para definir la cantidad de equipos que se requiere en cada escenario se hizo tomando como base el estudio de capacidades realizado en la ETIR.
- c) El residuo valorizable para este caso se asume como producto terminado cuando llega al área de embarque en la ETIR, no en el lugar de tratamiento.
- d) Se incluyeron los residuos no recuperados puestos en el sitio de confinamiento.
- e) La eficiencia de reciclaje se estableció 1:1 de los residuos valorizados
- f) Se tomó información de la base de datos Ecoinvent (2008), previa adaptación a este caso de estudio (aportación energética por tecnologías, distancias y medios de transporte).

Para el desarrollo de los escenarios se consideraron las siguientes etapas asumiendo las consideraciones que se presentan.

**Entrada.** En los tres escenarios el proceso de entrada es factor común en relación al tiempo de operación y se considera el consumo de energía eléctrica generado por la báscula de troque y las luminarias de la caseta de entrada.

**Segregación primaria** El escenario  $E_0$  considera como dato de entrada el consumo eléctrico únicamente de las luminarias. El escenario  $E_1$  considera el consumo eléctrico de luminarias y bandas segregadoras. La segregación primaria no aplica en el escenario  $E_2$ .

**Segregación secundaria.** El escenario  $E_0$  es el único en donde aplica la segregación secundaria y se considera dato de entrada el consumo eléctrico generado por las luminarias.

**Segregación selectiva.** Este proceso es factor común en los tres escenarios, solo varía en la cantidad de equipos a utilizar. Los datos de entrada son: a) el consumo eléctrico que generan las bandas segregadoras, alimentadores, básculas de piso y compactadores b) el gas consumido por los montacargas.

**Transporte.** Este proceso aplica a los tres escenarios y los datos de entrada son el consumo de diésel de los camiones de transferencia al enviar los residuos no valorizados a confinar en un viaje redondo de 50 km. La variante entre escenarios es el número de viajes que se realizan. Otro dato de entrada es el consumo de diésel generado por la retroexcavadora y trascabo utilizados en el trasborde de residuos al transfer y utilizados en la limpieza de celda. En la tabla 10, se presenta la estructura de la información que se requirió para el levantamiento del inventario de ETIR.

**Tabla 10 Registro de inventario de consumo**

Unidad				E <sub>0</sub>			E <sub>1</sub>			E <sub>2</sub>		
PROCESO	EQUIPO	kwh mes	lt/mes	CANTIDAD	kwh mes	lt/mes	CANTIDAD	kwh mes	lt/mes	CANTIDAD	kwh mes	lt/mes
1	1	.										
	....											
	n											
....	1											
	...											
	n											
n	1											
	...											
	n											

El inventario de consumibles para cada escenario se determinó con base al consumo que requiere cada equipo y horas al mes en que estos se encuentran en operación, de acuerdo a la capacidad de producción de cada escenario (tabla 11).

**Tabla 11** Horas de operación de los equipos por escenario

PROCESO	EQUIPO	Consumo kwh	Consumo Lt/hr	Horas de uso / mes		
				E <sub>0</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
1	1					
	... N					
.....	1					
	... N					
n	1					
	... 2					

### 3.6.3 Etapa III: Evaluación de impacto ambiental (EIA)

Los escenarios propuestos se evaluaron en cinco categorías, acidificación, eutrofización, calentamiento global, reducción de capa de ozono y oxidación fotoquímica, para cuantificar las cargas ambientales generadas en los procesos de recuperación de residuos en la ETIR. Esta evaluación es un proceso técnico que consiste en caracterizar y evaluar los efectos que causan al ecosistema los contaminantes descritos en la etapa del inventario.

**Acidificación:** Es el proceso de introducción de sustancias ácidas en el medio ambiente provocado por las emisiones a la atmósfera de óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes principalmente de la quema de combustible fósiles. Tras reaccionar con el vapor de agua presente en el aire, estos óxidos se convierten en compuestos ácidos que la lluvia precipita sobre la superficie terrestre. Su unidad es en KG SO<sub>2</sub> eq.

**Eutrofización:** La eutrofización es el proceso de acumulación de nutrientes en las aguas con el consiguiente crecimiento masivo de organismos, fundamentalmente algas, y la disminución de la concentración de oxígeno. Su unidad es KG PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> eq.

Consiste en la presencia excesiva de materia orgánica en el agua provocando un crecimiento rápido de algas y plantas verdes que recubren la superficie del agua e impiden el paso de la luz solar a las capas inferiores. Por otra parte la descomposición de la biomasa generada consume oxígeno empobreciendo el medio de este elemento vital. Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos.

**Calentamiento global** : El calentamiento global es el proceso de aumento gradual de la temperatura de la Tierra a consecuencia del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, incremento provocado por los procesos de combustión con fines energéticos de carburantes fósiles y por la deforestación, la unidad de medida es en Kg CO<sup>2</sup> eq.

**Disminución de la capa de ozono:** El sistema térmico basado en el petróleo es el principal responsable, entre las tecnologías de generación de electricidad, de la disminución de la capa de ozono a causa de sus emisiones de halones y clorofluorocarbonos (CFC), dos sustancias usadas como retardadores de llama y aditivos del combustible. Es causada por la emisión de diversos tipos de gases que favorecen la desaparición del ozono que se encuentra en la estratósfera, las unidades en las que se expresan son KgCFC<sup>-11</sup> eq.

**Oxidación fotoquímica:** Originado por la emisión de compuestos tales como los óxidos de nitrógeno (NOX) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), que provocan la generación de ozono de forma fotoquímica en la tropósfera. El ozono es un compuesto oxidante y tóxico que puede provocar problemas respiratorios en el ser humano. Lo genera la quema de basura. Kg C<sub>2</sub> H<sub>4</sub> eq

## Capítulo 4 Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de reingeniería en los procesos de la ETIR. Los resultados se presentan en seis apartados, en el primero se analizan los resultados de la participación de los actores y los procesos de valorización de residuos, en la segunda, se incluyen los resultados del análisis de capacidades de la ETIR, en la tercera se presentan los factores críticos en los procesos de recuperación, en la cuarta, se incluye el análisis de los escenarios propuestos para la operación de la ETIR, en la quinta sección se presentan los resultados de los costos de operación y beneficios para la operación de los escenarios propuestos. En la última sección se presentan los resultados de la aplicación del ACV al caso de estudio.

### 4.1 Actores y Procesos de recuperación de RSU en la ETIR

Los procesos de la ETIR son desarrollados a través de operaciones manuales y combinación hombre máquina. Estos fueron identificados en orden secuencial como se desarrolla el sistema productivo actual, observando los métodos de trabajo realizado por los actores ver figura 17.

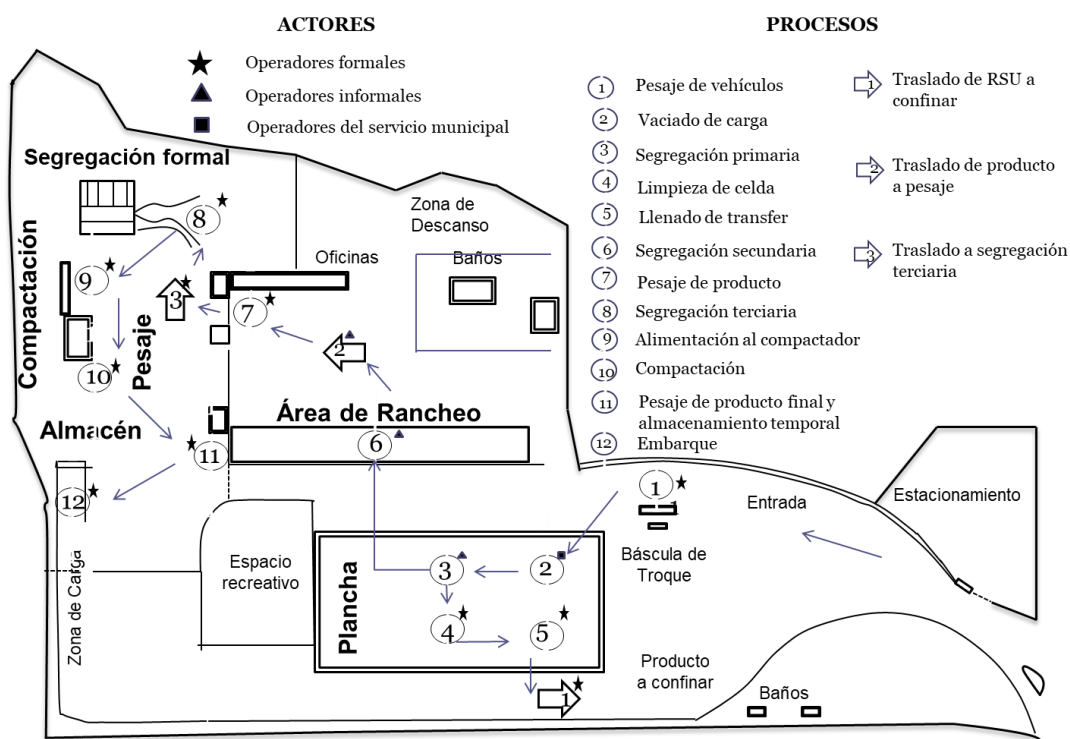


Figura 17 Ubicación de procesos de recuperación y actores implicados.

#### 4.1.1 Procesos de segregación y valorización de residuos en ETIR

Se identificaron 15 procesos de los cuales, 12 corresponden a operaciones de valorización y tres a transporte de materiales.

##### 4.1.1.1 Operaciones de valorización.

1. **Pesaje de vehículos (P1):** el ingreso de los vehículos recolectores a la ETIR es registrado y pesado, la báscula de troque es utilizada en este proceso.

La entrada de vehículos a la ETIR es continua con intervalos de tiempo entre cada vehículo, no se observan problemas en el desarrollo de las actividades y no se presenta acumulamiento de vehículos.

2. **Vaciado de carga (P2):** Este proceso consiste en el vertido de los residuos sobre la plancha de concreto los cuales quedan distribuidos en forma lineal y una altura máxima de 1.5 mts.

La operación la realiza utilizando el sistema de compactación integrado en el camión. No se observan problemas en relación al flujo de vaciado, los espacios de tiempo entre arribo de camiones permite realizar la operación sin acumulamiento de vehículos.

3. **Segregación primaria (P3):** consiste en la segregación de los residuos con potencial de valorización para la empresa los cuales son: cartón, PET cristalino, HDPE blanco, PCM (plásticos de color mixto: PET y HDPE de color) y RAEE (residuos eléctrico electrónicos).

Este proceso se realiza de forma manual utilizando herramienta (utensilios) como son: ganchos, palos y super sacos. El tiempo de recolección de residuos promedia en 20 minutos, posteriormente debe procederse al limpiado de celda retirando el producto del área y dar espacio a nuevos arribos.

4. **Limpieza de celda (P4):** Los residuos que no son segregados deben dar espacio al arribo de nuevos residuos, por lo cual las celdas se limpian despejando las áreas.

Esta actividad se realiza utilizando retroescavadoras. Este proceso es constante y los residuos retirados siguen la ruta de productos a confinar.

5. **Llenado de transfer (P5):** Los residuos no segregados retirados de la plancha son definidos como residuos de paso, y son transbordados a un vehículo de carga para su transporte.

El vehículo es un camión de transferencia con capacidad de carga de 15 toneladas en promedio. La maquinaria utilizada para la carga del camión es un trascabo.

6. **Segregación secundaria (P6):** Esta se realiza en el área de rancheo y consiste en segregar por segunda vez los residuos provenientes de la segregación primaria con el fin de obtener un mejor producto de acuerdo a su clasificación.

La herramienta utilizada son machetes, martillos y desarmadores. Esto debido al desensamble de ciertos productos para separar los materiales de interés.

7. **Pesaje de producto (P7):** La operación consiste en pesar el producto proveniente de la segregación secundaria. Observaciones: se utilizan básculas de piso con capacidad 1000 kg, el producto debe estar contenido en supersacos y clasificado.

8. **Segregación terciaria (P8):** Este proceso implica la separación de los residuos plásticos de acuerdo a su clasificación y color, los cuales son denominados productos finales.

Este proceso genera residuos sobrantes como resultado de esta tercer segregación (productos que no cumplen con especificaciones de limpieza requeridos por la empresa) los cuales se mezclan en el camión de transferencia junto con los residuos de paso para ser enviados a confinamiento.

9. **Alimentación al compactador (P9):** Consiste en alimentar el sistema a través de un alimentador mecánico de paletas que sube el producto del nivel del piso al compactador. Este proceso se realiza haciendo uso de retroexcavadora y herramientas manuales de empuje como son cepillos para barrer.

10. **Compactación (P10):** Los productos terciarios pasan a ser comprimidos utilizando equipo de compactación horizontal.

Se generan pacas de producto final clasificado con peso promedio de 500 kg.

11. **Pesaje de producto final y almacenamiento (P11):** El producto final (compactado) es pesado y posteriormente es transportado al almacén de producto final debidamente categorizado.

Para este proceso se utiliza montacargas y báscula de piso.

12. **Embarque (P11):** Proceso final de la ETIR en donde el producto de almacén se carga a vehículos de transporte para ser entregado al cliente final.

Los vehículos pueden ser plataformas o camiones con caja cerrada.

#### **4.1.1.2 Transporte de materiales**

1. **Traslado de RSU a confinar (T1):** los residuos de paso son transportados al sitio de confinamiento.

El traslado a confinamiento es un viaje de 50 km redondo y se observa que es insuficiente el servicio de transporte a confinamiento lo que origina el acumulamiento de residuos en el área de plancha.

2. **Traslado de producto a pesaje (T2):** El producto es depositado en supersacos y transportado al área de pesaje.

El proceso se realiza en forma manual utilizando dispositivos como son carretillas, diablitos o en ciertos casos cargándolos sobre la espalda.

3. **Traslado a segregación terciaria (T3):** Consiste en transportar los supersacos desde la báscula de piso hasta al área de segregación formal.

Los supersacos son arrastrados en forma manual hasta el espacio designado en espera al siguiente proceso.

#### **4.1.2 Actores involucrados**

Los actores involucrados en los procesos productivos de la ETIR se clasificaron en tres grupos: Operadores informales (pepenadores), Operadores formales (empleados de la ETIR), Operadores del servicio municipal (choferes).

##### **4.1.2.1 Operadores informales (pepenadores):**

Personal que realiza las operaciones de segregación primaria; son trabajadores del sector informal (no pertenecen a la nómina de la ETIR) y en número representan la mayoría dentro del proceso, el interés principal fue analizar sus métodos de trabajo y su capacidad productiva.

##### **4.1.2.2 Operadores formales (Empleados de la ETIR):**

Representan al personal formal contratado por la empresa para realizar operaciones de limpieza de celda, pesaje de producto, segregación secundaria y compactación. Los métodos de trabajo y capacidad productiva es el tema de interés en estos actores.

##### **4.1.2.3 Operadores del servicio municipal (Choferes):**

Realizan la recolección de los RSU en la ciudad para ser depositados en la ETIR, y son empleados formales del municipio. El patrón de arribo al proceso y método de descarga representan las operaciones de interés que fueron analizadas para estos actores.

## 4.2 Aplicación de instrumentos de reingeniería para el diseño de la estación de transferencia

El proceso de reingeniería consistió en hacer un cálculo de la capacidad productiva de las operaciones actuales de la ETIR, así mismo se definieron los espacios de sus áreas de trabajo y el flujo de los materiales en donde estos residuos son transformados.

### 4.2.1 Procesos productivos en ETIR

Los tiempos estándares relacionados con los procesos de segregación de los RSU se presentan en la tabla 12, se muestran los tiempos estándares de las operaciones y de cada uno de los productos que se segregan de acuerdo a su composición. Estos tiempos representan la base para el cálculo de capacidades en mano de obra y maquinaria en el diseño de nuevos métodos.

**Tabla 12 Tiempo estándar de las operaciones de la ETIR**

ACTIVIDAD	TPO. NORMAL	% FC	% TOL.	ESTANDAR
Pesaje de vehículo	1.23 min	100	10	1.35 min. X vehículo
Vaciado de vehículo	4.33 min.	100	10	4.7 min x vehículo
Recolección plástico	28.47 min.	85	10	31.3 min. X 18.6 kg
Recolección de cartón	36.36 min.	90	10	39.96 min. X 38 kg
Limpieza de celda	11.52 min.	100	10	12.67 min. X celda
Llenado de transfer	13.58 min.	100	15	15.61 min. X transfer
Transporte a relleno	75 min.	100	5	75 min. X viaje
Traslado a báscula	.79 min.	100	20	120 sacos x hora
Pesaje de plástico	33.87 seg.	100	20	40.64 seg. X 44.8 kg
Pesaje de cartón	19.42 seg.	100	20	23.30 seg. X 59 kg
Pesaje de fleje	21 seg.	100	20	25.20 seg. X 22 kg
Traslado a inventario (wip)	0.79	100	20	120 sacos x hora
Segregación secundaria del galón	2.53 min.	95	20	3.03 min x 9 kg
Segregación HDPE color	3.16 min.	95	20	3.79 min. X 10.3 kg
Segregación PET cristalino	2.12	95	20	2.54 min. X 8.6 kg
Segregación PET color	1 min.	95	20	1 min x 7 kg
Compactar PET cristalino	8.6 min.	100	20	10.32 min. X paca
Compactar PET de color	6.5 min.	100	20	7.8 min. X paca
Compactar cartón	10.54 min.	100	10	11.59 min. X paca
Set up en área de compactación	16.9 min.	100	15	19.45 min.
Compactar fleje	16.9 min.	100	10	18.59 min. X paca
Pesaje de paca	1.50 min.	100	10	1.65 min. X paca
Traslado a almacén	.625 min.	100	10	.687 min x paca
Embarque	58 min.	100	10	1.37 cargas x hora

## 4.2.2 Análisis de carga de trabajo, secuencias y capacidad utilizada en los procesos

Se aplicó el SIPOC para analizar las cargas de trabajo, secuencias de las operaciones y determinar el potencial que tienen los procesos de acuerdo a su capacidad instalada

### 4.2.2.1 Capacidades de procesos y actores en la ETIR

En la figura 18 se presentan los resultados del estudio de capacidades, se observa que existen procesos con exceso de capacidad y otros que se encuentran saturados. Por lo cual se determina que el sistema no se encuentra balanceado en especial en los procesos de llenado de transfer, pesaje de producto y compactación.

FLUJO OPERATIVO	ACTORES IMPLICADOS										ÁREA: OPERACIÓN		
	OP. BASCULA	CHOFER MUNIC	PEPENADOR	OP. RETROESC	OP. TRASCABO	OP. TRANSF.	OP. BASCULA	OP. BANDA	OP. COMP.	OP. IMONT.	CAPACIDAD POTENCIAL	CAP UTILIZADA	% UTILIZADO
Pesaje de vehículo	1										355 uds/turno	53 uds/turno	15%
Vaciado de carga		2									102 uds/turno	53 uds/turno	52%
Segregación primaria			3								44kg/hora/1 persona 352kg/turno/persona 70 ton/turno/200 personas	48 ton/turno	69%
Limpieza de celda				4							37 celdas/turno 1 op.	53 celdas/turno	33.70%
Llenado de transfer					5						30 transf./turno	30 transf./turno	100.00%
Traslado de RSU a confinar						1					6 viajes/turno(1 op)	30 transf./turno	83%
Segregación secundaria											N/A	N/A	N/A
Traslado de producto a pesaje											280 sacos/turno/ 2 op. Saco 50 kg	48 ton/turno	3.50%
Pesaje de producto											960 sacos/turno 48 ton/turno	48 ton/turno	100%
Traslado a segregación terciaria											960 uds/turno	48 ton/turno	100%
Segregación terciaria											3.6 kg/min (persona) 20.7 ton/turno/12 op.	11.7 ton/turno	57%
Alimentación del sistema de compactación											37 pacas/turno (537kg) 19.8 ton/turno	18.9 ton/turno	95%
Compactación											37 pacas/turno (537kg) 19.8 ton/turno	18.9 ton/turno	95%
Pesaje y almacenamiento											206 pacas/turno (537 kg) 110.6 ton/turno	18.9 ton/turno	17.20%
Embarque											11 cargas/turno 248 ton/turno	18.9 ton/turno	7.60%

Figura 18. Capacidades productivas en la valorización de residuos en ETIR



### 4.2.3 Factores críticos en el proceso de recuperación

De acuerdo al estudio de capacidades y a la observación de los métodos de trabajo se detectaron las causas-raíz que afectan los procesos productivos en la ETIR identificando capacidades limitadas, bajos rendimientos del personal, ineficiencia de las operaciones por diseño de planta y potencial de riesgo por contingencias y accidentes.

#### 4.2.3.1 Capacidad productiva en los procesos de valorización de residuos en ETIR

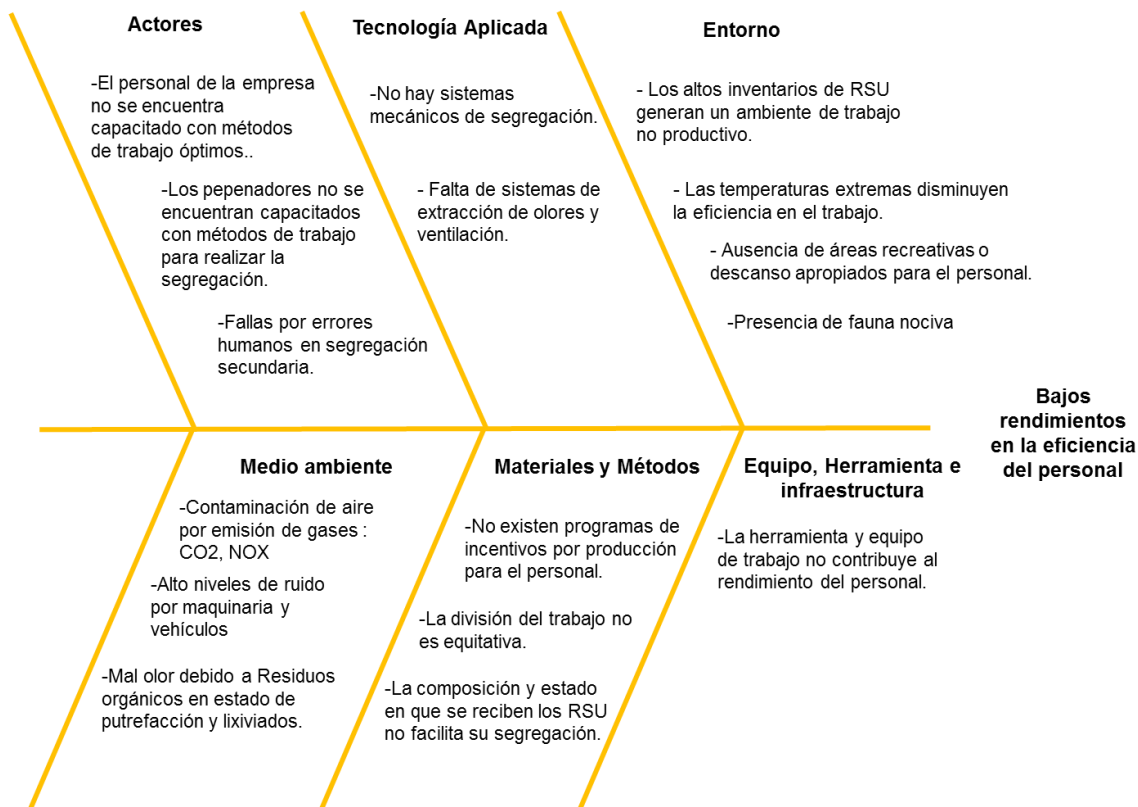
Las causas que generan el problema de la capacidad productiva limitada se muestra en la figura 21, el análisis de los factores que hacen referencia a este problema nos indica que no se ha desarrollado un estudio previo en referencia a capacidades y cargas de trabajo, esto porque se aprecia la carencia de la aplicación de métodos productivos.



Figura 20 Capacidad productiva limitada de la ETIR (Diagrama causa-efecto)

### 4.2.3.2 Análisis de causas de bajos rendimientos en la eficiencia del personal

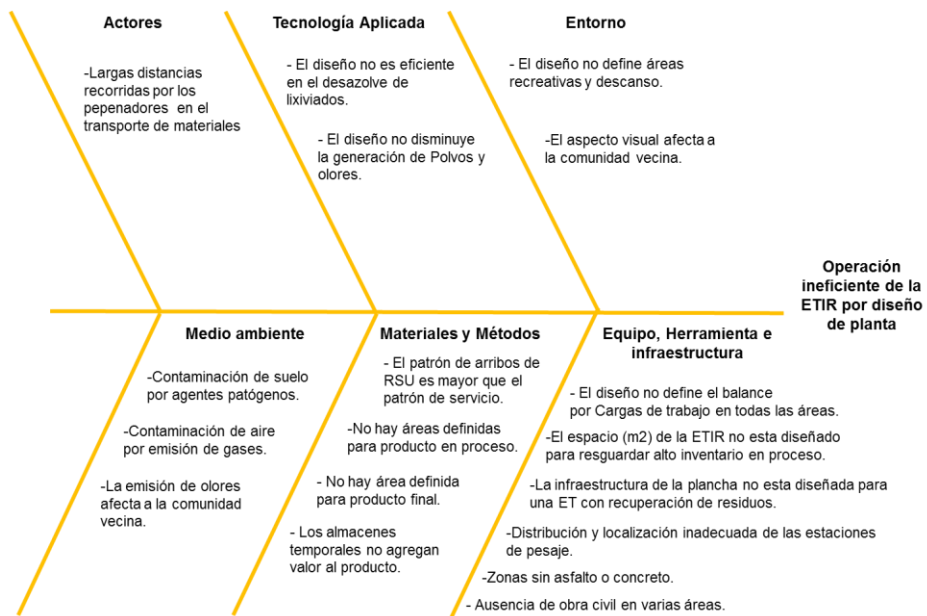
El problema de bajos rendimientos por el personal se encuentra marcado en la ETIR, esto es debido a que no se encuentra implementado un adecuado ambiente laboral como se describe diagrama causa-efecto que se presenta en la figura 22.



**Figura 21. Bajos rendimientos en la eficiencia del personal en la ETIR**

### 4.2.3.3. Operación ineficiente de la ETIR por diseño de planta

Los resultados que presentan en el diagrama de análisis de causas, muestran un diseño de planta no definido en la ETIR. Las condiciones laborales, el medio ambiente, el manejo de materiales y el entorno en general se ven gravemente afectados por un diseño no planificado de las instalaciones, las causas que reflejan el mal diseño se observan en diagrama causa-efecto que se presenta en la figura 23.



**Figura 22 Operación ineficiente de la ETIR por diseño de planta**

#### 4.2.3.4 Análisis de causas en riesgo por contingencias y accidentes

Con base a las condiciones actuales en las que opera la ETIR, el riesgo de contingencias y accidentes es alto debido a las causas que se describen en la figura 24. La capacitación, entrenamiento e implementación de normas son en la actualidad el eslabón débil de la ETIR.



**Figura 23 Riesgo de contingencias y accidentes en la ETIR**

#### 4.2.3.5 Análisis de minas de los procesos productivos de valorización

El análisis de minas indica que causas raíz detectadas en los diagramas causa-efecto tienen presencia en las áreas de la ETIR y determinan cuales son los que presentan mayor frecuencia. En la tabla 13 se muestra un resumen de las causas raíz para cada área, en los anexo 3, 4, 5, 6, 7 y 8, se puede consultar la información a detalle.

**Tabla 13 Minas en los procesos productivos de la ETIR**

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencia de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>PLANCHA</b>	Número de pepenadores en plancha no definido Procesos manuales no estandarizados.	Pepenadores no capacitados Carencia de sistemas mecánicos.	El diseño no contempla sistema de tratamiento lixiviados. Ausencia de áreas recreativas o descanso.	Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR
<b>SEGREGACIÓN SECUNDARIA</b>	-Procesos manuales no estandarizados	Pepenadores no capacitados	El diseño no define áreas recreativas o descanso	Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR
<b>PESAJE DE PRODUCTO</b>	Carencia de sistemas mecánicos	El personal de la empresa no se encuentra capacitado	Ausencia de áreas recreativas o descanso	Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.
<b>SEGREGACIÓN Terciaria</b>	Procesos manuales no estandarizados	El personal de la empresa no se encuentra capacitado	El diseño no define áreas recreativas y descanso	Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR
<b>COMPACTACIÓN</b>	Altos inventarios en proceso de RSU.	Temperaturas ambientales extremas	El diseño no define balance por Cargas de trabajo en todas las áreas	Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR
<b>ALMACENAJE</b>	Temperaturas ambientales extremas	Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido	No hay área definida para producto final	El material RSU flamable

### 4.3 Diseño de la estación de transferencia con recuperación de residuos (ETIR)

El diseño de la ETIR propone la implementación de nuevos métodos de trabajo, los cuales implica a su vez el uso de maquinaria los cuales deben ser ubicados procesos críticos por lo cual, deberán asignarse espacios para la implementación de los equipos propuestos.

#### 4.3.1 Delimitar áreas, trazar flujo de materiales y diseño del diagrama de recorrido

Los residuos que ingresan a la ETIR pasan por tres procesos de transformación en su recorrido a través de las distintas áreas de trabajo. Se observa la presencia de dos demoras en el recorrido lo cual no genera valor agregado al proceso y cuatro almacenamientos internos los cuales origina el acumulamiento de producto. La medición de las áreas que se presentan fue esencial para proponer un nuevo diseño de planta con flujos continuos y eliminando las áreas que representan demoras en el proceso (figura 20).

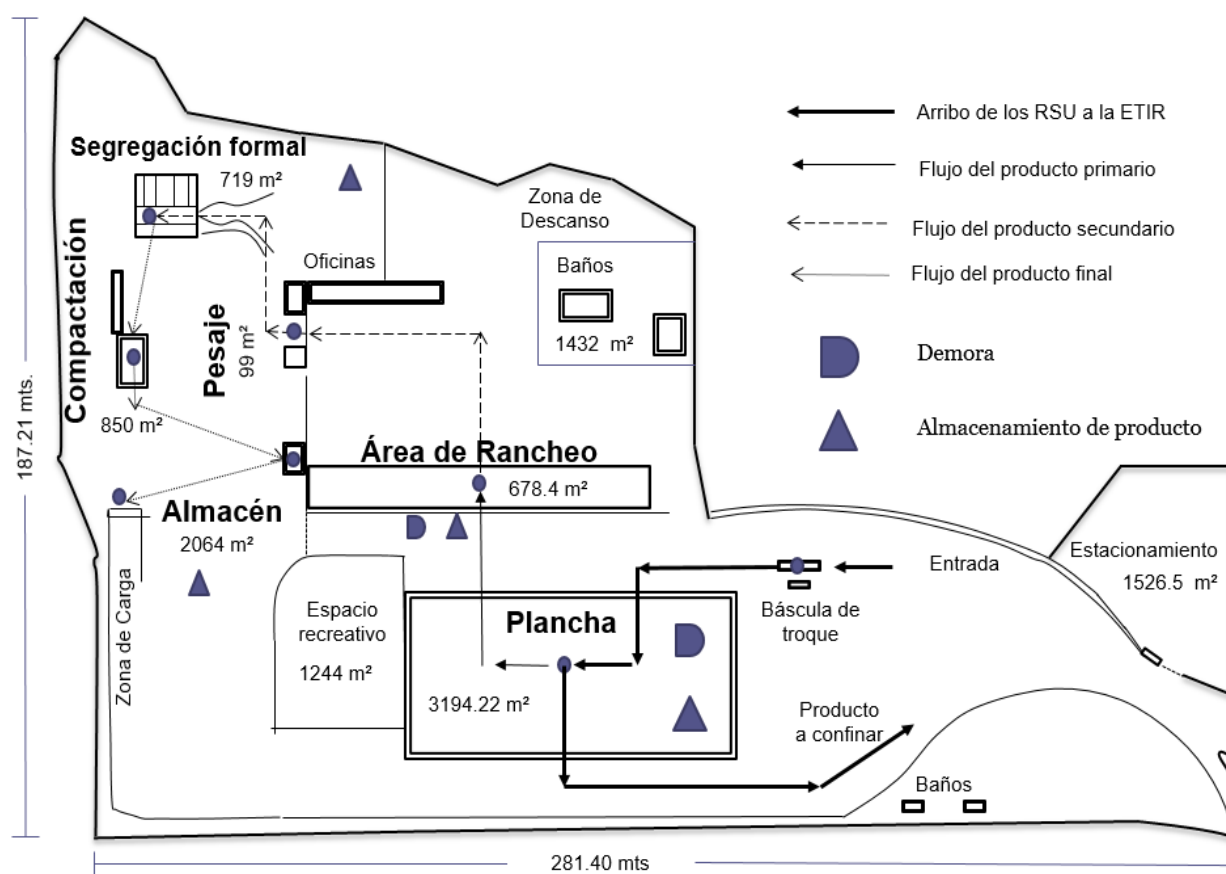


Figura 24 Delimitación de áreas de trabajo y flujo de valorización de RSU

#### 4.4 Escenarios de reingeniería de la ETIR para la valorización de RSU

La reingeniería en los procesos productivos de la ETIR se encuentra enfocada al diseño de nuevos métodos de trabajo manuales e implementación de maquinaria adecuada en los mismos. Para esto la inversión en equipo se encuentra directamente relacionada con la cantidad de RSU que se valorizara, sin embargo no sólo es un tema de recursos, también se deben cuidar los impactos asociados a esas decisiones. Para ello se proponen dos escenarios de recuperación tomando como base los cálculos de capacidades del escenario actual y proponiendo mejoras a los mismos.

##### 4.4.1 Escenario base (E0)

En la figura 25 se muestran los siete procesos y la secuencia que siguen de acuerdo al flujo de transformación de los sub-productos que se valorizan en la ETIR. En este escenario con las capacidades de mano de obra y equipos instalados actualmente se logra valorizar un total de 4.18% de residuos de un total de 20,200 toneladas, los cuales el 4% se compone de cartón, HDPE blanco, PET cristalino y PCM; y el 18% se compone de RAEES los cuales son recuperados en la segregación secundaria por el sector informal y vendido a acopiadores formales fuera de la ETIR. El total de residuos valorizados corresponde a 844 toneladas.

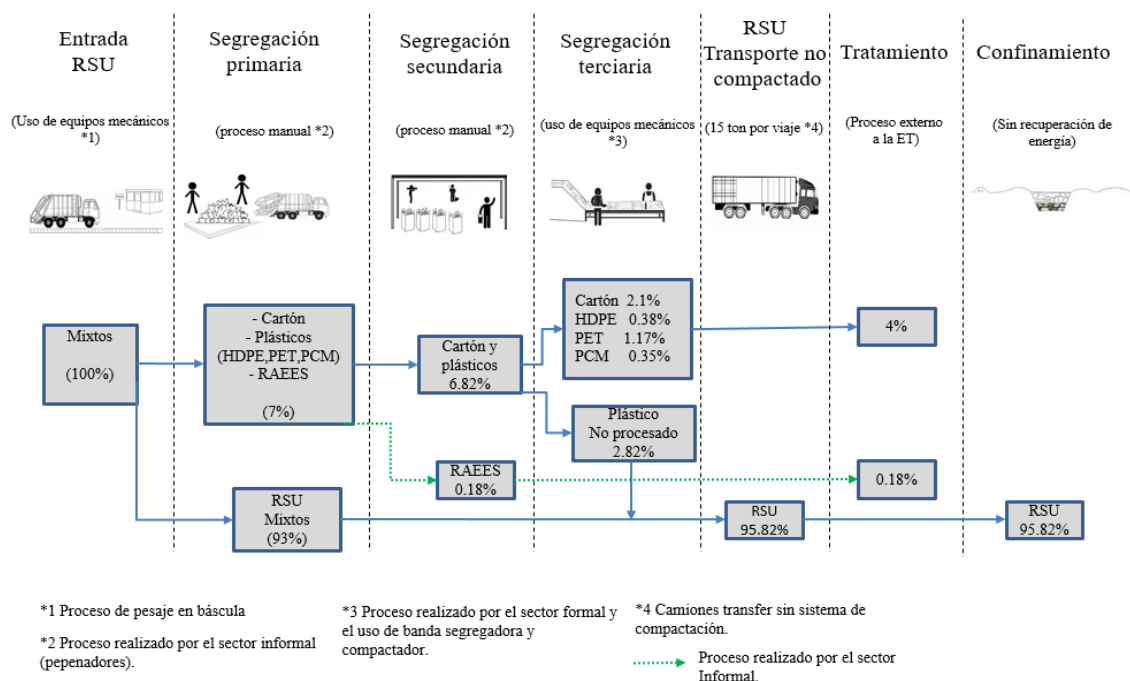


Figura 25 Escenario base (E0): proceso de valorización de residuos en ETIR

En la tabla 14 se observa que la operación de banda segregadora representa el menor número de toneladas producidas al mes, sin embargo el cuello de botella del sistema es el compactador, es decir que la banda puede segregar más producto terciario (plásticos) pero debe esperar a que el proceso de compactación procese el cartón (el cuál no pasa por segregación terciaria) y posteriormente dar entrada el producto terciario. Por lo tanto este escenario se encuentra restringido a la capacidad productiva del compactador horizontal. El total de los 200 segregadores informales se encuentran operando en este escenario.

**Tabla 14 Requerimiento de equipos y capacidad de valorización escenario base (E<sub>0</sub>)**

Proceso	Requerimiento	Cantidad	Capacidad instalada ton/mes	Producto procesado ton/mes
Entrada	Báscula de troque	1	63,900	20,200
Segregación primaria	Segregador *1	150	1,584	1,415
Segregación secundaria	Segregador *1	50	2,112	1,415
Segregación terciaria	Báscula de piso A	1	1,440	1,377
	Banda segregadora *2	1	622	351
	Compactador *3	1	596	596
	Báscula de piso B	1	3,318.6	596
Transporte de RSU	Camión Transfer	5	13,500	13,500
	Trascavo	1	13,833	13,500

\*1 Segregador informal (pepenador)

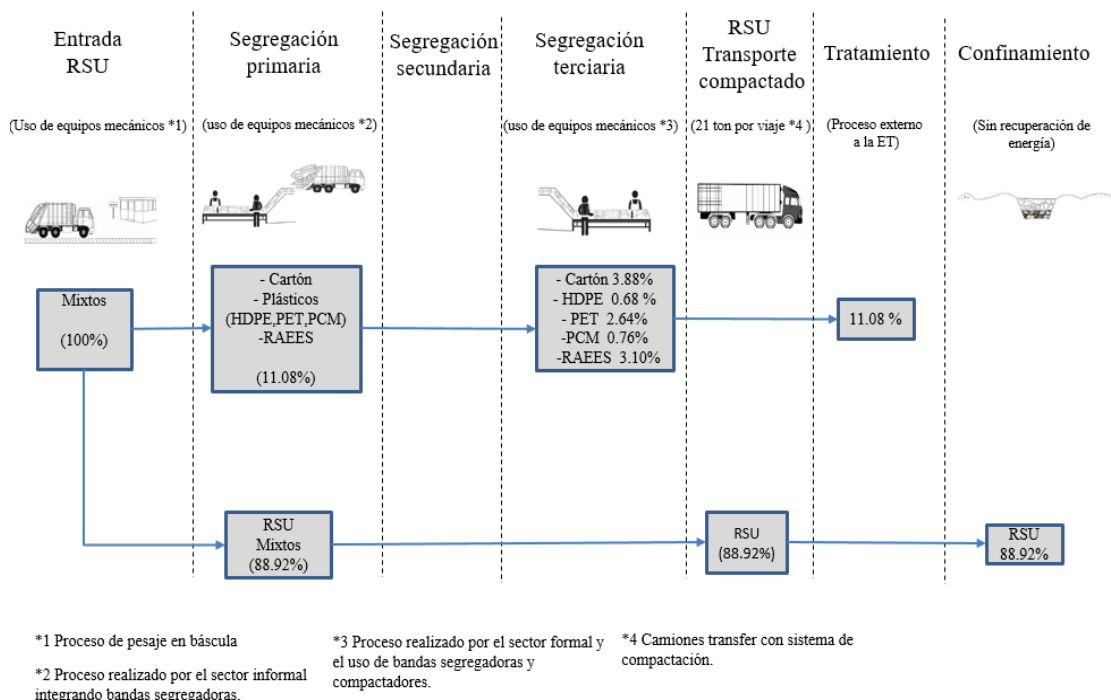
\*2 Proceso mecánico con 12 operadores

\*3 Operación con menor capacidad de producción

#### 4.4.2 Escenario (E<sub>1</sub>)

En el escenario (E<sub>1</sub>), se instalan equipos mecánicos en la segregación primaria y elimina el sistema la segregación secundaria porque no agrega valor al proceso. Se trasladan los RSU a su disposición final compactados. Los RAEES en este escenario forman parte de los residuos recuperados por la empresa y se integran a su composición de producto final. El total de residuos valorizados destinados a tratamiento en este escenario es del 11.08% el cual representa un total de 22.39 toneladas; el 88.92% es destinado a confinamiento (figura 26).

En esta propuesta se integra a los procesos mecánicos de recuperación (segregación primaria) a los segregadores informales (200 pepenadores), los equipos de trabajo se organizan en turnos de cuatro horas hasta completar la jornada de 16 horas laborales de operación de la ETIR.



**Figura 26 Escenario propuesto con integración de equipos mecánicos**

En la tabla 15 se presenta el cálculo de capacidades, se observa que las bandas de segregación primaria rigen el proceso productivo, es decir son la restricción del sistema (menos capacidad).

**Tabla 15 Requerimiento de equipos y capacidad de valorización escenario (E1)**

Proceso*1	Requerimiento	Cantidad	Capacidad instalada ton/mes	Producto a procesar ton/mes
Entrada	Báscula de troque	1	127800	20200
Segregación primaria	Banda segregadora *2	3	2239.4	2239.4
Segregación terciaria	Báscula de piso A	1	2880	2239.4
	Banda segregadora *3	2	2488.3	2239.4
	Compactador	2	2380.8	2239.4
	Báscula de piso B	1	6637.2	2239.4
Transporte RSU	Camión transfer	5	18900	17960.6
	Trascavo	1	27666	17960.6

\*1 todos los procesos trabajan dos turnos de 8 horas diarias

\*2 equipos mecánicos operados por el sector informal

\*3 equipos mecánicos operados por operadores formales

#### 4.4.2.1 Diseño de la estación de transferencia en el escenario (E<sub>1</sub>)

La figura 27 muestra el diseño para la operación de la ETIR en el escenario (E<sub>1</sub>), con incremento de la productividad en sus operaciones.

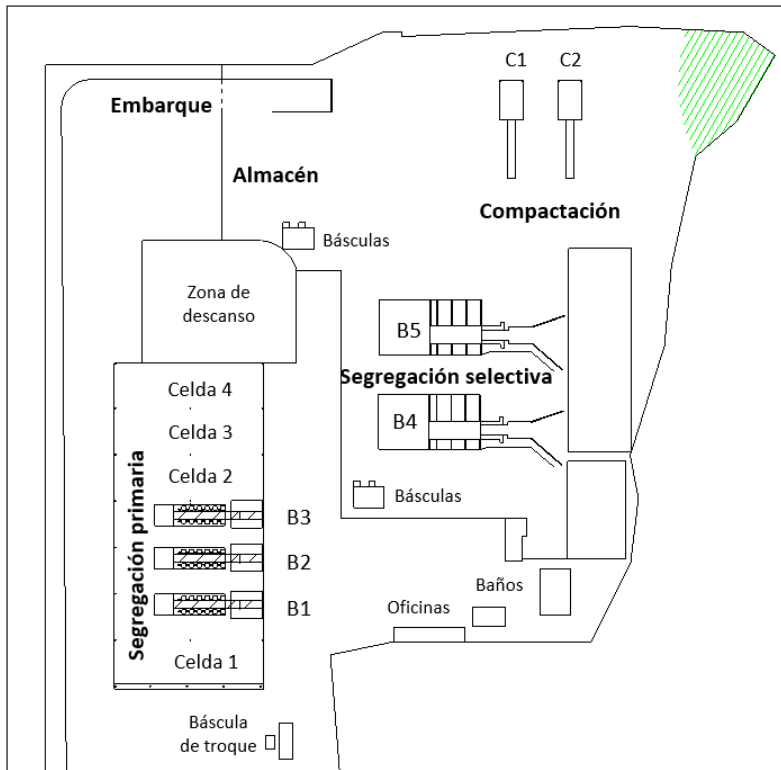


Figura 27 Diseño de operación de ETIR para el escenario (E1)

#### **Segregación primaria.**

En esta etapa se propone la implementación de tres bandas de segregación con una longitud de 13 mts y un ancho de 2 mts. Las bandas se encuentran instaladas a una altura de dos metros sobre el nivel del piso para facilitar la caída de producto segregado a los contenedores ubicados en la plataforma. El material que alimenta las bandas proviene de las fosas de almacenamiento las cuales envían el material utilizando alimentadores en forma de gusano (orugas).

#### **Segregación terciaria.**

Se propone trabajar con dos bandas de segregación de 13 mts de largo y 2 mts de ancho instaladas a una altura de 4 mts sobre el nivel del piso recibiendo el producto a través de un sistema alimentador con arrastre de paletas. Se proponen una báscula de piso con capacidad de 1,500 kg para el pesaje de producto previo a la segregación. El producto es

almacenado en celdas independientes con capacidad de 224 mts cúbicos cada una esperando ser transportadas al proceso de compactación.

Se propone la operación de ocho celdas, la operación de dos compactadores horizontales con sistema de alimentación y una báscula de piso para el pesaje de producto final.

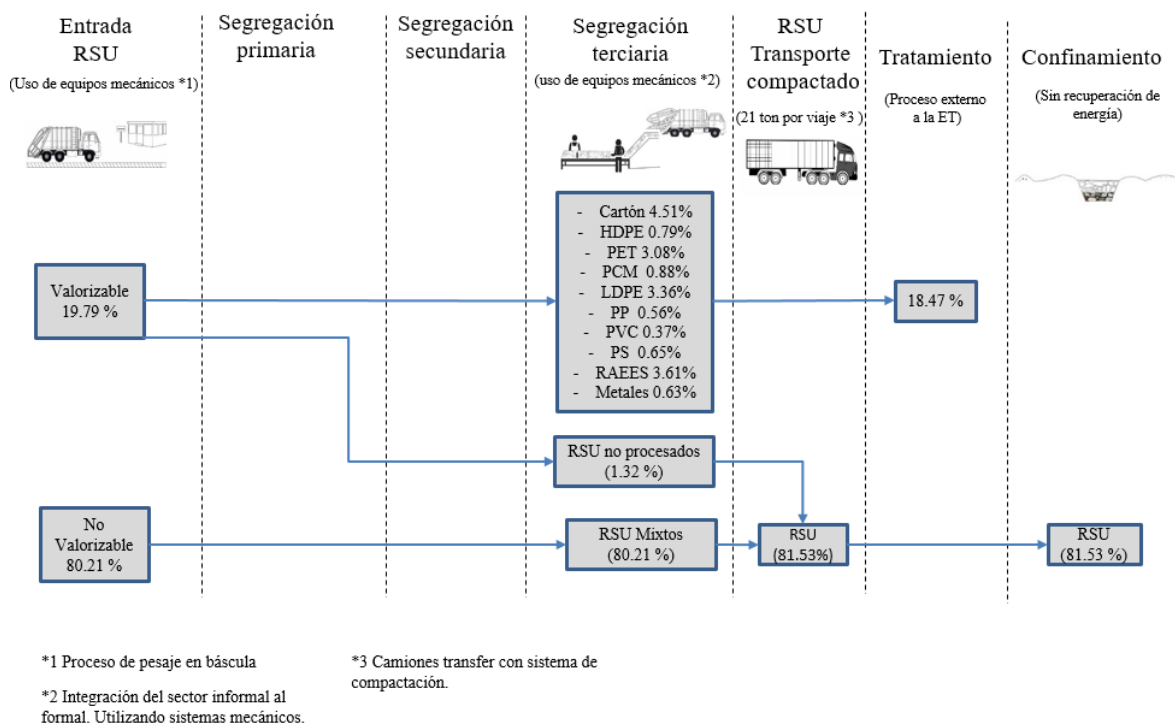
#### **Almacén y embarque.**

En esta etapa no se identificaron operaciones críticas en relación a capacidad productiva, por lo cual no se integran nuevos equipos.

#### **4.4.3 Escenario (E<sub>2</sub>)**

En el escenario (E<sub>2</sub>), se propone la entrada de RSU a la ETIR segregada desde de la fuente, por lo cual desaparece la etapa de segregación primaria y secundaria pasando directamente a la terciaria (ver figura 28).

En este escenario los RSU se transportan al sitio de confinamiento de forma compactada. Los productos valorizables que se envían a tratamiento representan el 18.47% los cuales se componen de: cartón, HDPE blanco, PET cristalino, PCM y RAEES. Y se integran a la composición residuos que antes no se valorizaban como: LDPE, PP, PVC, PS y metales. El total de residuos valorizados corresponde a 3,732 toneladas. El 81.53% de los residuos que ingresan a la ETIR son enviados a confinamiento.



**Figura 28 Escenario propuesto (E<sub>2</sub>) con entrada de RSU segregados en fuente**

En este escenario se reduce la cantidad de maquinaria al eliminar la etapa de segregación primaria. El sector informal se integra a los procesos de segregación terciaria compartiendo actividades con el sector formal. En esta propuesta sólo el 50% de los actores informales son integrados al proceso productivo de la ETIR, ver tabla16.

**Tabla 16 Requerimiento de equipos y capacidad de valorización escenario (E2)**

Proceso *1	Requerimiento	Cantidad	Capacidad instalada ton/mes	Producto a procesar ton/mes
Entrada	Báscula de troque	1	127800	20200
Segregación terciaria *2	Banda segregadora *1	3	3732.4	3732.4
	Compactador	4	4761.6	3732.4
	Báscula de piso B	1	6637.2	3732.4
Transporte RSU	Camión transfer	5	18900	16467.6
	Trascavo	1	27666	16467.6

\*1 todos los procesos trabajan dos turnos de 8 horas diarias

\*2 procesos operados por el sector formal e informal

#### 4.4.3.1 Diseño para la operación de la ETIR en el Escenario (E<sub>2</sub>)

En la figura 29 se presenta el diseño para la operación del Escenario (E<sub>2</sub>) en la ETIR, la propuesta incluye siete celdas para la segregación primaria y la instalación de tres compactores.

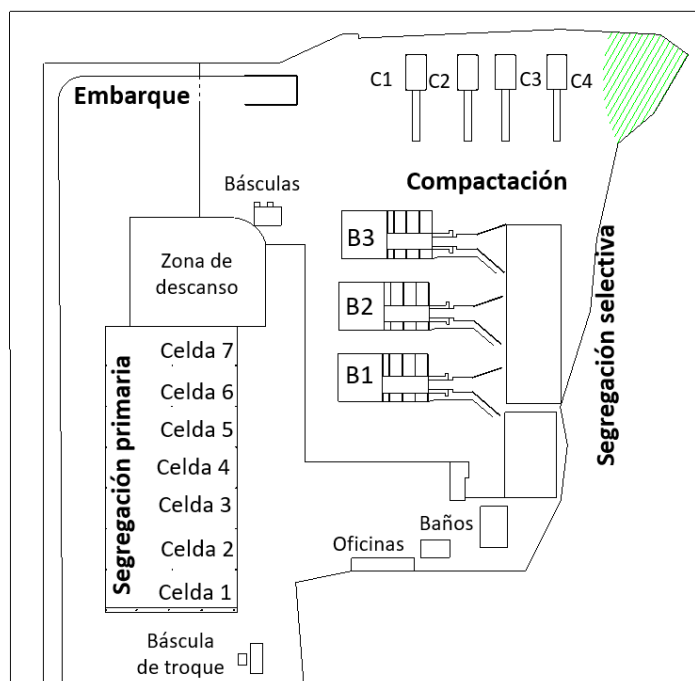


Figura 29 Diseño de estación de transferencia en el Escenario (E<sub>2</sub>)

#### 4.5 Análisis Costo-Beneficio

El resultado de la propuesta en relación costo-beneficio se determinó analizando los ingresos por concepto de venta, egresos incurridos en la operación y la inversión requerida para el nuevo diseño.

##### 4.5.1 Ingreso de la ETIR por concepto de venta de producto (E<sub>1</sub>)

El ingreso obtenido en la ETIR se determina con base a la venta del 100% del producto final segregado en forma mensual. Este ingreso se comporta de acuerdo al precio de venta de cada producto en el mercado y la composición de los RSU que ingresan. El diseño propuesto tiene la capacidad de generar 2,234 toneladas (tabla 17).

El precio de mercado del producto se establece en dlls/libra, para este caso se transforma el precio a dlls/tonelada y se asigna el precio en moneda nacional al tipo de cambio de \$20 m.n. El ingreso total corresponde a la suma de las toneladas segregadas de cada producto por su precio de venta.

**Tabla 17 Ingreso por venta de reciclables en Escenario (E1)**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%</b>	<b>TON</b>	<b>\$TON/M.N.</b>	<b>INGRESO</b>
RAEES	3.12	630.24	\$ 3,000.00	\$ 1,890,720.00
Cartón	3.88	783.76	\$ 1,180.00	\$ 924,836.80
HDPE blanco	0.68	137.36	\$ 5,720.00	\$ 785,699.20
Pet cristalino	2.64	533.28	\$ 11,880.00	\$ 6,335,366.40
PCM	0.76	153.52	\$ 7,920.00	\$ 1,215,878.40
<b>TOTAL</b>	<b>11.08</b>	<b>2238.16</b>		<b>\$ 11,152,500.80</b>

#### 4.5.1.1 Análisis de la inversión requerida

La inversión requerida para la implementación del diseño propuesto se basa en invertir en obra civil, requerimientos eléctricos, maquinaria y equipo. Esta inversión es un complemento adicional con base a la infraestructura que posee actualmente la ETIR, es decir se aprovecha la infraestructura actual y lo equipos que se utilizan en todos los escenarios como factor común previamente adquiridos como son: trascabos, retroexcavadoras y montacargas (tabla 18).

**Tabla 18 Inversión en infraestructura en el Escenario (E1)**

<b>MONTO DE INVERSIÓN REQUERIDA</b>		<b>\$ 11,127,720.00</b>
<b>OBRA CIVIL</b>		<b>\$ 2,672,924.00</b>
Sombras de estructura metálica	\$ 218,374.00	
Celdas de almacenamiento de producto	\$ 910,000.00	
Fosas de concreto para recepción de RSU	\$ 420,000.00	
Pavimentación en base de asfalto	\$ 1,124,550.00	
<b>REQUERIMIENTOS ELECTRICOS</b>		<b>\$ 287,463.00</b>
Iluminación (lámparas)	\$ 50,000.00	
Accesorios de iluminación	\$ 67,000.00	
Preparación eléctrica para equipos	\$ 100,463.00	
Mano de obra de instalación	\$ 70,000.00	
<b>MAQUINARIA Y EQUIPO</b>		<b>\$ 8,167,333.00</b>
Sistema de segregación primaria	\$ 2,520,000.00	
Sistema de segregación terciaria	\$ 1,680,000.00	
Compactadores	\$ 3,917,333.00	
Sistema de lixiviados	\$ 50,000.00	

#### 4.5.1.2 Análisis financiero (E1)

Los resultados del análisis financiero muestran una utilidad de \$2, 228,076.16 en moneda nacional, después de haber restado a la facturación los costos y gastos. Si se toma la

decisión de amortizar la inversión con un 20% sobre el margen de utilidad mensual se recupera lo invertido en 25 meses (tabla 19).

**Tabla 19 Comparación ingreso-egreso en el Escenario (E<sub>1</sub>)**

DESCRIPCIÓN	%	INGRESO	EGRESO	MARGEN
Facturación	100%	\$ 11,152,500.80		
Compra de materia prima	43%		\$ 4,795,575.34	
Mano de obra	7%		\$ 780,675.06	
Gastos indirectos	30%		\$ 3,345,750.24	
<b>MARGEN</b>	<b>20%</b>	<b>\$ 11,152,500.80</b>	<b>\$ 8,922,000.64</b>	<b>\$ ,230,500.16</b>
Inversión requerida		\$ 11,127,720.00		
Amortización de inversión		\$ 446,100.03	20%	
Periodo de recuperación		25	Meses	

Se observa que el 43% de la compra de la materia prima (RSU), es la cantidad que le pagan al segregador informal que vende el producto a la empresa en la ETIR. La empresa integra en este costo la mano de obra de segregación primaria. Es por esto que la mano de obra del sector formal 7% es muy baja.

#### 4.5.2 Ingreso de la ETIR por concepto de venta de producto (E<sub>2</sub>)

El ingreso obtenido en la ETIR se determina por la venta del 100% del producto final segregado el cual es mayor, en composición y volumen, que en el escenario E<sub>1</sub>. El diseño propuesto tiene la capacidad de generar 3,726 toneladas ver tabla 20. Se asume el mismo precio de mercado del producto del escenario E<sub>1</sub>. En este se integran residuos que anteriormente no eran valorizados.

**Tabla 20 Ingreso de ETIR en base a su composición (E<sub>2</sub>)**

PRODUCTO	%	TON	TON/DLLS	TON/M.N.	INGRESO
RAEES	3.63	733.26	150	\$ 3,000.00	\$ 2,199,780.00
Cartón	4.51	911.02	59	\$ 1,180.00	\$ 1,075,003.60
HDPE blanco	0.79	159.58	286	\$ 5,720.00	\$ 912,797.60
Pet cristalino	3.08	622.16	594	\$ 11,880.00	\$ 7,391,260.80
PCM	0.88	177.76	396	\$ 7,920.00	\$ 1,407,859.20
LDPE	3.36	678.72	65	\$ 1,300.00	\$ 882,336.00
PP	0.56	113.12	60	\$ 1,200.00	\$ 135,744.00
PVC	0.37	74.74	90	\$ 1,800.00	\$ 134,532.00
PS	0.65	131.3	60	\$ 1,200.00	\$ 157,560.00
Cobre	0.01	2.02	4250	\$ 85,000.00	\$ 171,700.00
Fierro	0.02	4.04	120	\$ 2,400.00	\$ 9,696.00
Aluminio	0.1	20.2	800	\$ 16,000.00	\$ 323,200.00
Latas aluminio	0.35	70.7	900	\$ 18,000.00	\$ 1,272,600.00
Latas de acero	0.16	32.32	100	\$ 2,000.00	\$ 64,640.00
<b>TOTAL</b>	<b>18.47</b>	<b>3730.94</b>			<b>\$ 16,138,709.20</b>

#### 4.5.2.1 Análisis de la inversión requerida

La inversión requerida para la implementación del diseño propuesto se basa en las mismas condiciones que el escenario E<sub>1</sub>. Esta inversión es un complemento adicional con base a la infraestructura y equipo que posee actualmente la ETIR ver tabla 21.

**Tabla 21 Inversión en infraestructura (E<sub>2</sub>) en pesos**

<b>MONTO DE INVERSIÓN REQUERIDA</b>		<b>\$ 13,400,053.00</b>
<b>OBRA CIVIL</b>		<b>\$ 2,707,924.00</b>
Sombras de estructura metálica	\$ 218,374.00	
Celdas de almacenamiento de producto	\$ 1,365,000.00	
Fosas de concreto para recepción de RSU	\$ -	
Pavimentación en base de asfalto	\$ 1,124,550.00	
<b>REQUERIMIENTOS ELECTRICOS</b>		<b>\$ 287,463.00</b>
Iluminación (lámparas)	\$ 50,000.00	
Accesorios de iluminación	\$ 67,000.00	
Preparación eléctrica para equipos	\$ 100,463.00	
Mano de obra de instalación	\$ 70,000.00	
<b>MAQUINARIA Y EQUIPO</b>		<b>\$ 10,404,666.00</b>
Sistema de segregación primaria	\$ -	
Sistema de segregación terciaria	\$ 2,520,000.00	
Compactadores	\$ 7,834,666.00	
Sistema de lixiviados	\$ 50,000.00	

#### 4.5.2.2 Análisis financiero (E<sub>2</sub>).

En el Escenario (E<sub>2</sub>), la utilidad es de \$7, 902,028.71 m.n. Después de haber restado a la facturación los costos y gastos. Si se toma la decisión de amortizar la inversión con un 20% sobre el margen de utilidad mensual se recupera lo invertido en ocho meses y medio (tabla 22).

**Tabla 22 Comparación ingreso-egreso (E<sub>2</sub>)**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>%</b>	<b>INGRESO</b>	<b>EGRESO</b>	<b>MARGEN</b>
FACTURACION	100%	\$ 16,138,709.20		
COMPRA DE MATERIA PRIMA	0%		\$ -	
MANO DE OBRA	21%		\$ 3,389,128.93	
GASTOS INDIRECTOS	30%		\$ 4,841,612.76	
<b>MARGEN</b>	<b>49%</b>	<b>\$ 16,138,709.20</b>	<b>\$ 8,230,741.69</b>	<b>\$ 7,907,967.51</b>
INVERSIÓN REQUERIDA		\$ 13,400,053.00		
AMORTIZACIÓN DE INVERSIÓN		\$ 1,581,593.50	20%	
PERIODO DE RECUPERACIÓN		8.5	Meses	

En este escenario se observa que el costo por compra de materia prima se elimina debido a que el producto ya viene segregado de la fuente y pasa directo a la segregación selectiva. Esto quiere decir que no se requiere la participación del sector informal en la segregación primaria. Sólo el 50% del sector informal se integra a la segregación selectiva con el uso de maquinaria, es por esto que se incrementa el costo de mano de obra al 21%.

#### 4.6 Aplicación del ACV al caso de estudio

Los resultados del ACV se aplicaron a los tres escenarios en la operación de la ETIR para determinar los impactos ambientales ocasionados por los procesos de valorización. Para este análisis se consideraron los distintos consumos que requieren los equipos mecánicos y la cantidad de residuos valorizados.

##### 4.6.1 Etapa I: Determinación de objetivos y alcance

El objetivo de este estudio fue aplicar herramientas de reingeniería para proponer alternativas de operación en la estación de transferencia en Mexicali Baja California con el propósito de maximizar el porcentaje de valorización de RSU y reducir el volumen de estos que se mandan a confinamiento y describir las propiedades ambientales del ciclo de vida de cada escenario propuesto.

Tomando como referencia el escenario base  $E_0$  en el que se recupera un 4.18%, los objetivos planteados para los dos escenarios propuestos para la recuperación de residuos son 11.08% en el escenario  $E_1$  y 18.47% en el escenario  $E_2$  (tabla 23).

**Tabla 23 Meta de valorización de residuos**

FRACCIÓN	$E_0$	$E_1$	$E_2$
Cartón	2.1	3.88	4.51
HDPE	0.38	0.68	0.79
PET	1.17	2.64	3.08
PCM	0.35	0.76	0.88
LDPE	0	0	3.36
PP	0	0	0.56
PVC	0	0	0.37
PS	0	0	0.65
RAEES	0.18	3.10	3.61
METALES	0	0	0.63
<b>TOTAL</b>	<b>4.18</b>	<b>11.08</b>	<b>18.47</b>

En el escenario E<sub>0</sub> se incluyen los recursos utilizados para la valorización de residuos en el consumo eléctrico, diésel y gas. Se observa que en E<sub>1</sub> se incrementa el consumo de estos en los procesos de segregación primaria y selectiva, pero la valorización se incrementa a un 11.08%. El escenario E<sub>2</sub> muestra un incremento de consumo de recursos cinco veces mayor en el proceso de segregación selectiva e incrementa a un 18.48% la valorización de recursos. Esto debido a que en este escenario no aplican la segregación primaria y secundaria. Ver tabla 24

**Tabla 24 Recursos consumidos por escenario en la valorización de residuos**

PROCESO	ESCENARIO E <sub>0</sub>		ESCENARIO E <sub>1</sub>		ESCENARIO E <sub>2</sub>	
	kwh/mes	lt/mes	kwh/mes	lt/mes	kwh/mes	lt/mes
ENTRADA	1		1		1	
SEGREGACIÓN PRIMARIA	1		4.26		0	
SEGREGACIÓN SECUNDARIA	1		0		0	
SEGREGACIÓN SELECTIVA	1	1	3.07	2.7	5.79	4.5
TRANSPORTE DE RSU		1		0.88		0.84
OFICINAS Y SANITARIOS	1		1.07		1.07	
DISPOSICIÓN		1		2.65		4.42
RECUPERADAS	4.18%	844	11.06%	2239	18.48%	3732

#### 4.6.2 Etapa II: Inventario de ciclo de vida

En la tabla 25 se presentan los resultados de la composición de residuos que ingresan a la ETIR, se clasificaron en siete categorías.

**Tabla 25 Composición de residuos sólidos urbanos en el área de estudio**

FRACCIÓN	%
Material Orgánico	44.28
Otros	21.37
Cartón/papel	13.06
Plásticos (PE,PET,PP,PVC,PS, otros)	11.06
Textiles	5.52
RAEES	3.87
Metales	0.84
TOTAL	100

Para el inventario de los equipos que operan en la ETIR en los procesos de valorización se incluyeron los consumos de energía, gas LP y diésel. La base de consumo de energía se calculó en kwh/mes multiplicado por la cantidad de equipos que se usan en cada escenario (ver tabla 26).

**Tabla 26 Inventario de consumo de energía eléctrica gas diésel por escenario**

PROCESO	EQUIPO	Consumo kwh	Consumo Lt/hr	CANTIDA D	kwh/m es	lt/mes	CANTID AD	kwh/m es	lt/mes	CANTIDAD	kwh/mes	lt/mes
ENTRADA	báscula de camión	1.725		1			1			1		
	Luminarias fluorescentes	0.1134		2	271.279		2	271.279		2	271.2	
	Luminaria nocturna	0.23		1			1			1		
SEGREGACIÓN PRIMARIA	Luminarias fluorescentes	0.1134		70	2743.65		70				NA	
	Luminaria nocturna	0.23		5			10	11699.8				
	Banda segregadora	2.238			NA		3					
	Alimentador	3.73			NA		3					
SEGREGACIÓN SECUNDARIA	Luminarias fluorescentes	0.1134		35				NA			NA	
	Luminarias nocturnas	0.23		6	1625.4							
TERCIARIA SELECTIVA	Báscula de piso A	0.3676		1			1			NA		
	Banda segregadora	2.238		1			2			3		
	Alimentador de paletas	3.73		1			2			3		
	Compactador horizontal	11.19		1			2			4		
	Alimentador	3.73		1	7273.59		2	22366.0		4	42101.	
	Montacargas		3	1		270	1		729	1		1215
	Báscula de piso B	0.2565		1			1			1		
	Luminaria fluorescente	0.1134		7			14			91		
	Luminaria nocturna	0.23		10			24			32		
OFICINAS Y BAÑOS	Luminaria fluorescente	0.1134		28			28	1169.91		28	1169.9	
	Luminaria nocturna	0.23		2	1097.46		3			3		
TRANSPORTE DE RSU	Retroexcavadora		30	1			1			1		
	Trascabo		100	1		144528	1		127123.5	1		121748
	Viajes de transferencia		75.7	1291			855			784		

El número de equipos y los consumos varían de acuerdo a la cantidad de horas de operación al mes (ver tabla 27), en los escenarios varia la jornada de trabajo y la proporción del tiempo que operan los equipos.

**Tabla 27 datos utilizados para el cálculo de inventario en los equipos del ETIR**

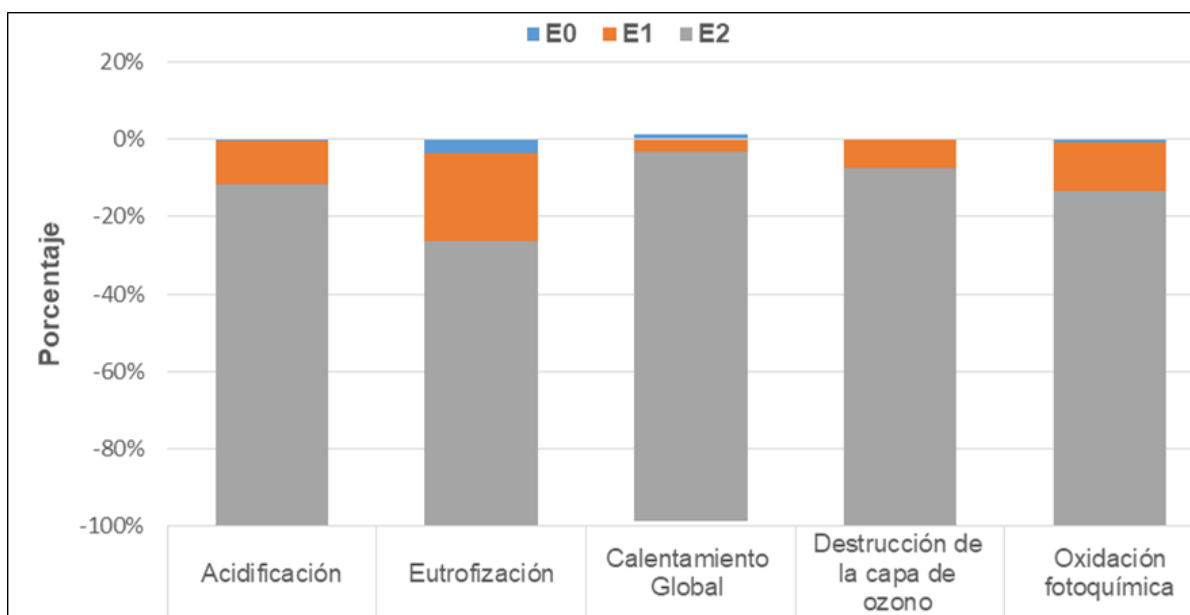
PROCESO	EQUIPO	Consumo kwh	Consumo Lt/hr	Horas de uso / mes		
				E <sub>0</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
ENTRADA	báscula de camión	1.725		75.82	75.82	75.82
	Luminarias fluorescentes	0.1134		300	300	300
	Luminaria nocturna	0.23		315	315	315
SEGREGACION PRIMARIA	Luminarias fluorescentes	0.1134		300	300	NA
	Luminaria nocturna	0.23		315	315	NA
	Banda segregadora	2.238		NA	480	NA
	Alimentador	3.73		NA	480	NA
SEGREGACION SECUNDARIA	Luminarias fluorescentes	0.1134		300	NA	NA
	Luminarias nocturnas	0.23		315	NA	NA
TERCIARIA SELECTIVA	Báscula de piso A	0.3676		291.5	473.66	
	Banda segregadora	2.238		240	480	480
	Alimentador de paletas	3.73		240	480	480
	Compactador horizontal	11.19		330	480	480
	Alimentador	3.73		330	480	480
	Montacargas		3	90	243	405
	Báscula de piso B	0.2565		56.84	76.45	256.9
	Luminaria fluorescente	0.1134		90	240	240
	Luminaria nocturna	0.23		315	315	315
OFICINAS Y BAÑOS	Luminaria fluorescente	0.1134		300	300	300
	Luminaria nocturna	0.23		315	315	315
TRANSPORTE DE RSU	Retroexcavadora		30	360	480	480
	Trascabo		100	360	480	480
	Viajes de transferencia		75.7			

### 4.6.3 Etapa III: Evaluación del impacto ambiental

Al aplicar el modelo (CML2baseline 2000V2.04) en el sistema SIMAPRO, los resultados presentan emisiones al aire y agua, los cuales se clasifican en cinco indicadores de impacto ambiental (Acidificación, Eutrofización, calentamiento global, disminución a la capa de ozono y oxidación fotoquímica). En la figura 30 se compara el nivel de contribución al impacto ambiental por escenario tomando como base E<sub>0</sub>.

En todas las categorías se observan cargas evitadas en los escenarios propuestos en particular el escenario E<sub>2</sub>, por que recibe los RSU segregados desde la fuente esto implica menor uso de maquinaria y equipo para los procesos de valorización, además al recuperar mayor volumen de RSU realiza menos viajes en camiones transfer al sitio de confinamiento disminuyendo el consumo de diésel.

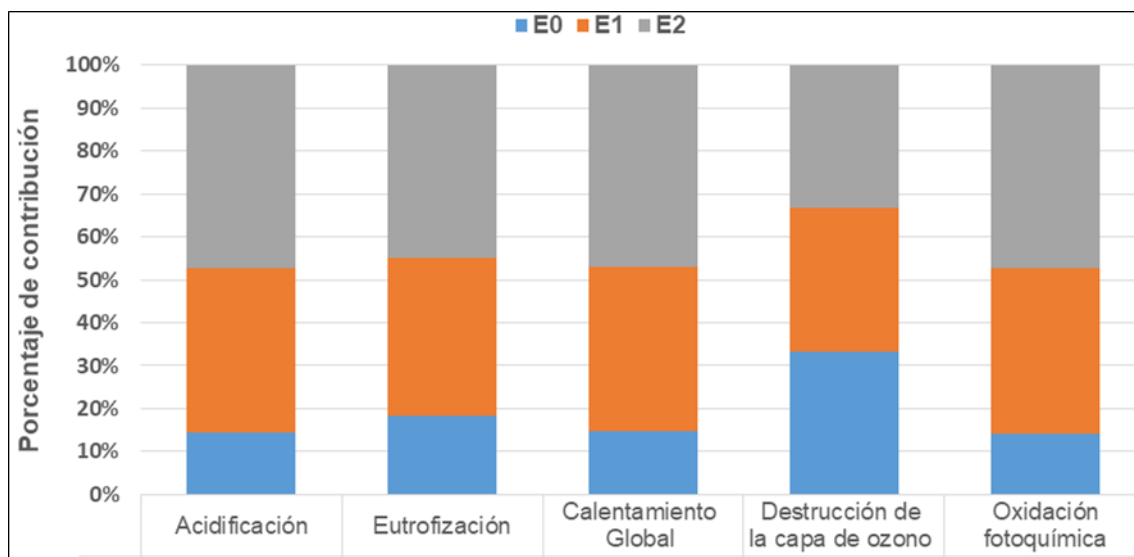
Este escenario presenta las mejores condiciones con relación a la contribución de impacto ambiental.



**Figura 30 Evaluación de escenarios con reciclaje de residuos**

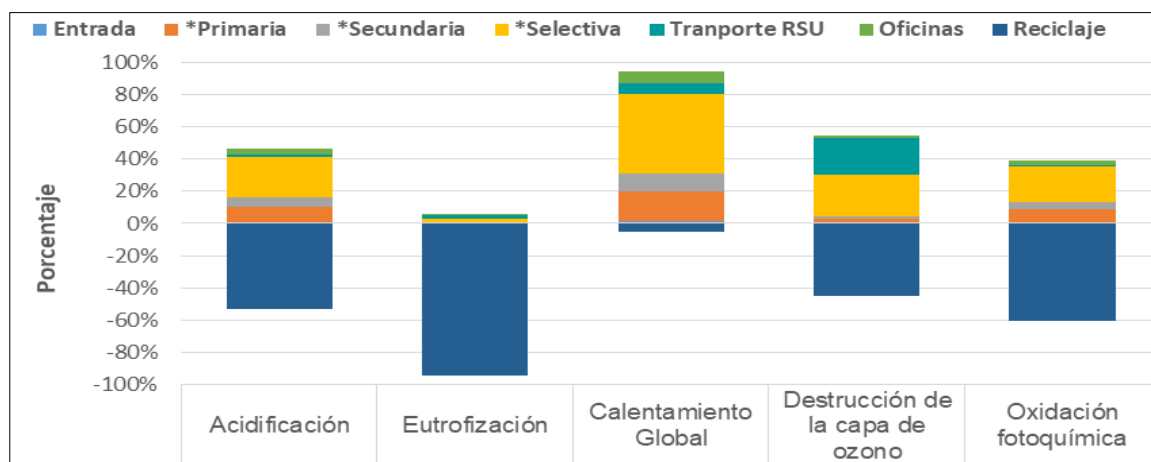
En la figura 31 se compara el nivel de contribución al impacto ambiental por escenario sin reciclaje. Los resultados muestran que los tres escenarios contribuyen al impacto ambiental, las cargas ambientales evitadas son nulas porque los procesos de valorización

se realizan usando equipos mecánicos que consumen energía eléctrica y combustibles, además al no haber reciclaje se incrementa el número de viajes a disposición final.



**Figura 31 Evaluación de los escenarios de recuperación de residuos sin reciclaje**

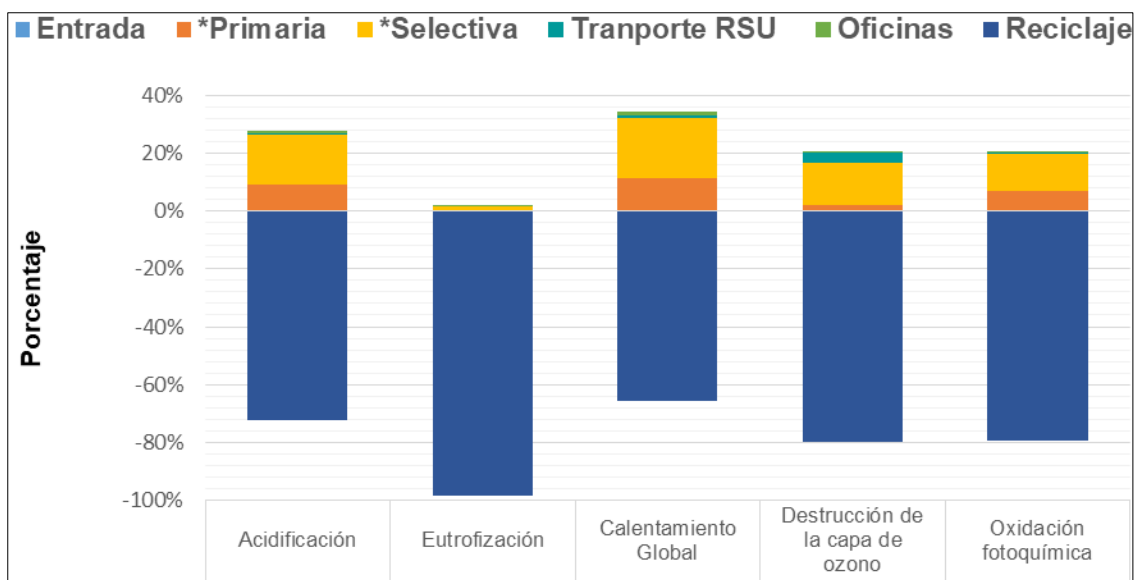
Los resultados de la evaluación de las etapas del proceso de valorización del escenario E0 por categoría de impacto se presentan en la figura 32, las etapas con mayor contribución al impacto ambiental son la segregación selectiva y el transporte de residuos. En la primera, está asociada al uso de equipos mecánicos en el proceso de segregación que implican el consumo de energía eléctrica y en la segunda, por el uso de maquinaria para el proceso de carga y traslado impactando directamente en la categoría de disminución de capa de ozono



\* Proceso de segregación

**Figura 32 Evaluación del proceso de valorización en el escenario (E0)**

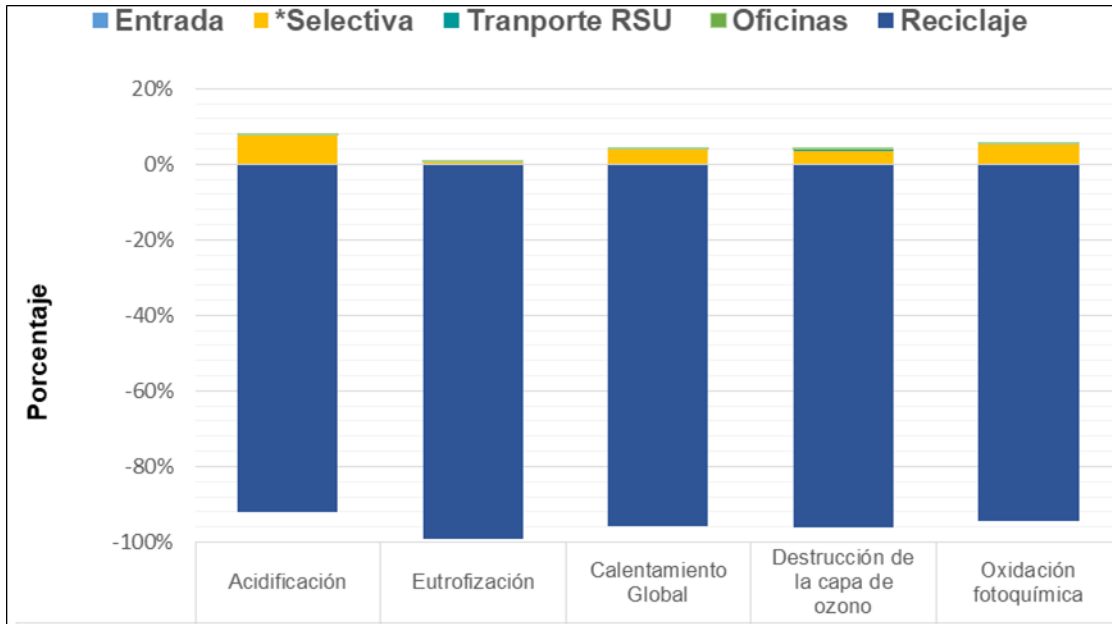
En la figura 33 se presenta el nivel de contribución al impacto ambiental por etapas del proceso de valorización del escenario E<sub>1</sub>. A diferencia del escenario E<sub>0</sub>, en el E<sub>1</sub> se reduce el impacto ambiental en la categoría de calentamiento global en la etapa de segregación primaria y selectiva. Aunque en estas etapas se implementa el uso de maquinaria el incremento en el volumen recuperado favorece las cargas vitadas, lo cual también se observa en la etapa de reciclaje, en todas las categorías.



\* Proceso de segregación

**Figura 33 Evaluación del proceso de valorización en el escenario (E<sub>1</sub>)**

En la figura 34 se muestran las etapas del proceso de valorización del escenario E<sub>2</sub> en las cinco categorías seleccionadas. En comparación con E<sub>0</sub> este escenario presenta una menor contribución al impacto ambiental en todas sus etapas. En el caso específico de la etapa de reciclaje esta presenta el mayor porcentaje de carga evitada en todas las categorías y en todos los escenarios. Debido a que este escenario presenta el mayor volumen de recuperación de residuos y considerando que gran parte de estos ingresan a la ETIR segregados desde la fuente, la maquinaria y equipos requeridos para la valorización son mínimos.



\* Proceso de segregación

**Figura 34 Evaluación ambiental en el escenario (E<sub>2</sub>) por etapa de valorización**

## Capítulo 5. Discusión

La estación de transferencia, objeto de esta investigación fue ubicada para su operación sin haber realizado los estudios que se requiere para la ubicación esta instalaciones esto es se designó en base al espacio que se tenía disponible. De acuerdo a (EPA 2015; Zang et al., 2013) el tamaño y capacidad de una estación de transferencia depende del tamaño de la zona de servicio, la cantidad generada de RSU, su composición y los tipos de vehículos utilizados en la recolección. Por otra parte estudios realizados por (Elia, 2016) para su ubicación deben tomarse en cuenta factores de flujos de entrada de RSU, capacidad de recuperación de material, costos de transporte e ingresos al sistema por la recuperación de materiales. Factores que no fueron considerados en la ETIR.

La ubicación actual se encuentra a 25 km del sitio de confinamiento, de acuerdo a USEPA (2015) para que la estación de transferencia sea una instalación económicamente viable con relación a sus costos de operación, la distancia al sitio de disposición debe fluctuar en un rango de 24 a 32 km. Esto coloca a la ETIR en una distancia dentro del rango para ser un sistema de ahorros en transporte viable.

La recolección domiciliaria y comercial en ciudad de Mexicali está a cargo de las autoridades municipales y del sector privado, es no selectiva, previo a la disposición final son enviadas a la ETIR para ser trasbordados y enviados a disposición final tal y como lo indica la literatura. (Pillai y Shah, 2014; Lino y Ismail 2013; Santibañez et al., 2013).

En promedio el volumen de RSU que ingresan a la ETIR son 20 200 toneladas, lo cual implica un alto inventario de residuos acumulados en el área de arribo, en promedio permanece 18 000 toneladas distribuidas en pilas de seis metros de altura lo cual provoca espacios saturados. De acuerdo a (Varon et al., 2015) la presión de los residuos acumulados generan lixiviados (líquidos) que contienen materia orgánica, amoníaco, metales pesados y distintos compuestos inorgánicos. Esto se ve presente en las instalaciones actuales, la cual no posee un sistema de recolección de lixiviados o tratamiento especial tal como lo propone (kheradmand et al., 2010). A su vez estudio realizados por (Sarkhosh et al., 2017; Li et al., 2013) señalan que existen componentes volátiles orgánicos y riesgos biológicos generados por los RSU compactados generando acetato de etilo, aromas putrefactos los cuales representan un riesgo a la salud y propensión a cáncer. Se hace referencia a estos contaminantes debido a que la

segregación de productos se realiza de forma manual con exposición para los segregadores informales que recuperan residuos en la ETIR.

De acuerdo a (Sánchez y Estrada, 1996; EPA, 2002; Bovea, et al. 2007) las ET deben clasificarse como i) carga directa, ii) carga indirecta y iii) combinadas. En el caso de la ETIR presenta una clasificación de tipo carga indirecta debido a que el 95.82% de los residuos recibidos son enviados a confinamiento y a la vez cuenta con procesos de segregación y compactación definiéndola como una ET con recuperación de residuos en donde un porcentaje de estos son recuperados y trasladados a sitios de aprovechamiento como plantas de reciclaje o centros de procesamiento tal como lo menciona (Sánchez y Estrada, 1996; Eshet, et al. 2007; Eia, 2016). En el caso de la ETIR solo es procesado el 4.18 % de los RSU que ingresan.

De acuerdo al tipo de construcción las instalaciones de una ET pueden ser i) Abiertas, techos sin paredes, ii) semi-cerradas, techo con dos paredes y iii) completamente cerradas, con puerta de acceso a camiones (Washburn, 2012), en el caso de la ETIR se presenta una construcción del tipo abierta la cual presenta ventajas en relación al flujo de corrientes de aire que no permite el acumulamiento excesivo de componentes volátiles considerando que no disponen de sistemas de extracción de aire o ventilación. Por otro lado este tipo de construcción presenta desventajas debido a las temperaturas extremas en invierno y verano en donde los trabajadores operan en climas ambientales no controlados, es decir no cuentan con sistemas de ventilación o refrigeración.

En figura 30 se compara el nivel de contribución de impacto ambiental por escenario mostrando que la etapa de reciclaje permite evitar carga contaminante en las cinco categorías de impacto analizadas, Bovea et al., (2016) define que al implementar reciclaje se reducen cargas ya que se evita el consumo de materia prima virgen.

El aplicar herramientas de reingeniería en la ETIR para facilitar los métodos de trabajo a los operadores implica el uso de equipos mecánicos lo cual genera mayor consumo de energía eléctrica. Bartolozzi et al., (2018) implementó maquinaria a los procesos manuales de recolección de residuos incrementando el consumo de electricidad y combustible, pero la eficiencia en la recuperación se incrementó y facilitó el trabajo al recolector. El impacto en el incremento de energía eléctrica en la ETIR es mínimo si compensamos con la recuperación de residuos al realizar menos viajes al sitio de

confinamiento ahorrando combustible el cual es un gran contribuidor en la categoría de calentamiento global y destrucción de la capa de ozono tal como lo menciona (Gilardino et al., 2017; Ibañez et al., 2018; Ripa 2017).

## **Conclusiones**

Las estaciones de transferencia como parte integral de la GRSU juegan un papel muy importante ya que actúan como vínculo entre el sistema de recogida de RSU y las instalaciones de disposición final. En esta investigación se analizó una estación de transferencia con recuperación de residuos con el objetivo de mejorar el proceso de recuperación en términos de volumen y menor impacto al ambiente, lo cual influirá directamente en alargar el tiempo de vida de los sitios de disposición y ahorrar en transporte y emisiones al ambiente al disminuir el envío de residuos al sitio de disposición final.

Con base al análisis realizado en las operaciones actuales de la ETIR, la recuperación de residuos presenta niveles bajos, solo se valoriza el 4.18% del total de residuos que ingresan a transferencia. Las fracciones que más se valorizan son el cartón y el PET, asociado al precio de venta en el mercado.

Los procesos actuales de recuperación de RSU en la ETIR son desarrollados con métodos de trabajo manual, además el entorno laboral en el que realizan la segregación no son los adecuados para el desarrollo de sus funciones productivas. Se hace evidente la falta de supervisión, métodos de trabajo estandarizados y una estructura organizacional. En áreas donde es requerido el uso de maquinaria se aprecia que el equipo utilizado no cumple con las características de capacidad instalada para satisfacer la demanda de productos a procesar, es decir el patrón de arribos de RSU es mucho mayor al patrón de servicio generando altos inventarios en proceso. Esto en combinación con falta de control en el manejo de materiales genera problemas como: capacidad productiva limitada, bajos rendimientos en la eficiencia del personal, mal aprovechamiento del espacio y un alto riesgo de contingencias y accidentes.

Una de las aportaciones de esta investigación es el diseño de una nueva estación de transferencia a través de la aplicación de técnicas de reingeniería para implementar cambios en los procesos y hacer uso de tecnología que promueva un sistema productivo más eficiente. Para ello se propusieron dos escenarios E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> con la implementación de

nuevos métodos de trabajo, maquinaria y nuevos diseños en las instalaciones concluyendo que si es factible incrementar el volumen de recuperación con la aplicación de las herramientas de reingeniería.

En el escenario E<sub>1</sub> aumenta la valorización de residuos al 11.06%, las fracciones incluidas son cartón (3.88%), HDPE blanco (0.68%), PET cristalino (2.64%), PCM (0.76% y RAEES 3.10%. Esto representa un total de 2234 toneladas recuperadas en relación al total de 20200 que ingresan a la ETIR. Se observa que el escenario E<sub>1</sub> presenta mayor recuperación en relación al escenario base E<sub>0</sub> por un 6.88%. En esta propuesta se integra al sector informal (200 pepenadores) a los procesos mecánicos en la segregación primaria ofreciendo métodos eficientes y seguros en la realización de sus funciones garantizando un mayor ingreso económico y un mejor ambiente laboral. El análisis financiero en E<sub>1</sub> la relación entre inversión requerida, ingreso y egresos considerando una amortización sobre las utilidades de un 20% se concluye que la inversión se recupera en un tiempo de 25 meses. Esto representa un período de recuperación a mediano plazo.

El escenario E<sub>2</sub> presenta una valorización de residuos del 18.45% el cual se compone de cartón 4.51%, HDPE blanco 0.79%, PET cristalino 3.08%, PCM .88%, RAEES 3.61%, LDPE 3.36%, PP .56%, PVC .37%, PS 0.65% y metales 0.64%. Esto representa un total de 3727 toneladas recuperadas. Se observa que E<sub>2</sub> presenta mayor recuperación en un 14.3% en comparación con E<sub>0</sub>. Este escenario propone una parte de la entrada de residuos a las instalaciones de la ETIR de forma selectiva de la fuente, por lo cual se elimina el proceso de segregación primaria y secundaria pasando estos de forma directa a la segregación selectiva. Esto propone integrar solo el 50% del sector informal a los procesos de recuperación. Se observa que la composición de residuos valorizables se incrementa con productos que anteriormente no eran de interés para la ETIR, pero con los nuevos métodos es factible recuperarlos. El análisis financiero en E<sub>2</sub> la relación entre inversión requerida, ingreso y egresos considerando una amortización sobre las utilidades de un 20% se concluye que la inversión se recupera en un tiempo de 8.5 meses. Esto representa un período de recuperación a corto plazo debido a los ingresos por venta de productos que antes no se recuperaban y poseen valor en el mercado como es el caso de los metales. Por otro lado la inversión requerida en maquinaria y equipo en este escenario es menor.

Analizando el beneficio económico en relación a la recuperación de residuos que genera cada uno de los escenarios propuestos comparado con las cargas ambientales que generan y considerando que todos estos incluyen el reciclaje de residuos se concluye lo siguiente:

- A) Las utilidades mensuales generadas en el escenario propuesto  $E_1$  se incrementan en un 250% en comparación con el escenario base  $E_0$  y de acuerdo al ACV aplicado el escenario  $E_1$  redujo la contribución al impacto ambiental en todas sus categorías (acidificación, eutrofización, calentamiento global, disminución de la capa de ozono y oxidación fotoquímica) en cada una de sus etapas de valorización implicadas en la ETIR, ver figura 33. Por lo tanto se concluye que el Escenario propuesto  $E_1$  genera una mayor ganancia económica reduciendo a la vez la contribución al impacto.
- B) Las utilidades mensuales generadas en el escenario  $E_2$  se incrementan en un 900% en comparación con el escenario base  $E_0$  y de acuerdo al ACV aplicado el escenario  $E_2$  redujo casi en su totalidad la contribución al impacto ambiental en todas las categorías en cada una de sus etapas de valorización, además de evitar cargas ambientales en estas mismas, ver figura 34. Por lo tanto se concluye que El escenario  $E_2$  es el que genera mayores ganancias económicas y presenta menor contribución al impacto ambiental.

## **Recomendaciones**

Previamente al diseño de una ET debe realizarse un análisis de ubicación de las instalaciones en relación a la distancia en que se encuentra el sitio de confinamiento y el mayor número de rutas de recolección en la ciudad, a su vez analizar el impacto ambiental que ocasionaría la propuesta, esto en caso de no existir una ET actual.

Los resultados obtenidos en esta investigación pueden aplicarse en ciudades que presenten un sistema de recolección no selectiva y cuenten con estaciones de transferencia con recuperación de residuos. Parte importante de la propuesta es la participación de la mano de obra directa, esto es la fuerza de segregación del sector informal, por lo cual se recomienda la integración de los métodos manuales a los sistemas mecánicos haciendo referencia a los beneficios que obtendrían los trabajadores al operar

con sistemas estandarizados, generando a su vez empleo y beneficios para el sector informal.

Se recomienda que el volumen de residuos que ingresen al sistema de segregación dentro de la ET sea acorde a la capacidad instalada de las operaciones, esto con el propósito de no generar inventarios en proceso dentro de las instalaciones que generen un ambiente de trabajo inadecuado, improductivo e insalubre.

Los productos que no son recuperados en la ET por falta de capacidad tienen como destino el confinamiento, por lo cual se requiere que las unidades de camiones de transferencia vaya acorde al volumen de RSU recibidos y cuenten con sistemas de compactación con capacidad de transportar como mínimo una carga de 21 toneladas de RSU por viaje, esto reduce sustancialmente el número de viajes a disposición final y a su vez genera ahorros en combustibles, desgaste de camiones y menos emisiones al medio ambiente.

Se recomienda tomar en cuenta para el nuevo diseño de la ET los requerimientos de equipo mecánicos que se encuentran disponibles en el mercado actual para realizar las funciones de segregación lo cual facilita la cotización de equipos para el análisis costo-beneficio, a su vez se cuenta con un número mayor de proveedores para su instalación y mantenimiento.

Al momento de trabajar en el diseño es necesario utilizar programas de levantamiento de Lay-out a escala ser muy precisos en los espacios destinados a procesos, manejo de materiales y áreas de soporte indirectas a los procesos. Los espacios vacíos a los que no se asigna una función específica tienden a ser utilizados en el futuro para el acumulación de inventario en proceso. A su vez los caminos de acceso de entrada y salida de vehículos deben diseñarse acorde al tipo de vehículos que transitan en las instalaciones y al tráfico formado por los mismos tomando en cuenta que en un futuro cercano estos vehículos pueden incrementar sus dimensiones con el fin de recolectar o transportar mayor volumen de RSU.

Se recomienda que el diseño presente instalaciones seguras y orientadas al beneficio de los trabajadores incluyendo formales e informales debido a que la capacidad productiva en la segregación de productos depende en gran parte del factor humano, esto es incluir en el diseño caminos de acceso peatonales, sistemas de seguridad contra conatos, recuperación de lixiviados y lugar recreativo en donde tomar alimentos sin estar en contacto con los residuos.

Respectos a los procesos implementados deben estar documentados y cada actor dentro de la ETIR conozca sus funciones y responsabilidades. La capacitación continua sobre los procesos es fundamental para incrementar la eficiencia y productividad del personal.

## Referencias

Afon, A.O., y Okewole A. (2007). Estimating the quantity of solid waste generation in Oyo, Nigeria. *Waste Manage Res* 25, 371-379 doi:10.1177/0734242X07078286

Agamuthu, P. (2010). The role of informal sector for sustainable waste management. *Waste Management & Research*. 28, pp. 671–672 DOI: 10.1177/0734242X10377834

Agunwamba, J. C. (2003). Analysis of Scavengers ' Activities and Recycling in Some Cities of Nigeria, 32(1), 116–127. doi:10.1007/s00267-002-2874

Alireza, B., Gordon, M., 2012. A review-synthesis of carbon nanotubes from plastic wastes. *Chemical Engineering Journal* 195–196, 377–391. Badran,

Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2010). The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(1), 103–129. doi:10.1016/j.pecs.2009.09.001

Andarani, P., & Goto, N. (2013). Potential e-waste generated from households in Indonesia using material flow analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(2), 306-320. doi: 10.1007/s10163-013-0191-0

Auler, F., Nakashima, A. T. a, & Cuman, R. K. N. (2014). Health conditions of recyclable waste pickers. *Journal of Community Health*, 39(1), 17–22. doi:10.1007/s10900-013-9734-5

Ayodele, T.R., Alao M.A. Ogunjuyigbe A.S.O (2018) Recyclable resources from municipal solid waste: Assessment of its energy, economic and environmental benefits in Nigeria . Resources, conservation and recycling, volume 134, july 2018, pages 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.017>

A.K. Gupta (2013). *Industrial Safety and Environment*. New Delhi: Golden house.

Banco Mundial (2015). <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>; <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.ATLS.CD>

Banar, M. y Özkan, A. (2008). Characterization of the Municipal Solid Waste in Eskisehir City, Turkey. *Environ Eng Sci* 25, 1213-1220.

Bartolozzi, I., Baldereschi, E., Daddi, T., & Iraldo, F. (2018). The application of life cycle assessment (LCA) in municipal solid waste management: A comparative study on street sweeping services. *Journal of Cleaner Production*, 182, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.230>

Batool S.A. y Chuadhry M.N. (2009). The impact of municipal solid waste treatment methods on greenhouse gas emissions in Lahore, Pakistan. *Waste Manage* 29, 63-69.

Beolchini, F., Fonti, V. Dell'Anno, A. (2012). Rocchetti, L. Vegliò, Francesco Assessment of biotechnological strategies for the valorization of metal bearing wastes. *Waste Management* 32 (5) 949-956.

Blight G., E. y Mbande C., M. (1996). Some problems of waste management in developing countries. *Journal of Solid Waste Technology and Management*. 23, pp, 19-27.

Buenrostro O. e Israde I. (2003). La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México. *Rev Int Contam Ambient* 19, 161-169

Buenrostro Otoniel, Mendoza Manuel y Lopez Erna. 2008. Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *Waste Management*. Pp 1137-1146.

Buenrostro, O Ojeda, S. Marquez L. (2007) Comparative analysis of hazardous household waste in two Mexican regions. *Waste management* (27) (6), 792-801.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.022>

Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, a., & Colomer-Mendoza, F. J. (2010). Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Management*, 30(11), 2383–2395. doi:10.1016/j.wasman.2010.03.001

Bovea, M. D., Cruz-Sotelo, S., Mercante, I., Coutinho-Nobrega, C., Eljaiek-Urzola, M., & Ibañez-Flores, V. (2016). Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para evaluar el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos en Iberoamérica. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 32 (especial residuos sólidos) 23-46. Doi:10.20937/Rica.2016.32.05.03

Castillo Berthier, H. (2003). Garbage, work and society. *Resources, Conservation and Recycling*, 39(3), 193–210

Cobo, S., Domínguez-Ramos, A., Irabien, A. (2018) From linear to circular integrated waste management systems: a review of methodological approaches. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.003>

Collins A., O'Doherty R.; Snel M. C. Household participation in waste recycling: Some national survey evidence from Scotland. *Journal of Environmental Planning and Management*. 49: pp. 121-140.

Colomer, F. J., Gallardo, .A (2007). Tratamiento de residuos sólidos. LIMUSA. México, D.F, 319pp

Conke, S., (2018) Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. *Resources, Conservation and Recycling* Volume 134, July 2018, Pages 129-135 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.007>

COPLADE (2014) Comité de planeación para el desarrollo del estado. <http://www.coplademm.org.mx/data/anuario/anuario%202015/ANUARIO%20ESTADISTICO%20CENTENARIO%20DE%20TU%20CAPITAL%202015.pdf>

Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>

Chatzouridis, C., & Komilis, D. (2012). Resources , Conservation and Recycling A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. *“Resources, Conservation & Recycling,”* 60, 89–98. doi:10.1016/j.resconrec.2011.12.004

Chattopadhyay, S., Dutta, A., & Ray, S. (2009). Municipal solid waste management in Kolkata, India - a review. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(4), 1449–58. doi:10.1016/j.wasman.2008.08.030

Chandramohan, a, Ravichandran, C., & Sivasankar, V. (2010). Solid waste, its health impairments and role of rag pickers in Tiruchirappalli city, Tamil Nadu, Southern India. *Waste Management & Research : The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 28(10), 951–8. doi:10.1177/0734242X09352705

Chen, X., Geng, Y., & Fujita, T. (2010). An overview of municipal solid waste management in China. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 30(4), 716–24. doi:10.1016/j.wasman.2009.10.011

Chidi Nzeadibe Thaddeus & Ajero Chukwuedozie K. (2011). Development impact of advocacy initiatives in solid waste management in Nigeria. DOI 10.1007/s10668-010-9254-8

Cruz-Sotelo, S. E., Ojeda-Benítez, S., Jáuregui Sesma, J., Velázquez-Victorica, K. I., Santillán-Soto, N., García-Cueto, O. R., Alcántara Concepción V. y Alcántara, C. (2017). E-Waste Supply Chain in Mexico: Challenges and Opportunities for Sustainable Management. *Sustainability*, 9(4), 503

Dahlén L., Anders L., (2007), Methods for household waste composition studies, *Waste Management*, 28(7), 1100-1112.

Das, S., Bhattacharyya, B.K., 2015. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Manag.* 43, 9e18.

Díaz-Barriga-Fernández, A.D., Santibañez-Aguilar, J.E., Radwan, N., El-Halwagi, M.M., Ponce-Ortega, J.M (2017) Strategic Planning for Managing Municipal Solid Wastes with Consideration of Multiple Stakeholders. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 5(11), 10744-10762. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b02717

Di Maria, F., & Micale, C. (2013). Impact of source segregation intensity of solid waste on fuel consumption and collection costs. *Waste management* 33(11), 2170–6.

Eia, R. (2016). Mathematical model for transfer station location of urban solid waste, (c), 61–70.

Elliot S. J., Wakefield S. I., Taylor M. S., Dunn J. R., Walter S., Ostry A., Hertzman C.A., Comparative analysis of the psychosocial impacts of waste disposal facilities (2004). *Journal of environmental planning and Management*. 47: (3), pp. 351-363

EPA (2015). Municipal solid waste. US Environmental Protection Agency. Disponible en: <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/>

EPA (2015). Municipal solid waste. US Environmental Protection Agency. Disponible en: <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/transfer.htm>

Edjabou, M. E., Jensen, M. B., Götze, R., Pivnenko, K., Petersen, C., Scheutz, C., & Astrup, T. F. (2015). Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation. *Waste Management*, 36, 12–23. doi:10.1016/j.wasman.2014.11.009

Eurostat (2015). European statistics. Disponible en: [ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en)

Francisco José Colomer Mendoza y Antonio Gallardo Izquierdo (2007). Tratamiento y gestión de residuos sólidos. México D.F. Limusa.

Fodor, Z., & Klemeš, J. J. (2012). Waste as alternative fuel - Minimising emissions and effluents by advanced design. *Process Safety and Environmental Protection*, 90(3), 263–284. doi:10.1016/j.psep.2011.09.004

Gallardo, a., Carlos, M., Peris, M. ., & Colomer, F. J. (2014). Methodology to design a municipal waste pre-collection system. a case study. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 36, 1–11. doi:10.1016/j.wasman.2014.05.014

Garcia, D., You, F (2017) Systems engineering opportunities for agricultural and organic waste management in the food–water–energy nexus. *Current Opinion in Chemical Engineering*. Volume 18, Pages 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2017.08.004>

Ghiani, G., Manni, A., Manni, E., & Toraldo, M. (2014). The impact of an efficient collection sites location on the zoning phase in municipal solid waste management. *Waste Management*, 34(11), 1949–1956. doi:10.1016/j.wasman.2014.05.026

Gilardino, A., Rojas, J., Mattos, H., Larrea-Gallegos, G., & Vázquez-Rowe, I. (2017). Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Peru). *Journal of Cleaner Production*, 156, 589–603. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.005>

Hitoshi Kume, (2002). Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Colombia : Grupo Editorial Norma.

Hur, T., Lim, H., Lee, H., 2003. A study on the eco-efficiencies for recycling methods of plastics wastes. In: Presentation at the Conference: “InLCA/LCM 2003” in Seattle, Washington, USA.

Ibáñez-Forés, V., Bovea, M. D., Coutinho-Nóbrega, C., de Medeiros-García, H. R., & Barreto-Lins, R. (2017). Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. *Waste Management*, 72, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.027>

ISO 14040, 2006. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework.

ISO 14044, 2006. Environmental Management d Life Cycle Assessment d Requirements and Guidelines.

Jauregui Sesama Jorge M. Salcedo Maldonado Martha P. Ojeda Benitez Sara, Cruz Sotelo Samantha E. Ahumada Valdez Silvia E. y Ramirez Barreto Elizabeth (2016) Estación de transferencia de residuos sólidos urbanos. En Avances en investigación ambiental en la UABC [recurso electrónico]: conociendo nuestro ambiente 2016 / coordinadoras Concepción Carreón Diazconti, Silvia Estela Ahumada Valdez y María Elizabeth Ramírez Barreto. -- Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California, 2016.

Laner, D., & Rechberger, H. (2009). Quantitative evaluation of waste prevention on the level of small and medium sized enterprises (SMEs). *Waste management*, 29(2), 606-613.

Lepawsky, J. (2015). The changing geography of global trade in electronic discards: time to rethink the e-waste problem. *The Geographical Journal*, 181 (2), 147-159. DOI: 10.1111/geoj.12077

Lino, F. a M., & Ismail, K. a R. (2013). Alternative treatments for the municipal solid waste and domestic sewage in Campinas, Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 81(2013), 24–30. doi:10.1016/j.resconrec.2013.09.007

Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N., & Brandt, N. (2010). Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 246–259. doi:10.1016/j.resconrec.2010.09.014

Li, G., Zhang, Z., Sun, H., Chen, J., An, T., & Li, B. (2013). Pollution profiles , health risk of VOCs and biohazards emitted from municipal solid waste transfer station and elimination by an integrated biological-photocatalytic flow system : A pilot-scale investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 250-251, 147–154. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.01.059

LGPGIR (2015). Ley General para la prevención y gestión integral de los residuos. Disponible : [http://www.pemex.com/acerca/marco\\_normativo/Documents/leyes/LeyGral-PGIR\\_051113.pdf](http://www.pemex.com/acerca/marco_normativo/Documents/leyes/LeyGral-PGIR_051113.pdf)

LGPGIR para el estado de Baja California (2015). Disponible en: <http://docs.mexico.justia.com/estatales/baja-california/ley-de-prevencion-y-gestion-integral-de-residuos-para-el-estado-de-baja-california.pdf>

LGEEPA(2015). Ley General de equilibrio ecológico y protección al ambiente. Disponible en:<http://www.metro.df.gob.mx/transparencia/imagenes/fr1/normaplicable/2014/1/lgeepa14012014.pdf>

Manpreet Hora, Hari Bapuji, Aleda V. Roth (2011) Safety hazard and time to recall: The role of recall strategy, product defect type, and supply chain player in the U.S. toy industry Original Research Article *Journal of Operations Management*, Volume 29, Issues 7–8, Pages 766-777

Morales Castro J.A. Morales Castro A. (2003). Proyectos de Inversión en la práctica. México D.F. GASCA

Mexican National Institute of Ecology, 2012. Generaion and Composition of the Municipal Solid Wastes, Mexico City, Mexico. <<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/128/cap3.html>> (accessed 04.01.13).Minciardi,

Michael L. George, David Rowlands, Mark Price, John Maxey (2005). Lean Six Sigma Pocket Tool Book. E.U. : Mc Graw Hill.

Michael Hammer y James Champy (2014). Reingeniería: olvide todo lo que usted sabe sobre como debe funcionar una empresa, casi todo está errado. Mexico D.F. Norma.

Niebel B. W. y Andris Freivalds (2006). Ingeniería Industrial, Métodos estándares y diseño del trabajo. México D.F.: Alfaomega

Niño, C., Juan, J., Hernández, P., Demográficos, E., México, E. C. De, & Federal, D. (2012). nuevas realidades , nuevas desigualdades \*, 27, 95–117.

Nzeadibe, T. C., & Ajaero, C. K. (2010). Development impact of advocacy initiatives in solid waste management in Nigeria. *Environment, Development and Sustainability*, 13(1), 163–177. doi:10.1007/s10668-010-9254-8

OECD (2014), Factbook 2013: Economic, Environmental and Social Statistics. Municipal waste, Environment Statistics (database). doi:[10.1787/data-00601-en](https://doi.org/10.1787/data-00601-en) (Accessed on 07 February 2014)

Ojeda B. S., Armijo de V. C., Ramírez B. E. (2002). Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives. Resources, conservation and recycling, pp. 273-287

Owusu, V., Adjei-Addo, E., & Sundberg, C. (2013). Do economic incentives affect attitudes to solid waste source separation? Evidence from Ghana. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 115–123. doi:10.1016/j.resconrec.2013.07.002

Papageorgiou, a., Barton, J. R., & Karagiannidis, a. (2009). Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for

England. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 2999–3012. doi:10.1016/j.jenvman.2009.04.012

Parizeau, K. (2013). Formalization beckons: a baseline of informal recycling work in Buenos Aires, 2007-2011. *Environment and Urbanization*, 25(2), 501–521. doi:10.1177/0956247813491699

Pattnaik, S., & Reddy, M. V. (2010). Assessment of Municipal Solid Waste management in Puducherry (Pondicherry), India. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(8), 512–520. doi:10.1016/j.resconrec.2009.10.008

PNPGIR (2009-2012) Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos. Disponible: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5112600&fecha=02/10/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5112600&fecha=02/10/2009)

Pires, A., Martinho, G., & Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033–50. doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.024

Pillai, R. (2011). Municipal Solid Waste Management: Current Practices and Futuristic Approach, 72–79.

Pillai, R. Rinal, S. (2014) Municipal Solid Waste Management: Current Practices and Futuristic Approach, 72–77

Rada, E. C., Ragazzi, M., Zardi, D., Laiti, L., & Ferrari, a. (2011). PCDD/F environmental impact from municipal solid waste bio-drying plant. *Chemosphere*, 84(3), 289–95. doi:10.1016/j.chemosphere.2011.04.019

Reglamento para la preservación del aseo público en el municipio de Mexicali B.C. (2015). Disponible: <http://www.mexicali.gob.mx/transparencia/normatividad/reglamentos/pdf/preservacionAseoPublico.pdf>

Rigamonti, L., Grosso, M., Møller, J., Martinez Sanchez, V., Magnani, S., & Christensen, T. H. (2014). Environmental evaluation of plastic waste management scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*. doi:10.1016/j.resconrec.2013.12.012

Ripa, M., Fiorentino, G., Vacca, V., & Ulgiati, S. (2017). The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 142, 445–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.149>

Santibañez-Aguilar, J. E., Ponce-Ortega, J. M., Betzabe González-Campos, J., Serna-González, M., & El-Halwagi, M. M. (2013). Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(12), 2607–22. doi:10.1016/j.wasman.2013.08.010

Sánchez J. y Estrada R. (1996) 'Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas', *Instituto Nacional de Ecología*, (En línea): <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/105.pdf> (Accesado 20 julio 2015).

Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable (2015). Disponible en: [www.ambiente.gob.ar/observatoriorsu/informacion\\_general/estadisticas.html](http://www.ambiente.gob.ar/observatoriorsu/informacion_general/estadisticas.html)

SEMARNAT (2015). Secretaría del medio ambiente y recursos naturales. Disponible en: [semarnat.gob.mx/dgeia/compendio\\_2014/mce\\_index.html](http://semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2014/mce_index.html)

Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., & Sadiq, R. (2014). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of Municipal Solid Waste Management : A review. *Waste Management*, 1, 318–328. doi:10.1016/j.wasman.2014.09.010

Son, L.H., Louati, A., 2016. Modeling municipal solid waste collection: a generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows. *Waste Manag.* 52, 34e49.

Sthiannopkao, S., & Wong, M. H. (2013). Handling e-waste in developed and developing countries: initiatives, practices, and consequences. *Sci Total Environ*, 463-464, 1147-1153. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.088

Stowell, Ö. B. a. A. (2016). Skills in the green economy: recycling promises in the UK e-waste management sector.

Sevigné Itoiz, E., Gasol, C. M., Farreny, R., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2013). CO2ZW: Carbon footprint tool for municipal solid waste management for policy options in Europe. Inventory of Mediterranean countries. *Energy Policy*, 56, 623–632. doi:10.1016/j.enpol.2013.01.027

Tan, S. T., Lee, C. T., Hashim, H., Ho, W. S., & Lim, J. S. (2013). Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 71, 48–58. doi:10.1016/j.jclepro.2013.12.005

USEPA (2015). UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA) Waste-Non-Hazardous Waste-Municipal Solid Waste. Disponible en: <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/index.htm> consultado en: 28 Febrero del 2014

Varón, K.; Orejuela J. P. y Manyoma, P.C. (2015) 'Modelo matemático para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos', *Revista EIA*, 12(23) pp.61-70.

Villanova Nicolás. (2012). ¿Excluidos o incluidos?: Recuperadores de materiales reciclables en Latinoamérica. *Revista mexicana de sociología*, 74, pp. 245-274.

Wadehra S. Arabinda M. (2018) Encouraging urban households to segregate the waste they generate: Insights from a field experiment in Delhi, India *Resources, Conservation and Recycling*. Volumen 134, July 2018, pp 239-247

Wilson D. C., Cheesema C. (2006). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat international*. 30, pp.797-808.

Wen Tien T., Yao Hung Ch., Chien Ming L., Hsin Chieh H., keng Yu., Chunh Siang Ch., (2007). Perspective on resource recycling from municipal solid waste in Taiwan. *Resources Policy*. 32 (1-2): 69-79.

Washburn, B. E. (2012). Landscape and Urban Planning Avian use of solid waste transfer stations. *Landscape and Urban Planning*, 104(3-4), 388–394. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.11.014

Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 865–875. doi:10.1016/j.resconrec.2011.04.009

Závodská, a., Benešová, L., Smyth, B., & Morrissey, a. J. (2014). A comparison of biodegradable municipal waste (BMW) management strategies in Ireland and the Czech Republic and the lessons learned. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 136–144. doi:10.1016/j.resconrec.2014.09.007

Zang, B., & Zhang, Y. L. H. (2013). Optimization for MSW logistics of new Xicheng and new Dongcheng districts in Beijing based on maximum capacity of transfer stations, 449–460. doi:10.1007/s10163-013-0149-2

Zhang, D. Q., Tan, S. K., & Gersberg, R. M. (2010). Municipal solid waste management in China: status, problems and challenges. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1623–33. doi:10.1016/j.jenvman.2010.03.012

Zang, B., & Zhang, Y. L. H. (2013). Optimization for MSW logistics of new Xicheng and new Dongcheng districts in Beijing based on maximum capacity of transfer stations, 449–460. doi:10.1007/s10163-013-0149-2

Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2014). An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: Physical, chemical composition and heating value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 107–122. doi:10.1016/j.rser.2014.04.024



## Anexo 1

### Anexo 1 Guía para calificar la velocidad de la actuación

HABILIDAD	BASE 100	ESFUERZO
<p><b>EXCEPCIONAL</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Se adapta con toda naturalidad al trabajo.</li> <li>Trabaja como máquina.</li> <li>Los movimientos son rápidos y suaves que son difíciles de seguir.</li> <li>Parece que no necesita pensar en lo que hace.</li> <li>Salta a la vista que es el mejor.</li> </ol>	<b>130</b>	<p><b>EXCEPCIONAL</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Trabaja con ritmo imposible de mantener durante todo el turno de trabajo.</li> </ol>
<p><b>EXCELENTE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Muestra velocidad y suavidad en su ejecución.</li> <li>Completamente familiarizado con el trabajo.</li> <li>No comete errores.</li> <li>Es rápido en su trabajo sin sacrificar la calidad.</li> </ol>	<b>115</b>	<p><b>EXCELENTE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Trabaja aprisa</li> <li>Reduce al mínimo los movimientos inútiles.</li> <li>Trabaja rutinariamente para mejorar su esfuerzo.</li> <li>No puede mantener su esfuerzo continuamente</li> </ol>
<p><b>BUENO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Rapidez promedio en sus movimientos.</li> <li>Más familiarizado con el trabajo que otros trabajadores.</li> <li>Rara vez comete errores.</li> <li>No se detiene al planear el siguiente movimiento.</li> </ol>	<b>100</b>	<p><b>BUENO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>No pierde el tiempo.</li> <li>Trabaja con el mejor ritmo capaz de sostenerlo durante todo el turno.</li> <li>Sigue siempre una secuencia de movimientos.</li> <li>Consciente de su trabajo.</li> </ol>
<p><b>MEDIANO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Trabaja con exactitud.</li> <li>Su trabajo realizado es satisfecho.</li> <li>Entiende el manejo del equipo.</li> </ol>	<b>90</b>	<p><b>MEDIANO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Trabaja establemente.</li> <li>Planea de antemano sus movimientos.</li> </ol>
<p><b>POBRE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Poco familiarizado con el trabajo.</li> <li>Algo torpe en sus movimientos.</li> <li>Planea lo que hace con cierta frecuencia.</li> <li>Carece de confianza en sí mismo.</li> <li>Duda de vez en cuando</li> </ol>	<b>75</b>	<p><b>POBRE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Medianamente sistemático y siempre sigue la misma secuencia.</li> <li>Hace el trabajo con cierta dificultad.</li> <li>No emplea las mejores herramientas.</li> <li>Parece que limita el esfuerzo al hacer el trabajo.</li> <li>Parece ignorante de los trabajos manuales.</li> </ol>
<p><b>MUY POBRE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Completamente desfamiliarizado con el trabajo.</li> <li>Duda continuamente durante cada elemento de trabajo.</li> <li>Comete muchos errores.</li> <li>Los movimientos son torpes y bruscos.</li> <li>Carece de confianza en sí mismo.</li> </ol>	<b>S.C</b>	<p><b>MUY POBRE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Salta a la vista que pierde el tiempo.</li> <li>Hace dos movimientos donde bastaría uno.</li> <li>Trabaja fuera de sistema.</li> <li>Usa a propósito las herramientas indebidas.</li> <li>Trabaja tan lento que parece flojear.</li> </ol>



## Anexo 2

### Anexo 2 Márgenes o tolerancias

A. Tolerancias constantes:	%
• Tolerancia personal	5
• Tolerancia básica por fatiga	4
<b>B. Tolerancias variables</b>	
• Tolerancia por estar de pie	2
• Tolerancia por posición no normal	
a) Ligeramente molesta	0
b) Molesta (cuerpo encorvado)	2
c) Muy molesta (acostado, extendido)	7
• Empleo de fuerza o vigor muscular (para levantar, tirar de, empujar)	
Peso levantado (kilogramos y libras, respectivamente)	
2.5; 5	0
5.0; 10	1
7.5; 15	2
10; 20	3
12.5; 25	4
15; 30	5
17.5; 35	7
20; 40	9
22.5; 45	11
25.5; 50	13
30; 60	17
35; 70	22
• Alumbrado deficiente	
d) Ligeramente inferior a lo recomendado	0
e) Muy inferior	2
f) Sumamente inadecuado	5
• Condiciones atmosféricas (calor y humedad) variables	0-10
• Atención estricta	
g) Trabajo moderadamente fino	0
h) Trabajo fino o de gran cuidado	2
i) Trabajo muy fino o muy exacto	5
• Nivel de ruido	
j) Continuo	0
k) Intermitente-fuerte	2
l) Intermitente-muy fuerte	5
m) De alto volumen-fuerte	5
• Esfuerzo mental	
n) Proceso moderadamente complicado	1
o) Proceso complicado o que requiere amplia atención	4
p) Muy complicado	8
• Monotonía	
q) Escasa	0
r) Moderada	1

s) Excesiva	4
• <b>Tedio</b>	
t) Algo tedioso	0
u) Tedioso	2
v) Muy tedioso	5



### Anexo 3

## Anexo 3 Minas en el área de plancha

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencias de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>Plancha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No. de pepenadores en plancha no definido.</li> <li>-Procesos manuales no estandarizados.</li> <li>-Carencia de sistemas mecánicos.</li> <li>-Altos inventarios en proceso de RSU.</li> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-RSU se presentan en estado de difícil manejo.</li> <li>-Mal aprovechamiento del espacio.</li> <li>-El método de vaciado de los RSU no es el adecuado.</li> <li>-Los tiempos cortos para segregación.</li> <li>--No existe programa de producción.</li> <li>-Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> <li>-Herramientas y equipo en las instalaciones son inadecuadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pepenadores no capacitados.</li> <li>-Carencia de sistemas mecánicos.</li> <li>-Falta de sistemas de extracción de olores y ventilación.</li> <li>-Los altos inventarios de RSU generan un ambiente contaminante.</li> <li>-Las temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-Los RSU se presentan en estado de difícil manejo.</li> <li>-No existen programas de incentivos.</li> <li>-La división del trabajo no es equitativa.</li> <li>-Bajo rendimiento por herramienta y equipo inadecuado.</li> <li>-Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diseño no contempla un sistema de tratamiento para lixiviados.</li> <li>-Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-Los almacenes temporales no agregan valor al producto.</li> <li>-El patrón de arribos de RSU es mayor que el patrón de servicio.</li> <li>-El diseño no define el balance por Cargas de trabajo en todas las áreas.</li> <li>-El espacio (m2) de la ETIR no está diseñado para resguardar alto inventario en proceso.</li> <li>-La plancha no está diseñada para una ET con recuperación de residuos.</li> <li>-El diseño no contempla el adecuado manejo de materiales.</li> <li>-Aspecto visual afecta a la comunidad vecina.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.</li> <li>- Operadores de la ETIR y pepenadores sin equipo de seguridad y ausencia de normas.</li> <li>- Ausencia de sistema de tratamiento para lixiviados y sistemas de ventilación.</li> <li>-Limpieza en áreas de trabajo y maquinaria.</li> <li>-No hay monitoreo de normas de emisiones al aire y aguas.</li> <li>-Obstrucción de extintores.</li> <li>-El material RSU flamable.</li> <li>-No hay control de manejo de residuo especial o peligroso.</li> <li>-Presencia de fauna nociva.</li> <li>- Ausencia de señalamientos de seguridad y equipos de primeros auxilios.</li> <li>-Extintores insuficientes y con falta de mantenimiento.</li> <li>-Falta de mantenimiento a canaletas de desagüe.</li> <li>- Accesos obstruidos al ingreso de vehículos de emergencia y personal.</li> <li>- Agentes contaminantes</li> </ul>



## Anexo 4

### Anexo 4 Minas segregación secundaria

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencias de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>Segregación Secundaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Procesos manuales no estandarizados.</li> <li>-Altos inventarios en proceso de RSU.</li> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Paros continuos por fallas de maquinas.</li> <li>-Capacidad instalada de equipos mecánicos es insuficiente.</li> <li>-No existe estándares de trabajo.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El personal de la empresa no se encuentra capacitado.</li> <li>-Fallas por errores humanos.</li> <li>Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-La división del trabajo no es equitativa.</li> <li>-Falta de sistemas de extracción de olores.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El diseño no define áreas recreativas y descanso.</li> <li>-El diseño no define el balance por Cargas de trabajo en todas las áreas.</li> <li>-El espacio (m2) de la ETIR no esta diseñado para resguardar alto inventario en proceso.</li> <li>-El diseño no disminuye la generación de polvos y olores.</li> <li>- Contaminación de aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.</li> <li>- Operadores de la ETIR sin equipo de seguridad.</li> <li>-Ausencia de sistema de ventilación.</li> <li>-Limpieza en áreas de trabajo y maquinaria.</li> <li>-El material RSU flamable.</li> <li>-Presencia de fauna nociva.</li> <li>-Ausencia de señalamientos de seguridad y equipo de primeros auxilios.</li> <li>-Extintores insuficientes y con falta de mantenimiento.</li> <li>-Accesos obstruidos y no definidos al ingreso de vehículos de emergencia.</li> <li>-Contaminación de aire.</li> </ul>



## Anexo 5

### Anexo 5 Minas en el área de pesaje de producto.

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencias de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>Pesaje de Producto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Carencia de sistemas mecánicos.</li> <li>-Temperaturas ambientales extremas .</li> <li>-Equipo para traslado de materiales inadecuado.</li> <li>-Altos inventarios en proceso.</li> <li>- Mal aprovechamiento de espacio.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El personal de la empresa no se encuentra capacitado.</li> <li>Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-La división del trabajo no es equitativa.</li> <li>-Altos inventarios en proceso.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-El diseño no define el balance por Cargas de trabajo en todas las áreas.</li> <li>-El espacio (m2) de la ETIR no está diseñado para resguardar alto inventario en proceso.</li> <li>-Distribución y localización inadecuada de las estaciones de pesaje.</li> <li>-Zonas sin asfalto o concreto.</li> <li>-Ausencia de obra civil.</li> <li>-El diseño no contempla el adecuado manejo de materiales.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.</li> <li>-Operadores de la ETIR sin equipo de seguridad.</li> <li>-Limpieza en áreas de trabajo.</li> <li>-El material RSU flamable.</li> <li>-Ausencia de señalamientos de seguridad.</li> <li>-Extintores insuficientes y con falta de mantenimiento.</li> </ul>



## Anexo 6

### Anexo 6 Minas en el área de segregación terciaria.

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencias de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>Segregación Terciaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Procesos manuales no estandarizados.</li> <li>-Altos inventarios en proceso de RSU.</li> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Paros continuos por fallas de maquinas.</li> <li>-Capacidad instalada de equipos mecánicos es insuficiente.</li> <li>-No existe estándares de trabajo.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El personal de la empresa no se encuentra capacitado.</li> <li>-Fallas por errores humanos.</li> <li>Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-La división del trabajo no es equitativa.</li> <li>-Falta de sistemas de extracción de olores.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El diseño no define áreas recreativas y descanso.</li> <li>-El diseño no define el balance por Cargas de trabajo en todas las áreas.</li> <li>-El espacio (m2) de la ETIR no esta diseñado para resguardar alto inventario en proceso.</li> <li>-El diseño no disminuye la generación de polvos y olores.</li> <li>- Contaminación de aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.</li> <li>- Operadores de la ETIR sin equipo de seguridad.</li> <li>-Ausencia de sistema de ventilación.</li> <li>-Limpieza en áreas de trabajo y maquinaria.</li> <li>-El material RSU flamable.</li> <li>-Presencia de fauna nociva.</li> <li>-Ausencia de señalamientos de seguridad y equipo de primeros auxilios.</li> <li>-Extintores insuficientes y con falta de mantenimiento.</li> <li>-Accesos obstruidos y no definidos al ingreso de vehículos de emergencia.</li> <li>-Contaminación de aire.</li> </ul>



## Anexo 7

### Anexo 7 Minas en el área de compactación.

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencias de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>Compactación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos inventarios en proceso de RSU.</li> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Mal aprovechamiento del espacio.</li> <li>-Paros continuos por fallas de maquinas.</li> <li>- Capacidad instalada de equipos mecánicos es insuficiente.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Ausencia de áreas recreativas o descanso.</li> <li>-La división del trabajo no es equitativa.</li> <li>-Altos inventarios de RSU en proceso.</li> <li>-Herramienta y equipo de trabajo no contribuye al rendimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El diseño no define el balance por Cargas de trabajo en todas las áreas.</li> <li>-El espacio (m2) de la ETIR no esta diseñado para resguardar alto inventario en proceso.</li> <li>- El diseño no contempla el adecuado manejo de materiales.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.</li> <li>- Operadores de la ETIR sin equipo de seguridad.</li> <li>-El material RSU flamable.</li> <li>- Ausencia de señalamientos de seguridad y equipo de primeros auxilios.</li> <li>-Extintores insuficientes y con falta de mantenimiento.</li> <li>- Falta de mantenimiento y limpieza a la maquinaria.</li> </ul>



## Anexo 8

### Anexo 8 Minas en el área de almacén.

Área	Capacidad productiva Limitada	Bajo rendimiento en eficiencias de personal	Operación ineficiente por diseño de planta	Riesgo de contingencias y accidentes
<b>Almacenaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>-Mal aprovechamiento del espacio.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El personal de la empresa no se encuentra capacitado.</li> <li>-Temperaturas ambientales extremas.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No hay área definida para producto final.</li> <li>-El diseño no define el balance por Cargas de trabajo en todas las áreas.</li> <li>-Ausencia de obra civil.</li> <li>-El aspecto visual afecta a la comunidad vecina.</li> <li>- Agentes contaminantes: olor, emisión de gases y ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Responsables del control de emergencias fuera de la ETIR.</li> <li>-El material RSU flamable.</li> <li>-Ausencia de señalamientos de seguridad.</li> <li>-Extintores insuficientes y con falta de mantenimiento.</li> <li>-Falta de mantenimiento a canaletas de desagüe.</li> </ul>