

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN
DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y
ELECTRÓNICOS (RAEE) BASADA EN LA METODOLOGÍA DE
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA APLICADA A EMPRESAS
RECICLADORAS DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

MARIO EDUARDO CÁRCAMO CORTEZ
JOSÉ MIGUEL MARTÍNEZ LARA
ANTONIA ELIZABETH PÉREZ CASTILLO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

DR. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

ING. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO QUÍMICO

Título:

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE
RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)
BASADA EN LA METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA
APLICADA A EMPRESAS RECICLADORAS DE EL SALVADOR**

Presentado por:

MARIO EDUARDO CÁRCAMO CORTEZ
JOSÉ MIGUEL MARTÍNEZ LARA
ANTONIA ELIZABETH PÉREZ CASTILLO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente asesora:

ING. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

Asesor externo:

ING. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE

SAN SALVADOR, MARZO 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente asesora:

ING. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

Asesor externo:

ING. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE

Agradecimientos por: Mario Eduardo Cárcamo Cortez

A Dios por llenarme de sabiduría, paciencia, curiosidad y dedicación, virtudes que constantemente le pedía en mis oraciones para poder culminar esta etapa, también agradecerle a la virgencita por siempre cuidar de mí en cada paso que doy y por siempre derramar su infinito amor de madre sobre mí.

Principalmente agradecerle a mi familia que representa el pilar más grande de mi vida. A mis padres Carlos y RosaMaría por todo el amor, apoyo incondicional, consejos y sobre todo el ejemplo de cómo ser un buen profesional y más que nada una excelente persona, también estaré eternamente agradecido por el sacrificio que hacen diariamente para que mis hermanos y yo dispongamos de todas las herramientas para poder alcanzar cualquier meta que nos propongamos. A mis hermanos Irene y Xavier por siempre estar a mi lado, por representar para mí la alegría, el descanso, la motivación, la risa y la escucha en esta etapa, no lo hubiera logrado sin ninguno de ustedes dos. A mi abuela Rosalía por su apoyo y cariño diario, por siempre preocuparse de mi bienestar y tenerme presente en sus oraciones diarias, a mi abuelo Pablo por todo su cariño, motivación y por ser un gran ejemplo de dedicación y trabajo duro.

A mis grandes amigos Aurora, Elizabeth, Estefany, Miguel y Rafael que me acompañaron a lo largo de la carrera, por los largos días de clases y laboratorios, las extenuantes noches de desvelo, por todas las risas, los viajes, los almuerzos y refrigerios que compartimos. En especial agradecerles a Elizabeth y a Miguel que fueron mis compañeros de tesis, por toda la dedicación, interés y sacrificio puesto en la investigación. Un agradecimiento adicional para Omar y David que a pesar de que no estudiáramos la misma ingeniería también formaron parte importante de mi vida universitaria.

A la Ing. Sara Orellana y al ingeniero Nelson Vaquero, por compartir sus conocimientos, por desempeñar su trabajo como asesores de excelente manera, por siempre guiarnos, corregirnos, aconsejarnos y hacer posible esta investigación

Finalmente, agradecerles a todos los docentes que fueron parte de mi formación como profesional, en especial a la Ing. Rico, al Ing. Teodoro, a la Ing. Gamero y a la Ing. Cecilia, por compartir sus conocimientos, experiencias y consejos, de tal manera que me interesara cada vez más en aprender y poder llegar a ser un gran Ingeniero químico, como ellos.

Agradecimientos por: José Miguel Martínez Lara

A Dios por darme la fortaleza para perseverar a lo largo de mi formación académica, cuidarme y darme salud, a mi mamá por apoyarme durante los años que llevo como estudiante y darme lo necesario para seguir adelante, a mis hermanas María Ida y Pilar y familia, por brindarme su ayuda incondicional siempre que la necesité.

A mis maestros y asesores de tesis por su conocimiento y sus consejos tanto personales como profesionales. A mis compañeros de tesis Elizabeth y Mario por su paciencia y apoyo a lo largo de la realización del trabajo ambos son amigos muy apreciados para mí. Especialmente a Elizabeth mi novia por reconfórtame y darme aliento cuando mi ánimo y determinación parecía decaer, llenándome de amor y momentos agradables.

A mis queridos amigos Raúl, Cesar, Aurora y Estefany por hacer mis momentos amenos y divertidos cada uno de ellos me ayudó a crecer como persona, aunque no se hayan dado cuenta de los cambios que generaron en mí, espero disfrutar de su compañía por muchísimo más tiempo. Puede que no mencione a todas las personas que en algún momento también me brindaron su ayuda, pero les estoy agradecido.

Agradecimientos por: Elizabeth Pérez Castillo

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fortaleza y sabiduría a lo largo de estos años de mi vida, a la Virgencita María Auxiliadora por siempre darme paz y acogerme en su casa.

Quiero agradecer también a mis padres, Carmen e Israel, por su apoyo incondicional en esta etapa, a mi hermana Alexandra y a toda mi familia por acompañarme siempre.

A Miguel, por darme todo su cariño y palabras de aliento, me has motivado en estos últimos años a no rendirme para cumplir esta meta que ahora celebramos juntos.

También le agradezco a Mario, porque más que mi compañero de tesis has sido un gran amigo en este proceso.

A todos los amigos con los que compartí a lo largo de estos años les agradezco por su tiempo, especialmente a Fátima y Celeste quienes han estado pendientes de mí.

Agradecer también al Ing. Nelson, Inga. Sara, Inga. Gamero e Inga. Rosmery por sus aportes en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos, compañeros de universidad y a todas aquellas personas que han aportado en mi formación, gracias.

RESUMEN

La siguiente investigación tuvo como principal objetivo presentar una propuesta de guía técnica para la gestión integral de RAEE para empresas recicladoras de El Salvador, para ello se realizó un estudio bibliográfico en conjunto de estudio de campo en algunas empresas gestoras de RAEE.

En primer lugar se obtuvo una visión general del estado actual de las empresas gestoras de RAEE de El Salvador, para ello se utilizó la herramienta del *Diagnóstico de Desempeño Ambiental* a algunas empresas de este rubro, con ello se definieron las principales oportunidades de mejora y se obtuvo información preliminar para obtener una línea base de RAEE generados en El Salvador. En ese sentido, se detalla mediante un balance de materiales las cantidades y caracterización de los principales RAEE que se gestionan en dichas empresas. Además, se concretizaron las etapas del proceso de gestión de RAEE.

Mediante los resultados obtenidos en el DDA, las visitas a las empresas y el análisis de los datos de RAEE, se realizaron propuestas para la gestión de residuos en general, haciendo énfasis en aquellos residuos que actualmente no aprovechables, como por ejemplo plásticos con contenido de retardante de llama.

Entre las alternativas de producción más limpia presentadas a las recicladoras se incluyeron las siguientes:

- i. Implementación de sistema fotovoltaico en instalaciones de las empresas.
- ii. Identificación de plásticos e implementación de pelletizadora para plásticos reciclables

La primera, enfocada principalmente al uso eficiente de recursos (recurso energético en ese caso en particular), mientras que la segunda alternativa pretende presentar una propuesta de metodología para la identificación de plásticos que contienen los RAEE; ambas incluyen la factibilidad técnica, ambiental y económica de las mismas.

Finalmente, se realizó un análisis de lineamientos y guías técnicas para la gestión de RAEE de El Salvador y Latinoamérica, para así determinar su relación con la realidad salvadoreña y con las empresas recicladoras, obteniéndose como producto de la investigación una guía base para la comprensión de gestión de RAEE con un enfoque de producción más limpia.

Índice de contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	3
ALCANCES	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1. Generalidades de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.....	6
1.1.1. Categorización de los AEE	7
1.1.2. Composición y Peligrosidad de los RAEE	9
1.1.3. Impacto en la salud humana y en el ambiente por la gestión inadecuada de los RAEE.....	12
1.1.4. Normativa relacionada a los RAEE en El Salvador.....	17
1.2. Gestión Integral de RAEE	20
1.2.1. Estimaciones de cantidades RAEE en El Salvador (CNPML).....	21
1.2.2. Importancia de la Gestión Diferenciada de Residuos	24
1.2.3. Gestores de RAEE	26
1.2.4. Requerimientos básicos para el manejo de RAEE en El Salvador	27
1.2.5. Ciclo de vida de los AEE y RAEE	30
1.2.6. Descripción del proceso de gestión de RAEE	31
1.2.7. Proceso de recuperación de RAEE dentro de las empresas recicladoras	36
2. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	41
2.1. Ecoeficiencia y PML	42
2.2. Antecedentes de PML en El Salvador	43
2.2.1. Desarrollo de la PML en El Salvador	44
2.2.2. Centro Nacional de Producción Más Limpia	46
2.3. Metodología de PML	48
2.3.1. Etapa 1: Planeación y organización.....	48
2.3.2. Etapa 2: Pre-evaluación	49
2.3.3. Etapa 3: Evaluación	53
2.3.4. Etapa 4: Estudios de factibilidad.....	54
2.3.5. Etapa 5: Implementación.....	57

	Pág.
3. DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EMPRESAS RECICLADORAS	58
3.1. Planeación y Organización	58
3.1.1. Compromiso de la Gerencia	58
3.1.2. Organizar el equipo del proyecto de PML.....	59
3.1.3. Definir metas de PML	59
3.1.4. Identificar barreras y soluciones	60
3.2. Pre-evaluación	60
3.2.1. Descripción de evaluación inicial de empresas recicladoras	60
3.2.2. Diagramas de flujo de una planta recicladora.....	71
3.2.3. Clasificación y categorización de flujos de entrada y salida del proceso	74
3.2.4. Identificación de aspectos e impactos ambientales del proceso	78
3.2.5. Enfoque de diagnóstico	83
3.3. Evaluación.....	83
3.3.1. Balance de materiales	84
3.3.2. Evaluación de causas de generación de residuos	99
3.3.3. Generación de opciones de PML	99
3.3.4. Selección de opciones de PML	103
3.4. Estudios de Factibilidad.....	103
3.4.1. Propuesta 1: Implementación de sistema fotovoltaico	104
3.4.2. Propuesta 2: Identificación de plásticos e implementación de pelletizadora para plásticos reciclables	108
3.5. Análisis de resultados y conclusiones de estudio de PML	120
4. PROPUESTA DE GUÍA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE RAEE BASADA EN LA METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA APLICADA A EMPRESAS RECICLADORAS DE EL SALVADOR	126
4.1. Resumen de revisión bibliográfica de los documentos	127
4.2. Análisis de fortalezas y debilidades de los documentos de gestión de RAEE.....	136
4.2.1. Fortalezas de los documentos	136
4.2.2. Debilidades de los documentos	137
CONCLUSIONES	141
RECOMENDACIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	146

	Pág.
GLOSARIO	149
Índice de Anexos	159
A. Anexo 1: Resultados del Diagnóstico de Desempeño Ambiental	160
A. Anexo 2: Análisis técnico para la implementación de paneles solares	181
B. Anexo 3: Metodología de identificación de plásticos bromados	185
C. Anexo 4: Propuesta de guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador	190

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1.1. <i>Categorización de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) en la UE según Directiva RAEE de 2012</i>	8
Tabla 1.2. <i>Composición porcentual de materiales presentes en los RAEE</i>	10
Tabla 1.3. <i>Sustancias peligrosas y su localización en los RAEE</i>	11
Tabla 1.4. <i>AEE y componentes con potencial de daños a la salud y medio ambiente</i>	14
Tabla 1.5. <i>Convenios internacionales referentes a RAEE ratificados por El Salvador</i>	18
Tabla 1.6. <i>Leyes y reglamentos referentes a RAEE en El Salvador</i>	19
Tabla 1.7. <i>Resultados obtenidos sobre AEE y RAEE generados en El Salvador (2010-2025)</i>	22
Tabla 1.8. <i>Generación de RAEE per cápita en El Salvador (2010-2019)</i>	23
Tabla 1.9. <i>Datos de RAEE de El Salvador</i>	24
Tabla 1.10. <i>Datos de RAEE en países de América Latina y Europa</i>	24
Tabla 1.11. <i>Empresas autorizadas para gestión de RAEE</i>	26
Tabla 2.1. <i>Aspectos ambientales evaluados en DDA</i>	51
Tabla 2.2. <i>Indicadores de cumplimiento</i>	52
Tabla 3.1. <i>Facturación eléctrica de la empresa</i>	69
Tabla 3.2. <i>Consumo de agua mensual en una empresa</i>	70
Tabla 3.3. <i>Residuos sólidos comunes generados</i>	71
Tabla 3.4. <i>Entradas y salidas del diagrama de flujo</i>	73
Tabla 3.5. <i>RAEE más significativos en empresas gestoras</i>	74
Tabla 3.6. <i>Categorías de RAEE procesados en empresas gestoras</i>	77
Tabla 3.7. <i>Resumen de identificación de aspectos e impactos según etapas</i>	78
Tabla 3.8. <i>Volúmenes de RAEE desensamblados</i>	84
Tabla 3.9. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para un cajero automático</i>	85
Tabla 3.10. <i>Entradas y salidas proceso de una impresora matricial</i>	86
Tabla 3.11. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de modem 1</i>	88
Tabla 3.12. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de modem 2</i>	88
Tabla 3.13. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de CPU1</i>	90
Tabla 3.14. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de CPU DELL</i>	91
Tabla 3.15. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para UPS</i>	92
Tabla 3.16. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para antenas de fibra</i>	92
Tabla 3.17. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para LCD's</i>	93
Tabla 3.18. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para aires acondicionados</i>	94

	Pág.
Tabla 3.19. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para teléfono fijo</i>	95
Tabla 3.20. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para DVR</i>	95
Tabla 3.21. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para escáner</i>	96
Tabla 3.22. <i>Entradas y salidas proceso de desensamblaje para electrodomésticos</i>	97
Tabla 3.23. <i>RAEE que no entra al proceso de desensamblaje</i>	97
Tabla 3.24. <i>Porcentaje en peso de componentes RAEE desensamblados</i>	98
Tabla 3.25. <i>Porcentaje de materiales gestionados</i>	98
Tabla 3.26. <i>Características de los equipos del sistema fotovoltaico</i>	105
Tabla 3.27. <i>Valor monetario ahorrado de facturación</i>	105
Tabla 3.28. <i>Inversión inicial para implementar propuesta de proyecto fotovoltaico</i>	106
Tabla 3.29. <i>Depreciación total anual del sistema fotovoltaico</i>	106
Tabla 3.30. <i>Indicadores de rentabilidad del proyecto</i>	107
Tabla 3.31. <i>Indicadores ambientales del proyecto</i>	107
Tabla 3.32. <i>Tipos de plásticos contenidos en RAEE</i>	110
Tabla 3.33. <i>Plásticos de RAEE procesados</i>	111
Tabla 3.34. <i>Porcentaje de plástico presente según el tipo de RAEE</i>	112
Tabla 3.35. <i>Porcentaje de plástico presente según el tipo de RAEE</i>	113
Tabla 3.36. <i>Opciones de pelletizadoras viables</i>	114
Tabla 3.37. <i>Análisis de ventajas y desventajas de las opciones de pelletizadoras</i>	114
Tabla 3.38. <i>Comparación de ganancias por venta de plástico reciclado</i>	116
Tabla 3.39. <i>Inversión inicial para implementar propuesta de peletizadora</i>	117
Tabla 3.40. <i>Valor monetario de consumo energético</i>	117
Tabla 3.41. <i>Inversión inicial para implementar propuesta de pelletizadora</i>	117
Tabla 3.42. <i>Indicadores de rentabilidad del proyecto</i>	118
Tabla 4.1. <i>Fortalezas de los documentos de gestión de RAEE</i>	136
Tabla 4.2. <i>Debilidades de los documentos de gestión de RAEE</i>	138
Tabla A.1. <i>Empresa 1: Notas y status planificación ambiental</i>	161
Tabla A.2. <i>Empresa 1: Notas y status Cumplimiento legal ambiental</i>	161
Tabla A.3. <i>Empresa 1: Notas y status planificación ambiental</i>	162
Tabla A.4. <i>Empresa 1: Notas y status uso de recursos</i>	163
Tabla A.5. <i>Empresa 1: Notas y status gestión de emisiones</i>	163
Tabla A.6. <i>Empresa 1: Notas y status perspectiva de ciclo de vida</i>	164
Tabla A.7. <i>Empresa 1: Notas y status gestión de la información</i>	165
Tabla A.8. <i>Empresa 2: Notas y status planificación ambiental</i>	166

	Pág.
Tabla A.9. <i>Empresa 2: Notas y status cumplimiento legal ambiental</i>	167
Tabla A.10. <i>Empresa 2: Notas y status riesgo legal ambiental</i>	167
Tabla A.11. <i>Empresa 2: Notas y status uso de recursos</i>	168
Tabla A.12. <i>Empresa 2: Notas y status gestión de emisiones</i>	169
Tabla A.13. <i>Empresa 2: Notas y status perspectiva de vida</i>	169
Tabla A.14. <i>Empresa 2: Notas y status gestión de la información</i>	170
Tabla A.15. <i>Empresa 3: Notas y status planificación ambiental</i>	171
Tabla A.16. <i>Empresa 3: Notas y status cumplimiento legal ambiental</i>	172
Tabla A.17. <i>Empresa 3: Notas y status riesgo legal ambiental</i>	172
Tabla A.18. <i>Empresa 3: Notas y status uso de recursos</i>	173
Tabla A.19. <i>Empresa 3: Notas y status gestión de emisiones</i>	174
Tabla A.20. <i>Empresa 3: Notas y status perspectiva de vida</i>	174
Tabla A.21. <i>Empresa 3: Notas y status gestión de la información</i>	175
Tabla A.22. <i>Empresa 4: Notas y status planificación ambiental</i>	176
Tabla A.23. <i>Empresa 4: Notas y status cumplimiento legal ambiental</i>	177
Tabla A.24. <i>Empresa 4: Notas y status riesgo legal ambiental</i>	177
Tabla A.25. <i>Empresa 4: Notas y status uso de recursos</i>	178
Tabla A.26. <i>Empresa 4: Notas y status gestión de emisiones</i>	179
Tabla A.27. <i>Empresa 4: Notas y status perspectiva de vida</i>	179
Tabla A.28. <i>Empresa 4: Notas y status gestión de la información</i>	180
Tabla B.1. <i>Valores para reducción</i>	181
Tabla B.2. <i>Datos mensuales para cálculo de potencia generada</i>	183
Tabla B.3. <i>Producción mensual y anual del sistema fotovoltaico</i>	184
Tabla C.1. <i>Tipos de ABS con potencial contenido de bromo</i>	185
Tabla C.2. <i>Caracterización de muestras utilizadas en la metodología</i>	187
Tabla C.3. <i>Valoraciones de pruebas para identificación de plásticos</i>	188
Tabla C.4. <i>Porcentaje de retardante de llama por tipo de plástico</i>	189
Tabla C.5. <i>Porcentaje de retardante de llama según color</i>	189

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1.1. <i>Representación de botaderos urbanos sobre Bulevar de los Héroes 2021</i>	12
Figura 1.2. <i>Actores de la cadena de AEE</i>	21
Figura 1.3. <i>RAEE generado en toneladas según categoría y año</i>	23
Figura 1.4. <i>Disposición de residuos sólidos en áreas urbanas</i>	25
Figura 1.5. <i>Flujo de ciclo de vida AEE</i>	30
Figura 1.6. <i>Flujo de ciclo de vida RAEE</i>	31
Figura 1.7. <i>Etapas de gestión adecuada de RAEE</i>	32
Figura 1.8. <i>Cadena de valor de los RAEE</i>	36
Figura 1.9. <i>Proceso de recuperación de Metales</i>	38
Figura 1.10. <i>Proceso de recuperación de plástico</i>	40
Figura 2.1. <i>Áreas de evaluación en el estudio de factibilidad</i>	54
Figura 3.1. <i>Gráfica comparativa de resultados de DDA</i>	61
Figura 3.2. <i>Gráfica comparativa de resultados de planificación ambiental</i>	62
Figura 3.3. <i>Gráfica comparativa de aspectos de planificación ambiental</i>	62
Figura 3.4. <i>Gráfica comparativa de resultados de cumplimiento legal ambiental</i>	63
Figura 3.5. <i>Gráfica comparativa de aspectos de planificación ambiental</i>	63
Figura 3.6. <i>Gráfica comparativa de resultados de riesgo legal ambiental</i>	64
Figura 3.7. <i>Gráfica comparativa de aspectos de riesgo legal ambiental</i>	64
Figura 3.8. <i>Gráfica comparativa de resultados de uso de recursos</i>	65
Figura 3.9. <i>Gráfica comparativa de aspectos de riesgo legal ambiental</i>	65
Figura 3.10. <i>Gráfica comparativa de resultados de cumplimiento gestión de emisiones</i>	66
Figura 3.11. <i>Gráfica comparativa de aspectos de gestión de emisiones</i>	66
Figura 3.12. <i>Gráfica comparativa de resultados de perspectiva de ciclo de vida</i>	67
Figura 3.13. <i>Gráfica comparativa de aspectos de perspectiva de vida</i>	67
Figura 3.14. <i>Gráfica comparativa de resultados de gestión de información</i>	68
Figura 3.15. <i>Gráfica comparativa de aspectos de gestión de información</i>	68
Figura 3.16. <i>Diagrama de flujo de proceso de una empresa recicladora</i>	72
Figura 3.17. <i>Pelletizadora Machine Hopesun 65-200</i>	115
Figura 3.18. <i>Distribución de planta de una empresa recicladora de RAEE</i>	119
Figura 3.19. <i>Resultados DDA</i>	120
Figura 3.20. <i>Porcentaje peso de RAEE desensamblado por categoría</i>	121
Figura 3.21. <i>RAEE gestionados en 2019</i>	122
Figura 3.22. <i>Principales RAEE gestionados por recicladora en El Salvador</i>	123

	Pág.
Figura 3.23. <i>Porcentaje en peso de componentes de RAEE gestionados</i>	123
Figura 3.24. <i>Tipos de componentes RAEE gestionados</i>	124
Figura A.1. <i>Promedio total Empresa 1</i>	160
Figura A.2. <i>Empresa 1: planificación ambiental</i>	160
Figura A.3. <i>Empresa 1: Cumplimiento legal ambiental</i>	161
Figura A.4. <i>Empresa 1: Riesgo legal ambiental</i>	162
Figura A.5. <i>Empresa 1: Uso de recursos</i>	162
Figura A.6. <i>Empresa 1: Gestión de emisiones</i>	163
Figura A.7. <i>Empresa 1: Perspectiva de ciclo de vida</i>	164
Figura A.8. <i>Empresa 1: Gestión de la información</i>	164
Figura A.9. <i>Promedio total Empresa 2</i>	165
Figura A.10. <i>Empresa 2: Planificación ambiental</i>	166
Figura A.11. <i>Empresa 2: Cumplimiento legal ambiental</i>	166
Figura A.12. <i>Empresa 2: Riesgo legal ambiental</i>	167
Figura A.13. <i>Empresa 2: Uso de recursos</i>	168
Figura A.14. <i>Empresa 2: Gestión de emisiones</i>	168
Figura A.15. <i>Empresa 2: Perspectiva de vida</i>	169
Figura A.16. <i>Empresa 2: Gestión de la información</i>	170
Figura A.17. <i>Promedio total Empresa 3</i>	170
Figura A.18. <i>Empresa 3: Planificación ambiental</i>	171
Figura A.19. <i>Empresa 3: Cumplimiento legal ambiental</i>	171
Figura A.20. <i>Empresa 3: Riesgo legal ambiental</i>	172
Figura A.21. <i>Empresa 3: Uso de recursos</i>	173
Figura A.22. <i>Empresa 3: Gestión de emisiones</i>	173
Figura A.23. <i>Empresa 3: Perspectiva de vida</i>	174
Figura A.24. <i>Empresa 3: Gestión de la información</i>	175
Figura A.25. <i>Promedio total Empresa 4</i>	175
Figura A.26. <i>Empresa 4: Planificación ambiental</i>	176
Figura A.27. <i>Empresa 4: Cumplimiento legal ambiental</i>	176
Figura A.28. <i>Empresa 4: Riesgo legal ambiental</i>	177
Figura A.29. <i>Empresa 4: Uso de recursos</i>	178
Figura A.30. <i>Empresa 4: Gestión de emisiones</i>	178
Figura A.31. <i>Empresa 4: Perspectiva de vida</i>	179
Figura A.32. <i>Empresa 4: Gestión de la información</i>	180
Figura B.1. <i>Mapa meteorológico de la ciudad de San Salvador</i>	182
Figura B.2. <i>Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico</i>	183

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de los aparatos eléctricos y electrónicos en los últimos años por parte de las áreas de producción y servicios, tanto como de la población en general ha sido alarmante, ya que cada vez más rápido las tecnologías antiguas se ven desplazadas por nuevas en períodos de tiempo más cortos. Esto es debido a ciertos factores, por ejemplo, las tecnologías de las áreas de servicios se ven remplazadas porque ya no son capaces de cumplir de manera eficiente las crecientes necesidades y demandas de un mundo que va evolucionando constantemente. Mientras que por parte de la población se ha visto la inmensa incidencia del consumismo en la mayor adquisición de aparatos eléctricos y electrónicos por persona.

Poniendo en comparativa, en El Salvador hace 15 años las casas tenían sólo una computadora, sino es que ninguna, mientras que en la actualidad un hogar puede llegar a tener hasta 4 computadoras. Este acelerado consumo de aparatos tiene un efecto directo que ha llegado a convertirse en un problema de carácter internacional, los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos.

Este es un problema multidimensional en El Salvador, ya que por la naturaleza y composición de estos residuos no se tiene clara una manera de disponerse de ellos, por lo que la mayoría de la población decide desecharlos junto con la basura común. Acción que genera efectos negativos hacia el medio ambiente ya que puede generarse una bioacumulación de elementos nocivos para el medio.

Por esta razón y por el valor económico asociado al rubro del reciclaje, han surgido ciertas empresas en El Salvador que se encargan de recolectar y procesar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Este proceso varía de empresa a empresa ya que algunas clasifican, desensamblan, comercializan y exportan, mientras otras sólo clasifican y comercializan.

La problemática con estas empresas es que no operan bajo ningún reglamento o ley, debido a la falta de políticas en El Salvador acerca de este tema. En raíz a esto se tiene como objetivo de esta investigación la elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos basada en la metodología de producción más limpia. Cabe resaltar, que se decidió abarcar esta investigación desde la metodología de producción más limpia porque se busca no solo un manejo adecuado de residuos sino que también la menor producción de desechos y contaminación al hacerlo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el pasar del tiempo la era digital ha atravesado cambios acelerados en el desarrollo de más y mejores tecnologías, lo cual ha causado un consumo masivo y acelerado de AEE, los que a su vez favorecen al incremento de RAEE, este fenómeno ha generado una nueva preocupación para el medio ambiente. Los RAEE, pueden ser aprovechados de diversas maneras; ya sea reuso parcial o recuperación de sus componentes de alto valor. Sin embargo, al realizarse el proceso de aprovechamiento ciertos componentes nocivos para la salud humana y para el medio ambiente, podrían generar a largo plazo un impacto ambiental no deseado.

El principal problema reside en la disposición final de dichos desechos, ya que en la mayoría de países como en El Salvador no existe una ley que regule de manera estricta la disposición final de RAEE. Las empresas recicladoras de RAEE en El Salvador han sido parte de la solución de esta problemática, según el *Resumen del Diagnóstico de la Situación de Residuos Electrónicos en El Salvador* la recuperación de residuos que ha realizado una empresa desensambladora, de un total de 2592 toneladas, se estima de aproximadamente un 7.9% (Asociación Centroamericana para la Economía, 2008).

En general, las recicladoras en El Salvador recolectan los RAEE de diferentes fuentes ya sea a través de convenio con alguna empresa o por medio de trabajadores informales que recolectan directamente de los residuos sólidos de las casas. Luego de la recolección estas empresas transportan los RAEE a sus bodegas, cada recicladora gestiona los residuos de diversas maneras, por ejemplo, algunas realizan desensamblaje, reparación o simplemente la recuperación parcial de componentes.

A pesar de estos procesos de aprovechamiento realizados por las recicladoras en la actualidad, aún no se obtienen los resultados esperados, ya que, el porcentaje de materiales recuperados sigue siendo muy bajo. Con base en lo anterior, se ha visto la necesidad de elaborar una guía técnica que pretende ayudar a realizar una mejor gestión de residuos dentro de las empresas recicladoras de RAEE, en la cual se incluirán diversas alternativas con el objetivo de tener un mejor aprovechamiento de los materiales obtenidos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar una guía técnica para la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador.

Objetivos Específicos

- a) Realizar un Diagnóstico de Desempeño Ambiental (DDA) a diferentes empresas recicladoras de El Salvador.
- b) Realizar una caracterización de los materiales que ingresan en la planta recicladora.
- c) Realizar el balance de materiales del proceso productivo de una empresa recicladora.
- d) Proponer alternativas de gestión para los desechos y Residuos de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) de las empresas recicladoras.
- e) Determinar la factibilidad ambiental de las alternativas de gestión propuestas.

ALCANCES

- a) Mediante el diagnóstico de desempeño ambiental, se identificarán las áreas de mejora y posibles riesgos ambientales en una empresa recicladora de RAEE.
- b) Con el balance de materiales manejados en el proceso productivo y su previa caracterización, en una empresa recicladora, se podrá contar con un ejemplo para la identificación de flujos de entradas y salidas de RAEE.
- c) Se generarán alternativas de gestión ambiental, siguiendo las especificaciones de la guía técnica para la gestión integral de los RAEE en El Salvador.
- d) Se presentará la factibilidad ambiental de las alternativas propuestas, para la gestión de los residuos, evaluando el uso eficiente de materias primas del proceso, así como opciones de reciclaje, reúso o recuperación de materiales aprovechables de los RAEE.
- e) Se elaborará una guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia.

JUSTIFICACIÓN

Los RAEE representan un porcentaje significativo de los desechos sólidos que se producen en El Salvador, esto como efecto del acelerado desarrollo tecnológico y la sustitución de tecnologías antiguas. La mayoría de residuos generados por la población y ciertas industrias, únicamente tenían como disposición final los rellenos sanitarios o vertederos, actualmente, con el surgimiento de empresas dedicadas al reciclaje de los componentes de RAEE se ha logrado captar una parte de estos para procesarlos.

Sin embargo, las únicas empresas autorizadas por el MARN encargadas de recolección, almacenamiento y transporte de dichos aparatos son tres: ZARTEX, AUTOCONSA y ALMACENAMIENTO TODO VERDE, las cuales a pesar de estar debidamente reguladas y con los permisos necesarios, aún no logran alcanzar un aprovechamiento que se considere eficiente de los materiales que procesan.

Debido a la dificultad de la obtención de los permisos ambientales correspondientes para este tipo de empresas recicladoras, en el país se han popularizado diversos tipos de empresas o personas particulares informales que se encargan de recolectar y tratar dichos desechos, aunque no lo realicen de manera adecuada.

La guía técnica que se plantea desarrollar apoyará a las empresas recicladoras de El Salvador (bajo una perspectiva de producción más limpia) con conocimiento técnico para que su proceso productivo sea más eficiente, aprovechando mejor los componentes a reciclar y dando directrices para la correcta disposición de los desechos resultantes.

Contribuyendo de esta manera a mermar el impacto ambiental que generan algunos componentes que no pueden ser aprovechados ya sea porque no se cuenta con una tecnología adecuada para su procesamiento o por contener sustancias peligrosas que no pueden ser procesadas. Todo esto sin dejar de lado el factor económico que es uno de los ejes fundamentales que comprende la metodología de producción más limpia.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) son todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos y que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1000 voltios en corriente alterna y 1500 voltios en corriente continua (Unión Europea, 2012).

La Unión Europea (UE) como organismo internacional, ha sido pionera en la investigación de bienes que son producidos en masa y que representan un peligro para el ambiente y el ser humano si no son tratados de manera adecuada, se han enfocado grandemente en los AEE cuyo auge en términos de consumo ha ido aumentando significativamente en los últimos años.

Un AEE se convierte en un RAEE cuando el usuario lo descarta sin intención de que vuelva a utilizarse. La vida útil varía considerablemente según el tipo de aparato y de factores como la existencia de la reutilización, la factibilidad de acceso a nuevas tecnologías o la situación económica, entre otros (Organización Internacional del Trabajo, 2020).

Para entender de mejor manera en qué momento un AEE pasa a ser RAEE es necesario describir el término obsoleto. Cualquier producto o aparato se considera obsoleto cuando este es incapaz de cumplir las funciones o tareas para las que fue adquirido, ya sea por daños a este, porque su vida útil llega a su fin (obsolescencia técnica), o por limitaciones de producción-programación que se agravan con el crecimiento de nuevas tecnologías (obsolescencia percibida).

También se debe introducir el término de obsolescencia programada, que es el fin de la vida útil de un producto tras un período de tiempo previamente calculado por el fabricante, para que este se torne obsoleto y sea necesario adquirir nuevos productos.

En El Salvador se maneja una definición de RAEE similar a la que brinda la UE, esta es definida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador a través de los *Lineamientos técnicos para el adecuado manejo de los Residuos Aparatos Eléctricos y Electrónicos*:

El término de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), se refiere a los aparatos y equipos dañados, descartados, obsoletos o en desuso que utilizan electricidad o una fuente de energía para su funcionamiento.

En esta definición se incluyen equipos electrónicos de consumo como las computadoras hasta electrodomésticos, celulares, que ya no tienen utilidad alguna para quien los posee. En El Salvador se conoce como chatarra electrónica (MARN, 2015).

1.1.1. Categorización de los AEE

La categorización de los AEE que más comúnmente se utilizan desde la perspectiva de su comercialización son los equipos electrodomésticos, es decir, aquellos que sirven para realizar o agilizar tareas domésticas o que tienen que ver con el hogar. Estas categorías son las líneas blanca, marrón, gris y los pequeños electrodomésticos. Donde la línea blanca se refiere a grandes electrodomésticos, la línea marrón a aparatos electrónicos de entretenimiento, la línea gris a los equipos y aparatos de telecomunicaciones y los pequeños electrodomésticos a aparatos de cocina o de uso personal (Calderón et al, 2017).

Sin embargo, en la industria actual debido a la gran diversidad de AEE que se encuentran en el mercado, se vuelve una tarea complicada darles una gestión adecuada a los desechos si se tienen categorías genéricas, por lo que los aparatos deben ser diferenciados y clasificados antes de ser sometidos a cualquier proceso de gestión.

La clasificación de los AEE ha cambiado, en el año 2002 la UE propuso la primera categorización, esta constaba de 10 categorías de acuerdo a su tipología. Una clasificación más reciente es la actualización del año 2012 (la cual se utilizará en la investigación) que se muestra en la Tabla 1.1, esta caracterización de AEE se realizó considerando su naturaleza, tamaño y volumen; además busca facilitar la recolección y separación de fracciones de RAEE en etapas futuras del proceso de gestión.

Se podría decir que el cambio fundamental en la clasificación RAEE de 2012, respecto a su versión de 2002 es que en la primera se establecía una clasificación desde el punto de vista del aparato (AEE), mientras que la última lo hace más desde el punto de vista de la gestión del residuo (RAEE) (MINAMBIENTE, 2017).

Tabla 1.1. Categorización de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) en la UE según Directiva RAEE de 2012

Categorías	AEE considerados en la categoría
1. Aparatos de intercambio de temperatura	Frigoríficos, congeladores, aparatos que suministran automáticamente productos fríos, aparatos de aire acondicionado, equipos de deshumidificación, bombas de calor, radiadores de aceite y otros aparatos de intercambio de temperatura que utilicen otros fluidos que no sean el agua
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ²	Pantallas, televisores, marcos digitales para fotos con tecnología LCD, monitores, ordenadores portátiles, incluidos los de tipo «notebook».
3. Lámparas	Lámparas fluorescentes rectas, lámparas fluorescentes compactas, lámparas fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de haluros metálicos, lámparas de sodio de baja presión y lámparas LED.
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm)	Lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, cocinas y hornos eléctricos, hornillos eléctricos, placas de calor eléctricas, luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música (excepto los órganos de tubo instalados en iglesias), máquinas de hacer punto y tejer, grandes ordenadores, grandes impresoras, copiadoras, grandes máquinas tragaperras, productos sanitarios de grandes dimensiones, grandes instrumentos de vigilancia y control, grandes aparatos que suministran productos y dinero automáticamente, paneles fotovoltaicos.
5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)	Aspiradoras, limpia moquetas, máquinas de coser, luminarias, hornos microondas, aparatos de ventilación, planchas, tostadoras, cuchillos eléctricos, hervidores eléctricos, relojes, maquinillas de afeitarse eléctricas, básculas, aparatos para el cuidado del pelo y el cuerpo, calculadoras, aparatos de radio, videocámaras, aparatos de grabación de vídeo, cadenas de alta fidelidad, instrumentos musicales, aparatos de reproducción de sonido o imagen, juguetes eléctricos y electrónicos, artículos deportivos, ordenadores para practicar ciclismo, submarinismo, carreras, remo, etc., detectores de humo, reguladores de calefacción, termostatos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, pequeños productos sanitarios, pequeños instrumentos de vigilancia y control, pequeños aparatos que suministran productos automáticamente, pequeños aparatos con paneles fotovoltaicos integrados.
6. Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, encaminadores, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.

Fuente:(Unión Europea, 2012)

En la medida que los sistemas de gestión de RAEE evolucionan se vuelve necesario tomar en cuenta algunas características que probablemente se omitieron para su clasificación y estas no necesariamente tienen que tener relación con la función para la cual fue diseñado el AEE.

1.1.2. Composición y Peligrosidad de los RAEE

Los AEE que cumplen una misma función no necesariamente tienen una composición similar de los materiales que los conforman, por ejemplo, una linterna cuya carcasa es de plástico y otra cuya carcasa es de aluminio, en este sentido, los RAEE que se generan de estos aparatos puede llevar a una gestión diferente. Entre los componentes que pueden formar un RAEE se han identificado más de 1000 sustancias diferentes, entre sustancias inofensivas y potencialmente peligrosas. En un artículo publicado por Greenpeace en el año 2011 se afirma que al menos un 3% de la composición total de un RAEE pueden ser sustancias nocivas (GreenPeace, 2011).

Entre los materiales que se pueden encontrar presentes en los RAEE están los materiales ferrosos (metales ferromagnéticos en su mayoría) y los materiales no ferrosos (vidrio, plástico, tarjetas de circuitos, madera, cerámica, caucho, productos textiles, entre otros que pueden considerarse inofensivos). Se debe poner especial atención cuando se habla de plásticos dado que en su composición puede existir la presencia de metales pesados, Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), retardantes de llama y otras sustancias peligrosas.

Últimamente los COP, se han vuelto una gran preocupación en temas ambientales y salubres debido al potencial de contaminación que poseen, los COP permanecen en el ambiente por mucho tiempo y por su características se tiene el riesgo de contaminación de un perímetro muy grande, dado que los contaminantes pueden ser transportados a través de aire, agua e incluso seres vivos, debido a que son sustancias bioacumulables, que pueden afectar ecosistemas y alimentos de consumo, dañando la salud humana, cuyos efectos impactan en el sistema nervioso, reproductivo e inmunológico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2017).

Los materiales que se encuentran en mayor proporción dentro de la composición de los RAEE son: metales ferrosos y no ferrosos, seguido de plásticos y en menor propor-

ción aquellos metales preciosos tales como oro, plata y paladio cuyo porcentaje está por debajo de los metales pesados.

En la Tabla 1.2 se muestra una recopilación de datos sobre la composición de RAEE de forma general, para los pequeños y grandes electrodomésticos, luminarias, aparatos TIC y electrónica de consumo.

Tabla 1.2. *Composición porcentual de materiales presentes en los RAEE*

Material	Grandes electrodomésticos	Pequeños electrodomésticos	TIC y electrónica de consumo	Luminaria
Metal ferroso	43	29	36	-
Aluminio	14	9.3	5	14
Cobre	12	17	4	0.22
Plomo	1.6	0.57	0.29	-
Cadmio	0.0014	0.0068	0.018	-
Mercurio	0.000038	0.000018	0.00007	0.02
Oro	0.00000067	0.00000061	0.00024	-
Plata	0.0000077	0.000007	0.0012	-
Paladio	0.0000003	0.00000024	0.00006	-
Indio	0	0	0.0005	0.0005
Plásticos bromados	0.29	0.75	18	3.7
Plásticos	19	37	12	0
Vidrio con plomo	0	0	19	0
Vidrio	0.017	0.16	0.3	77
Otros	10	6.9	5.7	5
Total	100	100	100	100

Fuente: (MINAMBIENTE, 2017)

El potencial de recuperación de RAEE varía según las propiedades de los componentes que lo conforman, siendo los materiales ferrosos y circuitos integrados los que suelen recuperarse para obtener algún beneficio económico, su extracción puede llegar a ser un proceso peligroso si no se realiza adecuadamente debido a la liberación accidental de sustancias nocivas que se puede llegar a dar por técnicas incorrectas de extracción.

Conocer la localización de las sustancias peligrosas involucradas en el proceso de reciclaje de RAEE es de gran importancia para las empresas recicladoras, ya que, el personal operativo interactúe con ellos, en la Tabla 1.3 se presentan los resultados de una

investigación realizada por (E-waste, 2016) en la cual se muestra la sustancia y su ubicación en los RAEE.

Tabla 1.3. Sustancias peligrosas y su localización en los RAEE

Sustancia	Localización en los RAEE
Compuestos halogenados:	
Bifenilos policlorados (PCB)	Condensadores, transformadores e interruptores de potencia.
Tetrabromo bisfenol A (TBBA) Polibromobifenilos (PBB) Éteres de difenilo polibromado (PBDE)	Retardantes de llama para plásticos (componentes termoplásticos, aislamiento del cable). TBBA es actualmente el retardante de llama más ampliamente utilizado en las tarjetas de circuito impreso y en las carcasas.
Clorofluorocarbonos (CFC)	Unidad de refrigeración y espuma del aislamiento.
Policloruro de vinilo (PVC)	Aislamiento de cables.
Metales pesados y otros metales:	
Arsénico	Pequeñas cantidades en forma de arseniuro de galio en diodos emisores de luz (LED).
Bario	Captadores (getters) en tubos de rayos catódicos (TRC).
Berilio	Fuentes de potencia que contienen rectificadores controlados de silicio y lentes de rayos X.
Cadmio	Baterías recargables de NiCd, película fluorescente (pantallas de TRC), tintas de impresora y tóner y máquinas de fotocopias (tambor de impresión).
Cromo VI	Cintas de datos y discos flexibles.
Plomo	Pantallas de TRC, baterías y tarjetas de circuito impreso.
Litio	Baterías de litio.
Mercurio	Lámparas fluorescentes que proporcionan iluminación en LCD, en algunas pilas alcalinas y el mercurio como contacto en interruptores.
Níquel	Baterías recargables de NiCd o NiMH y cañón de electrones en los TRC.
Tierras raras (Itrio, Europio)	Capa fluorescente (pantalla de los TRC).
Selenio	Máquinas de fotocopias antiguas (fototambores).
Sulfuro de Zinc	Interior de las pantallas de tubos de rayos catódicos, mezclado con metales de tierras raras.
Otros:	
Polvo de tóner	Cartuchos de tóner para impresoras láser y copiadoras.
Sustancias radioactivas:	
Americio	Equipos médicos, detectores de fuego y elementos activos de detectores de humo.

Fuente: (E-waste, 2016)

1.1.3. Impacto en la salud humana y en el ambiente por la gestión inadecuada de los RAEE

Los componentes peligrosos que contienen los RAEE constituyen un riesgo latente a la salud humana y un factor que contribuye al deterioro ambiental si no se les da una gestión adecuada. Siendo esto obviado por la mayoría de la población, conllevando a una disposición completamente inadecuada de los RAEE.

El destino del 82.6% de los RAEE generados (dato para el año 2019) es incierto. Y su paradero y repercusiones ambientales varían de una región a otra. La mayoría de los RAEE domésticos y comerciales no documentados acaban mezclándose con otros flujos de residuos, por ejemplo, residuos plásticos y metálicos (Kuehr et al., 2020).

En países como El Salvador, no se cuenta con una infraestructura adecuada y sistematizada para la gestión adecuada de RAEE, por lo que el reciclaje de estos residuos es abordado por el sector informal o en algunos casos suelen tratarse en condiciones precarias. Como ejemplo de dicha problemática en El Salvador, se muestra en la Figura 1.1 una acumulación de RAEE en la intemperie junto con residuos sólidos diversos, situada en una de las calles principales de San Salvador. Esto tiene como complicación que en los rellenos sanitarios o vertederos se encuentren RAEE en una medida considerable y que a mediano y largo plazo implique un riesgo.

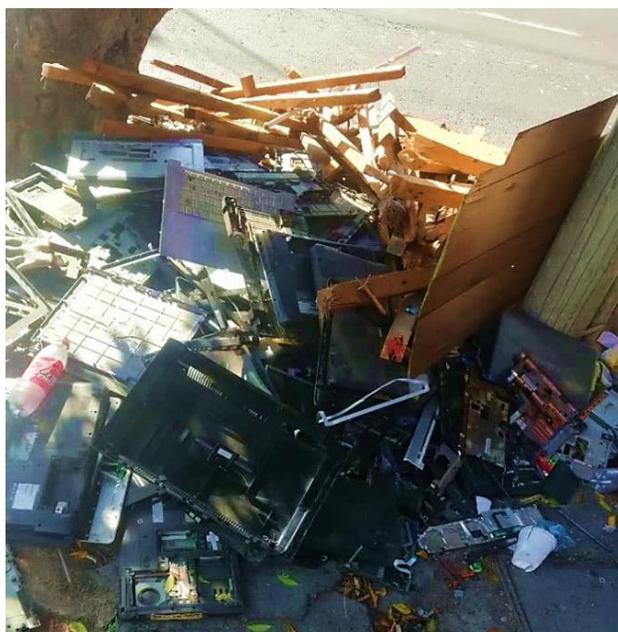


Figura 1.1. Representación de botaderos urbanos sobre Bulevar de los Héroes 2021

Los RAEE contienen diversos componentes tóxicos o sustancias peligrosas, como el mercurio, los retardantes de llama bromados (BFR) y los clorofluorocarbonos (CFC) o los hidroclorofluorocarbonos (HCFC). El aumento progresivo de los niveles de RAEE, los bajos niveles de recolección y la existencia de sistemas de eliminación y tratamientos de flujos de residuos no respetuosos con el medio ambiente plantean serios riesgos para el medio ambiente y la salud de las personas (Kuehr et al., 2020).

Durante la recuperación y reciclaje de los RAEE pueden liberarse sustancias que representan un riesgo y que son motivo de preocupación, se puede identificar tres fuentes principales como lo son el cadmio, plomo y mercurio; entre otras que pueden ser añadidas en el proceso de recuperación (Lundgren, 2012).

Las sustancias tóxicas se pueden encontrar en los siguientes tipos de emisiones o salidas: (Lundgren, 2012)

- a. Lixiviados procedentes de actividades de tratamiento y disposición final.
- b. Material particulado (partículas gruesas y finas) procedentes de las actividades de desmantelamiento de los aparatos.
- c. Cenizas liberadas al aire y cenizas residuales de las actividades de quema o incineración de componentes.
- d. Liberación de humos de mercurio amalgamado provenientes de actividades de "cocción", de remoción de soldaduras y otras propias de la quema de componentes.
- e. Aguas de desecho provenientes de instalaciones de trituración y desmontaje de los aparatos.
- f. Efluentes de lixiviación con cianuro y otras actividades de lixiviación.

La intensidad del riesgo que corren los trabajadores es directamente proporcional al nivel de exposición que estos tienen durante el proceso de recolección, almacenamiento, desensamblaje o reciclaje de los RAEE, ya que la exposición puede ser completamente directa (en el que el trabajador toca los RAEE sin ninguna barrera o protección) o indirecta (la cual el trabajador maneja el RAEE a través de alguna protección o haciendo uso de alguna maquinaria o equipo).

En la Tabla 1.4, se resumen materiales nocivos a la salud humana o al ambiente, los RAEE donde pueden ser encontrados y las consecuencias que pueden desencadenar.

Tabla 1.4. AEE y componentes con potencial de daños a la salud y medio ambiente

Materiales	Donde se encuentran	Daños Potenciales a la Salud	Impactos ambientales
Plásticos (20% de los RAEE)	Electrodomésticos y equipos de telecomunicaciones y electrónicos	Afecciones cancerígenas prácticamente en todo el ciclo de vida de los plásticos	Contaminación de cuerpos superficiales como ríos y/o lagos
Plásticos Retardantes de Llama PCB (Policloruros de bifenilo)	Condensadores y Transformadores	Sustancias cancerígenas y neurotóxicas, efectos negativos sobre la reproducción	Solubles en los lixiviados de los vertederos y/o rellenos sanitarios, son bioacumulativos persistentes
Compuestos Bromados: TBBA (Tetrabromo bifenol A) PBDE (polibromobifenilos) PBDE (polibromodifenili éteres)	En componentes termoplásticos, cables, El TBBA es el retardante de llama que más se utiliza en placas de circuito y carcasas		
CFC	Frigoríficos y aires acondicionados, espumas aislantes	Irritación de ojos o piel por entrar en contacto con estos.	Dañan Capa de Ozono y algunos pueden provocar elevado potencial de calentamiento global.
Vidrio	Lámparas, pantallas, bombillas, etc.	Los vidrios representan un riesgo a la salud humana, ya que estos al ser rotos pueden ocasionar laceraciones, cortaduras y heridas por piquete que pueden resultar en arterias o tendones cortados, amputaciones, lesiones a los ojos o exposición a enfermedades	Contaminación de un cuerpo receptor como ríos y lagos, afectando la vida acuática
Metales pesados como el mercurio (Hg)	Más del 90% procede de las pilas y sensores de posición con una pequeña contribución por parte de los relés y lámparas fluorescente	Puede causar daños cerebrales	Bioacumulativos al dispersarse en el agua. Es muy tóxico para plantas, animales y microorganismos

Continúa...

Tabla 1.4. AEE y componentes con potencial de daños a la salud y medio ambiente
(Continuación)

Materiales	Donde se encuentran	Daños Potenciales a la Salud	Impactos ambientales
Cadmio (Cd)	Más del 90% en las pilas recargables Baterías Ni-Cd, monitores TRC, Tintas de impresoras, tóner y fotocopiadoras	Pueden tener efecto irreversible en los riñones, provocan cáncer e induce a la desmineralización del esqueleto	Su incineración conlleva a la emisión de dioxinas y furanos
Plomo (Pb)	Más del 90% en las baterías Monitores TRC, baterías, Placas de Circuito	Puede dañar el sistema nervioso, endocrino y cardiovascular	
Óxidos de plomo	Más del 80% en los tubos de rayos catódicos de los televisores,		
Níquel (Ni)	Baterías Bi-Cd y Ni-MH recargables, pistola de electrones TRC	Puede afectar el sistema endocrino, sistema inmunitario, piel y ojos.	Bioacumulativos, es tóxico para plantas, animales y microorganismos.

Fuente: (Corte Suprema de Justicia de El Salvador, 2017)

El nivel de contacto trabajador-RAEE está relacionado con las prácticas, procesos y métodos de gestión que cada empresa tiene. En países como El Salvador, en el cuál no se cuenta con tecnologías y en muchos casos ni técnicas para la recuperación de los materiales valiosos o aprovechables, aumenta el riesgo a exposición de sustancias peligrosas, muchas veces durante procesos en empresas informales en los cuales se pueden llegar a generar gases tóxicos generados.

Los materiales utilizados en las prácticas informales son un foco generador de sustancias contaminantes, ya que, algunos procesos pueden incluir el uso de químicos solventes, que en algunos casos puede llegar a utilizarse cianuro y otros ácidos fuertes.

La contaminación ambiental que resulta de la extracción inapropiada de los materiales aprovechables de los RAEE, también puede conllevar a exposiciones indirectas hacia las personas que habitan o permanecen en los alrededores de los sitios de manipulación de dichos residuos por medio de la contaminación del suelo, el aire y el agua,

conduciendo de esta manera a la bioacumulación de estas sustancias en el medio ambiente aledaño, que a su vez afecta la agricultura y ganadería de la zona.

Se han presentado varios casos a nivel mundial en la cual mala gestión de RAEE conlleva a problemáticas ambientales serias como es el caso de China, en los alrededores de las ciudades que típicamente se dedican a la recuperación informal, se han documentado efectos de contaminación del agua. Tal es el caso de Guiyu, en donde se han reportado sedimentos contaminados con metales y niveles elevados de metales disueltos en los ríos cercanos a estas áreas (Perkins et al., 2014).

En El Salvador, el caso más destacable de contaminación por RAEE ocurrió en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, en el cuál operaba hasta el año 2007 la planta de fundición y ensamblaje de baterías automotrices de la sociedad Baterías de El Salvador, S.A. (BAES), empresa y plantel dedicado al reciclaje de Baterías de Ácido Plomo Usadas (BAPU).

En las zonas aledañas al plantel hay un aproximado de 3000 viviendas cuyos habitantes denunciaron reiteradamente la contaminación debida a plomo. La declaratoria de emergencia ambiental se realizó luego de detectar altos niveles de contaminación por plomo en suelo y agua. Entre enero de 2010 y julio de 2012 se realizaron alrededor de 1800 muestras en suelo superficial, encontrándose concentraciones de plomo en niveles superiores a 400 ppm (partes por millón) en los alrededores de las instalaciones de BAES, hasta una distancia aproximada de 400 metros en el sector norte de las instalaciones. Niveles superiores a los 400 ppm representan ya un peligro para la salud de las personas. En la zona cercana a los drenajes de BAES, las concentraciones variaron en un rango promedio de 1300 a 36200 ppm de plomo (MARN, 2013).

El impacto del manejo inadecuado de los RAEE en El Salvador es ignorado por parte del gobierno y de la población en general y este sólo toma relevancia cuando hay una problemática ambiental seria, en la cual se han encontrado indicios que señalan a los RAEE como principales fuentes de contaminación. Estas problemáticas ambientales se dan en su mayoría en zonas cercanas a industrias gestoras de RAEE o en zonas aledañas a los rellenos sanitarios, debido a su mala gestión. El impacto ambiental de uno de estos casos se vio evidenciado en el estudio realizado en calidad de tesis por la Universidad de El Salvador denominado *Evaluación de Contaminación por Metales Pesados en la Cuenca Baja del Río San Antonio Municipio de Nejapa*.

En el estudio se analizó la cuenca del río San Antonio, cuya ubicación se encuentra aledaña al Relleno Sanitario MIDES, (hecho que impulsó la realización de la investigación). Entre los resultados de los análisis de aguas superficiales y suelo realizados, se presentaron altos niveles de Níquel, Plomo y Zinc muy por encima de los límites permisibles, identificando como fuente puntual de esta contaminación la bioacumulación de sustancias tóxicas debido a la disposición de RAEE en el relleno sanitario. Dado que el agua del río es utilizada para riego de cultivos se recomendó realizar un estudio para cada una de las matrices de biomasa expuestas dado que el agua supone un riesgo de contaminación (Quinteros, H. et.al, 2013).

1.1.4. Normativa relacionada a los RAEE en El Salvador

De acuerdo con el documento técnico *Lineamientos para la Gestión de Desechos Electrónicos y Eléctricos* (Corte Suprema de Justicia de El Salvador, 2017), en El Salvador el control de los AEE que ingresan como importación y los residuos que se generan internamente de estos, no cuentan con un sistema normativo como tal. Por lo que las empresas privadas, instituciones públicas y población en general no son conscientes de la importancia de la regulación y gestión de los RAEE generados, sin embargo, la *Política Nacional de Medio Ambiente* hace uso de algunos instrumentos normativos no obligatorios relacionados al manejo de desechos peligrosos, residuos electrónicos y residuos de manejo especial.

a. Normativa Internacional

El manejo de desechos electrónicos a nivel internacional ha sido motivo de interés en años recientes, principalmente por las sustancias que los componen, esto ha generado un análisis más detallado de convenios enfocados al tratamiento y gestión de sustancias peligrosas como son: Basilea, Estocolmo y Rotterdam, todos ratificados por El Salvador, lo que implica que según el Art. 144 de la Constitución de la República (Asamblea Legislativa, 1983), el cual cita: “Los tratados internacionales celebrados por El Salvador con otros Estados o con organismos internacionales, constituyen leyes de la República al entrar en vigencia, conforme a las disposiciones del mismo tratado y de esta Constitu-

ción”. Por lo tanto, todos esos convenios forman parte de Legislación Ambiental en El Salvador.

En la Tabla 1.5 se presenta una breve descripción de cada uno de los convenios y cómo estos influyen en el manejo adecuado de los desechos electrónicos:

Tabla 1.5. *Convenios internacionales referentes a RAEE ratificados por El Salvador*

Convenio	Disposiciones
Convenio de Basilea	Su principal objetivo es el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos para impedir que el manejo genere contaminación, además propone pautas para su eliminación o disminución.
Convenio de Estocolmo	Propone limitar la contaminación generada por COP'S, estableciendo las reglas de producción, importación y exportación, en el caso de los RAEE su enfoque está dirigido a aquellos que contienen componentes con metales pesados.
Convenio de Róterdam	El convenio es aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos prohibidos o severamente restringidos con el fin de proteger la salud de las personas y el ambiente. Con respecto a los RAEE, el convenio limita y regula el manejo de algunas sustancias peligrosas contenidas en ellos, como algunos PBB's y BCP's.

Adaptado de: (RELAC, 2011)

b. Normativa de El Salvador

Algunos documentos legales en el área ambiental que hacen referencia a esta problemática se presentan a continuación:

I. Constitución de la República

En su artículo 117, dispone que “es deber del Estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente para garantizar el desarrollo sostenible” y declara de interés social la protección, conservación, aprovechamiento racional y restauración de los recursos naturales. Basándose en este mandato, se crea el MARN y sus competencias se establecen en el Reglamento Interno del Órgano Ejecutivo, emitido por el Consejo de Ministros el 19 de mayo de 1997.

II. Ley de Medio Ambiente

En Capítulo V: Riesgos Ambientales y Materiales Peligrosos, se expone en el Art. 52 referente a la contaminación y disposición final de desechos sólidos, que el MARN se compromete a convertirse en un puente que controla el ingreso, transporte, distribución y almacenamiento de sustancias peligrosas incluyendo su disposición final en coordinación de entidades públicas como el Ministerio de Salud (MINSAL), asistencia social, economía y municipalidades.

A la vez a partir de esta ley se emitieron reglamentos, leyes o normas referentes a RAEE:

Tabla 1.6. *Leyes y reglamentos referentes a RAEE en El Salvador*

Normativa	Artículos / Capítulos aplicables a RAEE	Disposiciones
Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente.	En su título IV: Art.64 Art.74	Sobre la prevención y control de la contaminación se establecen los límites permisibles para que no suponga riesgos a la salud ni al medio ambiente.
Ley Integral de Gestión de Residuos y fomento al Reciclaje	Art. 6 Art. 9 Art.10 Art. 28 Art. 29	Tiene como objetivo lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria ambientalmente segura, fomentando la economía circular mediante la gestión integral de los residuos, delegando en sus artículos las responsabilidades del MARN, y la participación de Ministerio de educación para fomentar la divulgación de temas ambientales en el currículo nacional y acciones para la correcta gestión de los residuos.
Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos.	Capítulo IV: Art. 23	Trata el tema acerca de la generación de desechos peligrosos. Se categorizan los desechos peligrosos, deberes del generador y temas relacionados a su exportación.

Adaptado de: (MARN, 2004), (MARN, 2020) y (MARN, 2000)

1.2. Gestión Integral de RAEE

En Latinoamérica, durante la última década, la temática de RAEE ha empezado a tomar mayor relevancia. Esta problemática ambiental aqueja a países centroamericanos desde inicios del milenio, por lo que ciertas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales como la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA) comenzaron a promover acciones regionales que se centraban en comprender y analizar el impacto ambiental de los RAEE. Estas acciones en la región facilitaron la realización de un proyecto Nacional en El Salvador, un diagnóstico que se enfocó en celulares, computadoras y dispositivos similares, que mostró los actores principales de la problemática, cantidad de AEE importados y el volumen de desechos RAEE que se generaron aproximadamente. Este proyecto se denominó “Estrategia sostenible de gestión de residuos electrónicos en El Salvador”, su primera etapa consistió en la elaboración del “Diagnóstico de la situación actual de los residuos electrónicos en El Salvador”. Este diagnóstico fue desarrollado en el 2008 siendo el pionero en este ámbito.

En el marco de esto en el año 2010, el MARN lanza el “Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos” el cuál involucra el “Plan Nacional de recuperación de desechos sólidos” que incluye entre sus principales componentes la recuperación, reutilización y reciclaje de RAEE y luminarias. Bajo esta línea en conjunto con la información y datos obtenidos en el diagnóstico del 2008 el MARN realizó en el 2011 su propio estudio acerca de la contaminación de los RAEE en el país, más específicamente tomando en cuenta computadoras e impresoras, éste se tituló “Diagnóstico Nacional de Residuos de aparatos electrónicos en El Salvador”. Este estudio y algunos posteriores fueron posibles gracias al Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) que provee datos de cantidades totales de RAEE generados por país, RAEE per cápita, flujos de entrada de AEE, y potencial de la economía circular. Los datos en este observatorio son constantemente actualizados periódicamente y con respecto al aumento de los RAEE.

Según la *Plataforma Regional sobre Residuos Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe* (RELAC, 2011) “La gestión integral de RAEE denomina el conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de un residuo, desde su generación hasta su valorización y disposición final”.

La gestión integral de RAEE no depende únicamente de un sector en específico o de implementación de medidas por parte de una entidad específica, sino que se considera de manera gradual y estratégica a lo largo del ciclo de vida de los AEE. Esto se ve reflejado, en las empresas productoras de AEE que deben poseer en sus políticas internas una responsabilidad extendida; en el gobierno, con políticas e incentivos que favorezcan un sistema de gestión adecuado; con los consumidores finales, haciendo buen uso de las tecnologías y descartando los productos de manera adecuada; hasta llegar a las empresas recolectoras y recicladoras de dichos residuos que deben aprovechar de manera eficiente los componentes de valor y realizar una disposición final adecuada.

En la Figura 1.2 se refleja el proceso que siguen los AEE desde su ingreso al país, pasando por la distribución a las empresas casas u organizaciones, hasta convertirse en RAEE y los procesos que se le dan a estos.

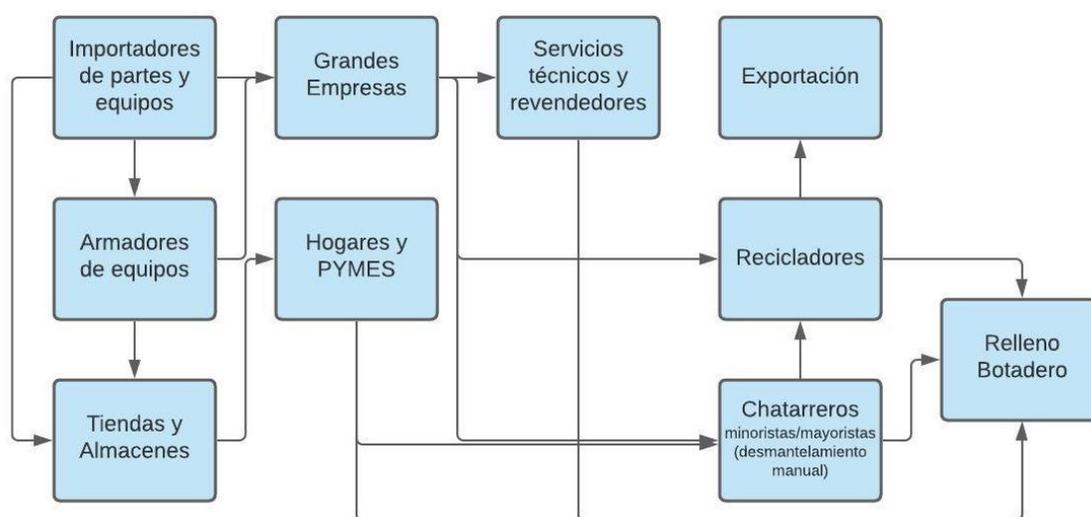


Figura 1.2. Actores de la cadena de AEE

1.2.1. Estimaciones de cantidades RAEE en El Salvador (CNPML)

En El Salvador, actualmente no se cuenta con una información estadística en materia de RAEE, es decir, que no cuenta con un sistema estandarizado y regulado por el gobierno donde los participantes en la cadena de valor de AEE (productores, generados, gestores) reporten cuantitativamente las cantidades de RAEE generadas. Sin embargo, diversas organizaciones han realizado estudios de diagnóstico de manera independiente donde se han estimado las cantidades de RAEE en El Salvador.

Se han realizado estudios estadísticos a través del CNPML en el reporte de *Cálculo de las ventas y los Residuos Eléctricos y Electrónicos generados en El Salvador* donde se estimó las cantidades de RAEE en base a los datos de exportaciones e importaciones (2010 a 2019) obtenidas del Banco Central de Reserva (BCR).

El método utilizado para determinar lo vendido en el mercado es el método de consumo aparente. El cálculo de RAEE se realizó mediante una herramienta de Excel proporcionada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) en el marco de este proyecto de gran escala.

Entre los principales resultados obtenidos se encuentra en la Tabla 1.7, donde se presenta la estimación de RAEE generados para el espacio temporal 2010-2025. Resaltar que los datos para los años comprendidos entre 2020 y 2025 fueron proyectados.

Tabla 1.7. Resultados obtenidos sobre AEE y RAEE generados en El Salvador (2010-2025)

Año	Cantidad de AEE puesta en el mercado (ton/año)	Cantidad de RAEE generado (ton/año)
2010	32638.42	25882.04
2011	35428.02	27534.27
2012	35096.83	28905.45
2013	36774.84	30120.42
2014	33639.17	31021.89
2015	38893.57	31825.23
2016	40744.35	32556.85
2017	43976.45	33169.96
2018	54971.17	33729.39
2019	52607.81	34354.30
2020	53093.80	34954.14
2021	55385.22	35560.32
2022	57676.64	36201.74
2023	59968.06	36896.86
2024	62259.48	37658.37
2025	64550.90	38494.59

Los resultados de los índices de generación per cápita de RAEE en El Salvador, se presentan en la Tabla 1.8, los cuales se obtuvieron considerando los datos estimados de población para los años comprendidos desde 2010-2019 (CNPML, 2020).

Tabla 1.8. Generación de RAEE per cápita en El Salvador (2010-2019)

Año	RAEE generado (ton/año)	Población estimada	RAEE generado por habitante (kg/habitante)
2010	25882.04	6183000	4.19
2011	27534.27	6210568	4.43
2012	28905.45	6237923	4.63
2013	30120.42	6266070	4.81
2014	31021.89	6295128	4.93
2015	31825.23	6325124	5.03
2016	32556.85	6356143	5.12
2017	33169.96	6388122	5.19
2018	33729.39	6420744	5.25
2019	34354.30	6453553	5.32

En general, se puede concluir que la generación de RAEE en El Salvador ha ido incrementando de manera constante tal como se muestra en la Figura 1.3, donde se proyectan los RAEE generados en los años 1995-2020 según categorización de la UE.

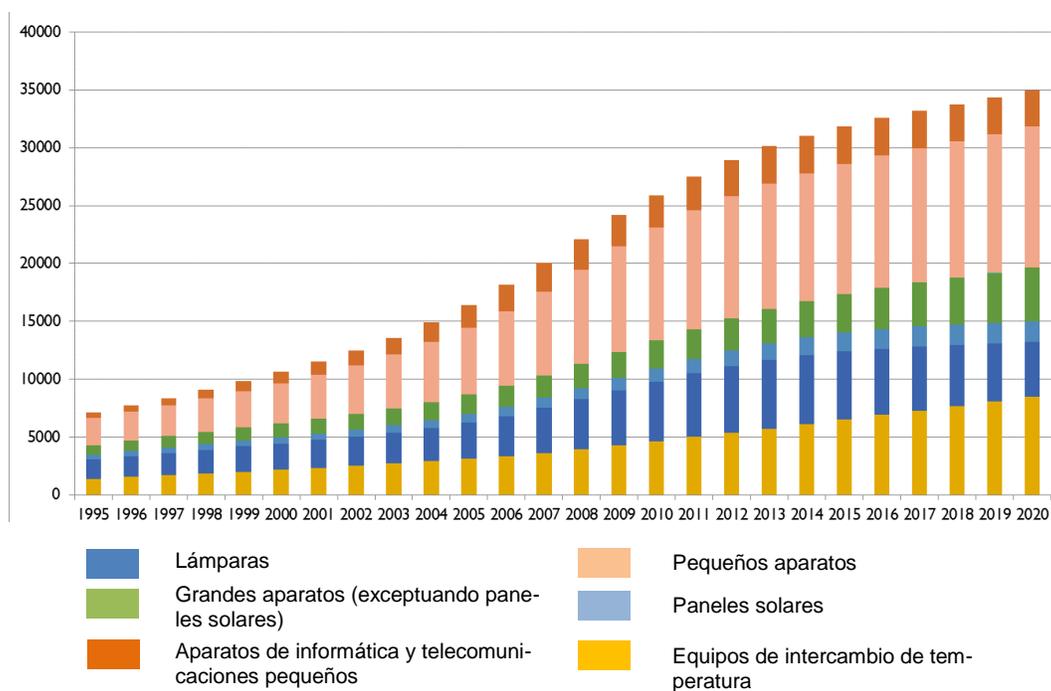


Figura 1.3. RAEE generado en toneladas según categoría y año

Fuente: (CNPML, 2020)

En la Tabla 1.9, se presenta el resumen de datos de El Salvador recopilados por el CNPML para el año 2019.

Tabla 1.9. Datos de RAEE de El Salvador

País	RAEE generados (ton)	RAEE recogidos y reciclados formalmente (ton)	Índice de recogida (%)
El Salvador	34354.3	518.36	1.51

Fuente:(CNPML, 2020)

Los datos anteriores se comparan con otros países de la región y Europa en la Tabla 1.10, dichos datos provienen del reporte de la UNU del año 2020 (con datos RAEE del 2019).

Tabla 1.10. Datos de RAEE en países de América Latina y Europa

País	RAEE generados (ton)	RAEE recogidos y reciclados formalmente (ton)	Índice de recogida (%)	Política de RAEE vigente
Honduras	25000	200	0.8	No
México	1220000	36000	2.95	Sí
Chile	186000	5500	2.96	Sí
Francia	1362000	742000	54.48	Sí
Rusia	1631000	90000	5.52	No

Fuente: (Kuehr, 2020)

Al realizar una comparativa, se puede observar que los países europeos superan el índice de recogida de RAEE con una gestión adecuada, además en aquellos países con una legislación, política o reglamento de RAEE vigente también supera este índice con respecto a otros países que no poseen dicha referencia a la ley. El Salvador, se encuentra en un índice de recogida inferior que otros países referentes de la región.

1.2.2. Importancia de la Gestión Diferenciada de Residuos

Según la *Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje* la clasificación de los RAEE se divide en dos categorías; los que, debido a su alto porcentaje de componentes reactivos tóxicos, inflamables o corrosivos (se incluyen en el convenio de

Basilea) se han definido como RP, mientras que el resto son considerados como no peligrosos y en general nombrados RME.

Así mismo en el 2012 el MARN publicó los *Lineamientos para impulsar la separación desde el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos a nivel municipal*. Esta fue una guía para elaborar e implementar el plan de sensibilización para la separación de desechos sólidos desde el origen, en mercados municipales. Al igual que era una guía para el manejo adecuado de los centros de acopio de materiales recuperables. Entre estos materiales los RAEE.

El MARN en el *Informe Nacional del Estado del Medio Ambiente (INEMA)*, presentado en el año 2017, realizó un estudio de caracterización en el cual se determinó que la generación en áreas urbanas de Residuos sólidos no peligrosos es de aproximadamente 3676 toneladas por día, de las cuales únicamente el 87% son recolectadas y llevadas a un relleno sanitario, 10% son dispuestos en botaderos o quemados y únicamente el 3% es gestionado mediante una recolección selectiva (MARN, 2018) . En la Figura 1.4 se presenta más detalladamente la distribución de la disposición final de residuos que se realiza en las áreas urbanas de El Salvador.

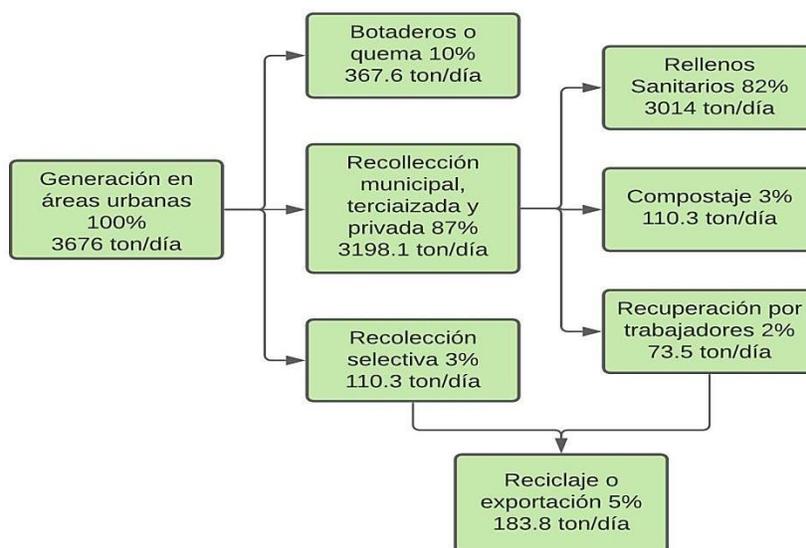


Figura 1.4. Disposición de residuos sólidos en áreas urbanas.
Adaptado de: (MARN, 2018)

Según lo anterior, los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) reciclados o exportados constituyen únicamente el 5% del total de residuos generados en áreas urbanas, de los cuales solo una pequeña parte corresponden a RAEE, sin embargo, a pesar de su bajo

porcentaje de generación (comparado con el resto de residuos) debido a sus características de gran volumen, difícil manejo, tamaño y composición (incluyendo COP's); los RAEE excluidos del acuerdo de Basilea deben ser gestionados de manera diferenciada.

En general, la importancia de una adecuada gestión radica en la cantidad de compuestos tóxicos y Compuestos Orgánicos Persistentes (COP's) que contengan los RAEE, por lo que el manejo diferenciado (desde la etapa inicial de recolección) de dichos RAEE con respecto a los residuos sólidos urbanos es de vital importancia para evitar que terminen en los vertederos municipales. Además, se tiene el potencial de aprovechamiento y valorización de los componentes de los RAEE, por lo que, la correcta gestión podría relacionarse directamente con un beneficio económico.

1.2.3. Gestores de RAEE

El gestor de RAEE es una persona o entidad, pública o privada, que realiza alguna de las operaciones que componen la gestión de RAEE (transporte, acopio, almacenamiento, desmontaje, valorización o disposición final), autorizadas para ese fin, conforme a lo establecido en los marcos normativos nacionales (RELAC, 2011).

En el caso de El Salvador actualmente se encuentran autorizadas por el MARN únicamente tres empresas, como se listan en la Tabla 1.11, las cuales están encargadas del manejo, almacenamiento y aprovechamiento de RAEE.

Tabla 1.11. Empresas autorizadas para gestión de RAEE

Empresa	Actividad Autorizada	Tipo de Material Autorizado
Almacenamiento Todo Verde	Únicamente almacenamiento	Partes de computadoras, enseres eléctricos y/o electrónicos, incluyendo cartuchos de tinta, tóner y otros insumos para impresoras y fotocopiadoras. Baterías de mercurio, dispositivos eléctricos y electrónicos, baterías de teléfonos móviles y pantallas de computadoras
AUTOCONSA	Transporte y almacenamiento	Equipos eléctricos, informático y de oficina, de telecomunicaciones
ZARTEX	Recolección, acopio y segregación	Electrónicos, equipos de telecomunicaciones y aparatos de consumo

Fuente: *Guía ciudadana para la gestión responsable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)*, MARN, 2015.

A pesar de que solo existan 3 recicladoras autorizadas por el MARN, en El Salvador hay muchas más empresas recicladoras de RAEE informales o que no operan bajo todos los lineamientos y normas que establece el MARN.

Las recicladoras realizan los procesos de recuperación de componentes de los RAEE, sin embargo, los procesos para el aprovechamiento de estos materiales aún no son totalmente eficientes por lo que quedan sin aprovecharse algunos componentes de valor.

Según el *Estudio de diagnóstico de la situación actual de los RAEE en El Salvador* (2008) que se realizó por el Grupo Colaborativo de Trabajo en Manejo de Desechos en Países de Bajos y Medianos Ingresos (CWG) con el apoyo del MARN y la empresa privada se estimó que en el año 2008, la recuperación del total de RAEE generados ese año que realizó la empresa ZARTEX representó un 7.9% (ACEPESA, 2008), lo cual aún es un porcentaje relativamente bajo de recuperación de RAEE en comparación al crecimiento exponencial de residuos generados en El Salvador, ya que según el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML) en El Salvador para el año 2018 los RAEE generados por habitante oscilaban alrededor de 5.7 kg/año. Cabe destacar que en esta comparativa los datos de reciclaje y recuperación que se manejan no son muy actualizados y aunque se tenga una proyección de crecimiento en los últimos años estos siguen siendo datos muy bajos.

1.2.4. Requerimientos básicos para el manejo de RAEE en El Salvador

Para que una empresa recicladora pueda establecerse debidamente en El Salvador debe cumplir con cierta documentación para el inicio de sus operaciones, en la *Guía técnica para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en El Salvador* se describe la documentación necesaria.

La documentación que necesita es la siguiente:

- i. Autorizaciones municipales
- ii. Certificación de establecimientos para industria (cuerpo de bomberos)
- iii. Documentación y registros del sistema de gestión de prevención de riesgos en lugares de trabajo (según reglamento de prevención de riesgos en los lugares de trabajo Decreto 86)
- iv. Documentación y registros del sistema de gestión de riesgos ambientales

- v. Documentación y registro de capacitaciones
- vi. Permiso Ambiental
- vii. Trazabilidad (procedimiento y registros). (Monge et al., 2017)

Además, la reciente Ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje (Melendez Avalos, 2008) en el artículo 21 establece para todo gestor de residuos:

Art. 21.- Todo gestor, que realice cualquiera de las actividades de la gestión integral de residuos, para operar deberá:

- a) Estar autorizado como gestor por el MARN.
- b) Tener aprobado su Manual de Gestión de Residuos.
- c) Presentar un reporte anual al MARN sobre las actividades realizadas, que deberá presentarse en los primeros tres meses del año siguiente reportado.
- d) Cumplir con los demás requisitos que establezca la presente ley y demás normas aplicables. Las municipalidades por ministerio de ley son gestores de residuos, por lo que no necesitan obtener autorización del MARN para adquirir dicha calidad, pero estarán obligadas a presentar su correspondiente Manual de Gestión de Residuos para aprobación en la forma dispuesta en la presente ley y su reglamento.

El reporte a que se refiere el literal c), tendrá como finalidad el monitoreo de las actividades autorizadas y estará sujeto a verificación del MARN. Los formatos para reportar cada una de las actividades de manejo de los residuos serán desarrollados por el MARN en el reglamento correspondiente. Los gestores de residuos deberán capacitar periódicamente a su personal en la correcta aplicación de su manual (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

Según lo anterior, los gestores de RAEE en El Salvador en general deben cumplir todas las normas y leyes sanitarias y ambientales vigentes, además se debe velar dentro de las empresas recicladoras por la capacitación de todos sus empleados, tanto en materia de educación ambiental como en el ámbito técnico de su área específica de trabajo. Además, se espera que las empresas cumplan con el mínimo de medidas en cuanto a la implementación de un plan de seguridad e higiene ocupacional dentro de sus instalaciones, para así salvaguardar la integridad física de todos sus colaboradores.

a. Estándares mínimos para la gestión de RAEE (RELAC, 2011)

Se han planteado algunos estándares mínimos aplicables a la gestión de RAEE, los cuales se citan a continuación:

- i. Los gestores de RAEE llevarán registro de los flujos de equipos, componentes y materiales que pasan por sus instalaciones, incluyendo a aquellos materiales que son luego enviados a otros destinos, a fin de asegurar la trazabilidad de los RAEE durante todo el proceso de gestión.
- ii. Los gestores de RAEE tendrán que almacenar los equipos, materiales y componentes de manera adecuada, sin generar riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores o del medio ambiente.
- iii. Se deberán desarrollar acciones continuas de identificación, evaluación y control de la operación de los gestores a fin de prevenir la posible contaminación ambiental ocasionada por las emisiones, efluentes y residuos sólidos resultantes del manejo de las actividades relacionadas con los RAEE. En esta misma línea, el gestor deberá contar con un plan de emergencia adecuado para enfrentar eventuales accidentes en el desarrollo de sus operaciones.
- iv. Los gestores de RAEE mantendrán un programa de seguridad que controle el acceso a la totalidad o a partes de la instalación de una manera y en un grado apropiado dado el tipo de manejo de cada equipo
- v. Se recomienda que los gestores de RAEE adopten todas las medidas prácticas para dirigir adecuadamente el funcionamiento de equipos y componentes para su reutilización.
- vi. El gestor de RAEE deberá separar, a través del desmontaje manual y/o la transformación mecánica, los equipos, componentes y materiales que no estén dirigidos a la reutilización y entregarlos a las instalaciones de recuperación técnica adecuadamente equipadas.
- vii. El consumidor es el primer responsable de la destrucción de los datos contenidos en los AEE. Se sugiere que los gestores lleven a cabo los procedimientos adicionales para la destrucción de los datos en sus procesos de reacondicionamiento y reciclaje.
- viii. El gestor deberá asumir el compromiso de no utilizar inadecuadamente la información que eventualmente se encuentre en los equipos.

1.2.5. Ciclo de vida de los AEE y RAEE

Existen dos enfoques diferentes para entender el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, el primero se refiere a cuando se encuentra en el mercado (oferta y demanda), mientras el segundo se refiere propiamente cuando se convierte en residuo (Meléndez Avalos, 2008).

En la Figura 1.5 se puede observar con más detalle los principales actores entre los cuales están los importadores, distribuidores, minoristas al detalle y consumidores finales; todos ellos intervienen en el ciclo de vida de los AEE, desde su fabricación hasta que estos se convierten en residuos.

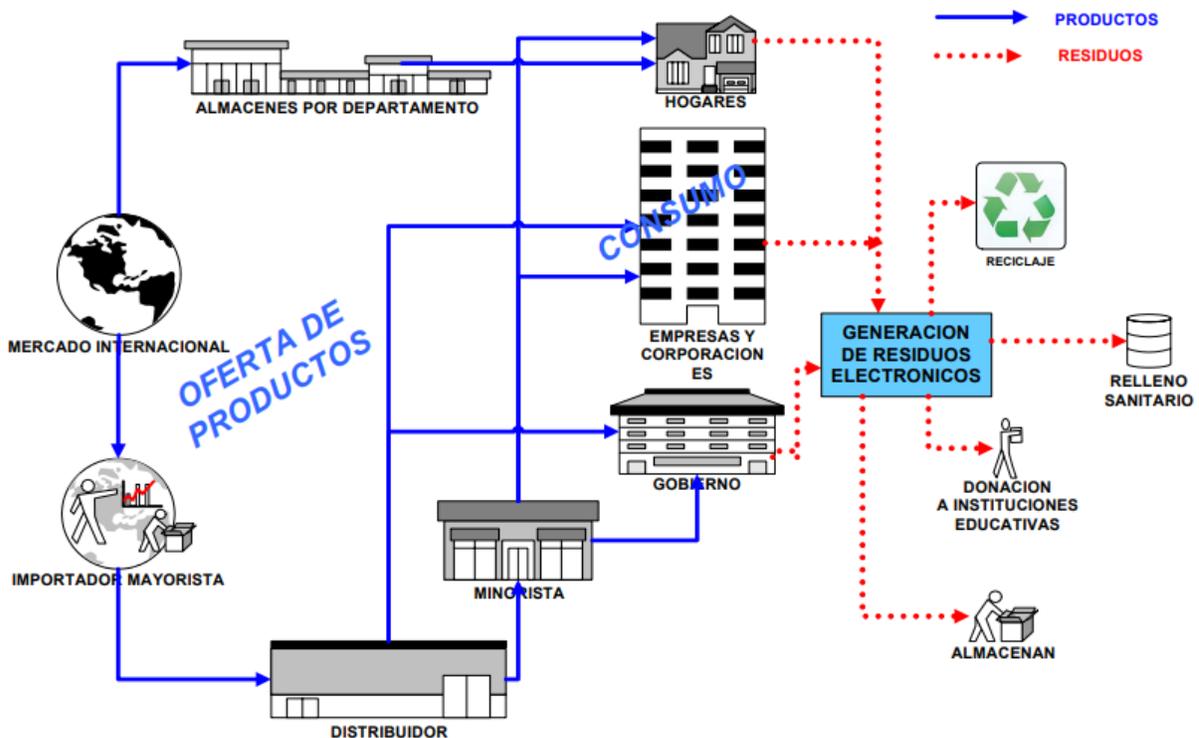


Figura 1.5. Flujo de ciclo de vida AEE.

Fuente: *Diagnóstico de la situación actual de los residuos electrónicos en El Salvador*, (Meléndez Ávalos, 2008)

El segundo enfoque del ciclo de vida (en esta investigación el más relevante) se relaciona directamente con la producción de RAEE en cada una de las etapas de vida de los AEE y depende de la forma en que se manejen o desechen.

En la Figura 1.6 se observa que los principales generadores de residuos son los gobiernos locales, empresas privadas y por supuesto los hogares. Además, la importancia de las políticas de las empresas generadoras y de los gestores de RAEE como lo son los pequeños recolectores, el sistema de recolección del gobierno y las empresas recicladoras.

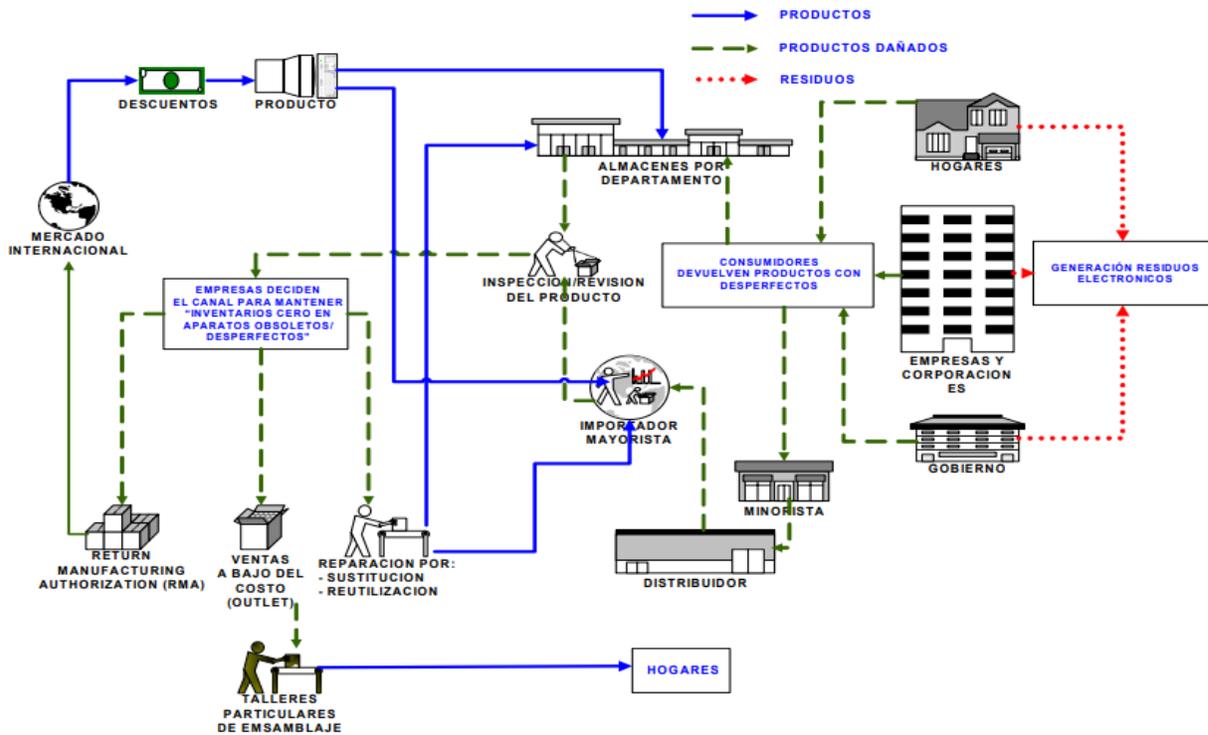


Figura 1.6. Flujo de ciclo de vida RAEE.

Fuente: Diagnóstico de la situación actual de los residuos electrónicos en El Salvador, (Meléndez Ávalos, 2008)

1.2.6. Descripción del proceso de gestión de RAEE

En El Salvador según el Art. 33 de la *Ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje*: “La recolección, transporte y tratamiento de los residuos estará determinada por los criterios técnicos de separación definidos en un Reglamento Técnico. Los medios de transporte de residuos deberán contar con las condiciones establecidas por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales”. Por lo tanto, todo el proceso de gestión de RAEE en este caso está determinado por la Guía técnica para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en El Salvador (MARN, 2017) la que define 4 etapas principales para la gestión adecuada de RAEE que son:

ETAPA I: Recepción y almacenamiento temporal
ETAPAI: Acopio o almacenamiento de RAEE
ETAPA III: Desmontaje y aprovechamiento
ETAPA IV: Procedimiento de exportación de RAEE de acuerdo al acuerdo de Basilea.

La Figura 1.7 representa las etapas de gestión adecuada de RAEE:

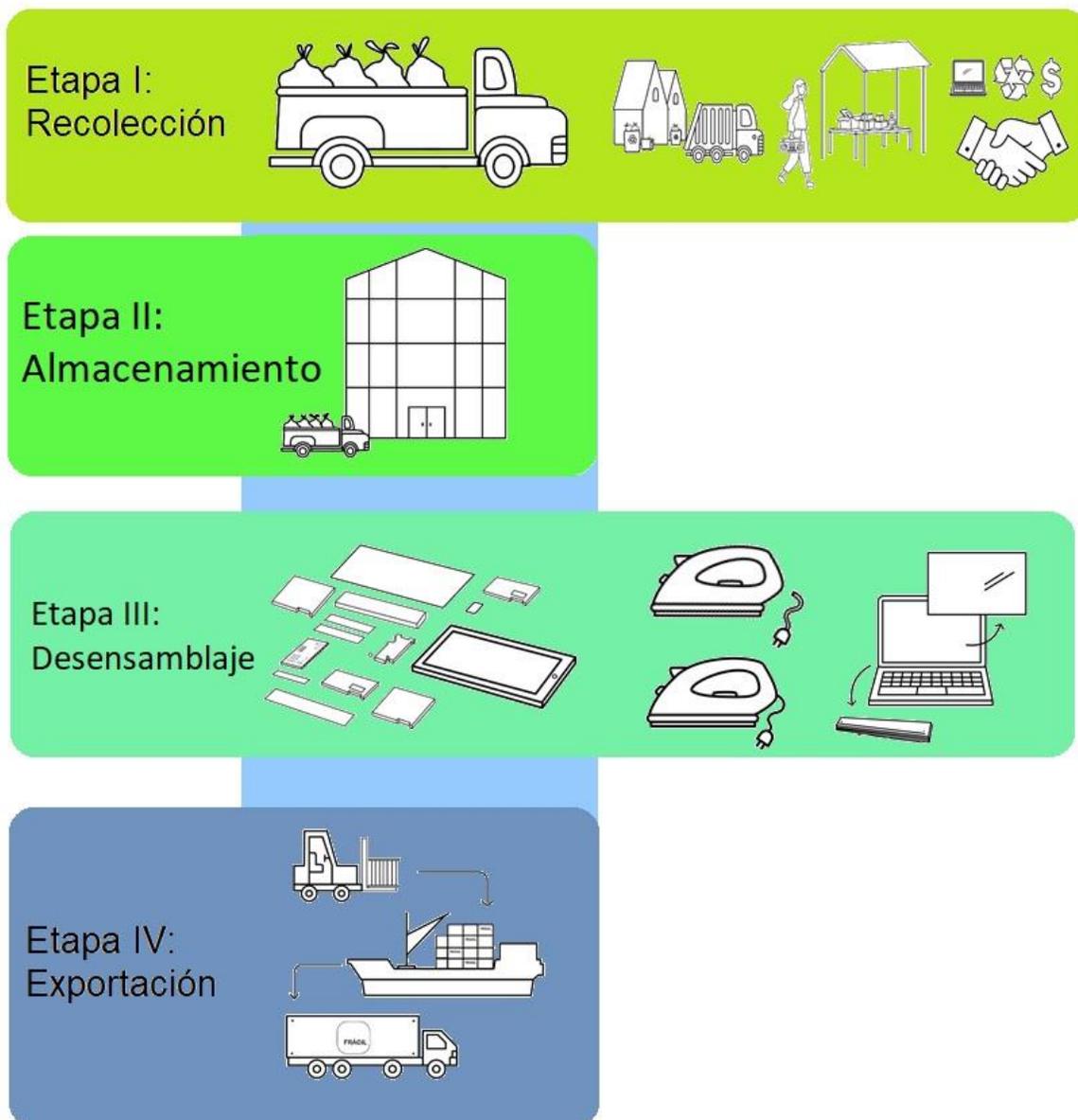


Figura 1.7 Etapas de gestión adecuada de RAEE

Como se puede apreciar en la Figura 1.7 en las etapas de recolección y desensamblaje hay diferentes procesos ya sea de la recolección de los RAEE o del proceso de desensamblaje, es por ello que es necesario la descripción de las etapas de gestión y sus diferentes procesos.

Etapa I: Recepción y almacenamiento temporal

a. Recepción

La cadena de gestión inicia desde el momento que un aparato es considerado obsoleto o inservible para su dueño, es decir un residuo. Es por ello que los puntos de recepción pueden ser muy diversos. En esta etapa, se recogen los residuos electrónicos de los hogares, las empresas y las oficinas públicas y privadas, se almacenan y luego se transportan a las plantas de tratamiento. Es un componente clave para el desarrollo de la cadena de valor.

Existen distintos tipos de recolección: domiciliaria, o puerta a puerta, puntos verdes fijos y móviles, campañas de recolección organizadas por municipios o instituciones, sistemas de recolección municipal de residuos voluminosos (grandes electrodomésticos), y recepción en locales comerciales. Otro mecanismo de recolección lo llevan adelante algunas instituciones que captan donaciones de aparatos en desuso. Existe también el trabajo de recolección que realizan muchas personas que trabajan de manera informal recuperando RAEE de la vía pública (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2017).

b. Almacenamiento temporal

El almacenamiento temporal varía dependiendo el recolector. Debe ser en un espacio o contenedor adecuado de acuerdo al tipo de RAEE recolectado y a la cantidad de estos que se tenga. Se debe capacitar al personal para que la recepción, transporte y almacenamiento temporal se realicen garantizando la seguridad en todo momento.

Además, según las normas establecidas por el MARN en estas etapas se deben evitar el desmontaje de RAEE y sobretodo especificar que no se deben recibir RAEE dañados, con roturas o que tengan materiales potencialmente peligrosos para los trabajadores.

Etapa II: Acopio o almacenamiento RAEE (MARN, 2017)

Los RAEE son transportados desde el lugar de recepción hasta el lugar de acopio o almacenamiento, el cuál debe estar debidamente autorizado por el MARN, donde serán clasificados y pesados según el tipo de RAEE que son. El acopio de RAEE normalmente consiste en almacenar en una bodega, instalación o edificio adecuado según el documento de *Lineamientos técnicos para el adecuado manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos* y la *Guía técnica para la gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en El Salvador*.

Los RAEE pueden ser entregados y comercializados a los centros de recuperación mediante las formas siguientes:

- i. Directamente por los usuarios (persona natural o jurídica) si ellos se encargan de llevarlos hasta sus instalaciones.
- ii. Provenientes de los eventos de recolección.
- iii. Desde los puntos de recepción o puntos verdes.
- iv. Por intermediación de otros gestores autorizados.

Etapa III: Desmontaje y aprovechamiento

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2017)

Al ingresar a la planta recicladora los RAEE se registran, se vuelven a pesan y se separan o clasifican según su categoría (previamente en el documento fue establecida esta clasificación), para luego ser evaluados y desmontados en una línea de trabajo específica para cada una de ellas. Una primera tarea consiste en revisar los aparatos, o sus componentes, identificar sus fallas para poder determinar si son factibles de reparación o reutilización. En ese caso, serán reparados, o sus componentes utilizados como repuestos en el armado de un nuevo AEE.

Los aparatos o componentes que se determina que no puedan reutilizarse se desensamblan o desmontan para ingresar a un proceso de recuperación de materiales o reciclaje. En cada línea o mesa de desmontaje, se deberá contar con las herramientas específicas para poder realizar la tarea y separar las carcasas (metálicas o plásticas), plaquetas electrónicas, cables, pilas y baterías, y otros componentes.

También durante esta etapa, se retiran los componentes que pueden llegar a ser peligrosos, en un proceso el cual se denomina “descontaminación”. Este último, es un paso fundamental para garantizar que no haya daños al ambiente o la salud de las personas. En el caso de aparatos de refrigeración (heladeras, aires acondicionados), por ejemplo, se deberán recolectar los aceites y gases de refrigeración. En el caso de los monitores con tubos de rayos catódicos (TRC), se deberá separar los tubos de vidrio. Estas sustancias y componentes peligrosos deberán tratarse posteriormente, o enviarse a disposición final como residuos peligrosos.

Finalmente, se retiran y desechan los componentes no deseados o que no justifican su puesta en el mercado.

Para la correcta ejecución del desensamble y aprovechamiento de materiales RAEE es necesario utilizar la mejor técnica y las medidas de seguridad detalladas en la (MARN, 2017).

Etapa IV: Procedimiento de exportación de RAEE de acuerdo al convenio de Basilea

La mayoría de residuos generados en El Salvador no son posibles de tratar adecuadamente con la tecnología y procesos con los que cuentan dentro de las empresas recicladoras, por lo que se opta por transportarlos a otro país para que se tenga un proceso de recuperación o eliminación controlada.

En la *Ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje* en el artículo 40 especifica:

Se permitirá el acopio temporal y exportación de todo material separado proveniente de los residuos, especialmente de aquellos que, por falta de tecnología en el país, no pueden ser reciclados o valorizados, siempre que se dé cumplimiento con la normativa nacional e internacional correspondiente”. Todas las exportaciones de residuos peligrosos deben realizarse de acuerdo al convenio de Basilea y otros tratados internacionales que apliquen para El Salvador (MARN, 2020).

Según el Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA), se entiende al llamado Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación al tratado internacional que regula la gestión transfronteriza de los desechos/residuos peligrosos, protegiendo al ambiente y la sa-

En la Figura 1.8 se muestra la cadena de valor que siguen los RAEE de línea blanca, es decir los procesos por los cuales se consigue un valor adicional de estos residuos, ya sea reparándolos, obteniendo piezas para la reparación de otros AEE o simplemente la venta de sus materiales como lo es hierro.

Algunos de los materiales recuperables más comunes que pueden llegar a manejar las empresas recicladoras de El Salvador son diversos tipos de plásticos, variedad de metales (ferrosos o no ferrosos), componentes electrónicos varios entre otros. Para cada uno de estos componentes se tiene un procesamiento especial para su recuperación integral, reciclaje o reúso de estos, a continuación, se describen los procesos de recuperación dentro de dichas empresas.

1.2.7.1. Recuperación de metales

La gestión sostenible de los recursos exige el aislamiento de los metales peligrosos de los RAEE y maximiza la recuperación de los metales preciosos y raros. La distribución de valor de los metales preciosos en las Tarjetas de Circuito Impreso (TCI) y calculadoras es más del 80 por ciento. Luego de los metales preciosos, el cobre tiene el siguiente valor más elevado para ser extraído de los RAEE. La extracción, a partir de los RAEE, de los metales preciosos (oro (Au), Plata (Ag) y Paladio (Pd)) y los metales básicos (cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn)), contienen un importante valor asociado que no puede ni conviene ser desperdiciado (ITU, 2017).

Los metales raros son de gran importancia en los equipos TIC (celulares, computadores, etc.) y también son de gran interés para el desarrollo de placas para energía solar, se estima que el uso de metales raros en el mercado ha aumentado a más del doble desde el año 2000. Los metales raros más comunes en los equipos TIC son el indio, el itrio, el galio y el arsénico, aunque se resalta que en celulares pueden existir más de 20 metales raros como el titanio, bario, tantalio, entre otros. Debido a la insuficiente oferta de estos metales, además de su creciente demanda, se está fomentando su reciclaje y desarrollando materiales alternativos que cumplan su misma función. Para poder realizar este tipo de reciclaje, las industrias encargadas deben obtener la información del tipo y la cantidad de metales raros con los que cuentan los componentes y los módulos de los equipos TIC, las cuales generalmente deben ser suministradas por los fabricantes, a pesar de

esto, existen métodos especializados de caracterización y medición para conseguir dicha información (ITU, 2017).

Sin embargo, en El Salvador, la recuperación de metales se limita a la separación manual de metales ferrosos y no ferrosos de los AEE de gran tamaño. En la Figura 1.9, se observa el proceso de recuperación de estos materiales dentro de las empresas recicladoras.

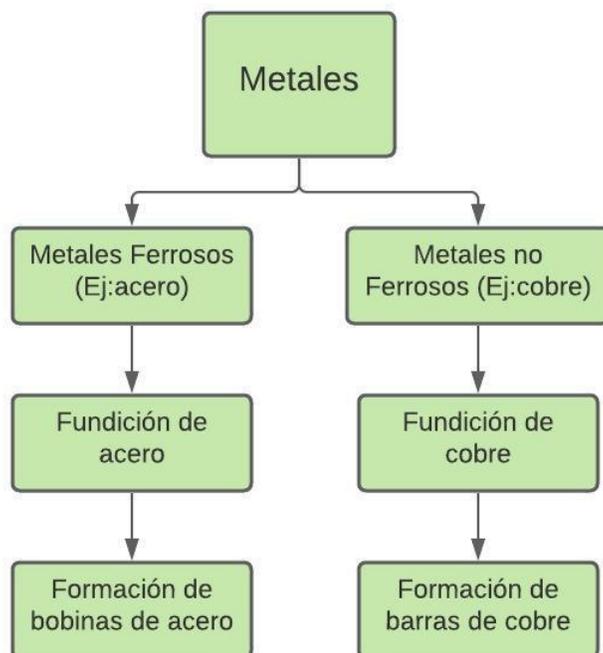


Figura 1.9 *Proceso de recuperación de Metales*

1.2.7.2. Recuperación de plásticos

Los plásticos son materiales muy versátiles. Pueden ser duros o blandos, rígidos o flexibles, transparentes u opacos, livianos o pesados, etc. Estas propiedades físicas dependen del tipo de plástico, pero también pueden estar influenciadas por productos químicos u otros aditivos. Debido a su versatilidad y al hecho de que los plásticos generalmente son más baratos y livianos que materiales alternativos (por ejemplo, madera o metal), su presencia en los productos está aumentando. Las empresas de reciclaje de RAEE están experimentando este desarrollo de primera mano, ya que la proporción de plásticos en su

material de entrada ha aumentado en los últimos años y actualmente es de hasta un 20% en promedio (Bill et al., 2019).

Las empresas que participan activamente en el comercio y el procesamiento de RAEE pueden beneficiarse sustancialmente de una valorización exitosa de los plásticos, simplemente porque estos materiales representan un gran volumen de los residuos que ingresan. Además, la recuperación y el reciclaje de plásticos también aportan importantes beneficios ambientales, por medio de la sustitución de plásticos vírgenes en los productos y, asimismo, porque las tasas de reciclaje más altas resultan en menos desechos plásticos que terminan en el ambiente y en menores emisiones de CO₂. Sin embargo, hay dos desafíos principales que deben abordarse para el reciclaje de plástico de RAEE:

1. Los RAEE contienen diferentes tipos de plásticos. Para obtener productos de alta calidad, los diferentes tipos de plástico deben clasificarse antes de que puedan llegar a ser procesados.

2. Los plásticos a menudo contienen aditivos, algunos de los cuales son peligrosos para la salud humana y para el ambiente. Los aditivos plásticos más problemáticos son los retardantes de llama bromados (en adelante BFR por sus siglas en inglés) y los aditivos basados en metales pesados (principalmente Pb y Cd), los retardantes de llama son aditivos que con la presencia de una fuente de ignición previenen o retardan el desarrollo del encendido.

Los plásticos que contienen tales sustancias peligrosas deben ser removidos y dispuestos de manera adecuada (Bill et al., 2019).

Por estas razones, en El Salvador solamente se realiza un proceso de reciclaje de plásticos tipo ABS, los cuales son identificados y separados manualmente para su procesamiento. El proceso básico de recuperación de estos plásticos se muestra en la Figura 1.10, donde se especifica que dichos plásticos se procesan en una palletizadora para luego venderse como materia prima a empresas que realizan artículos varios para el hogar.

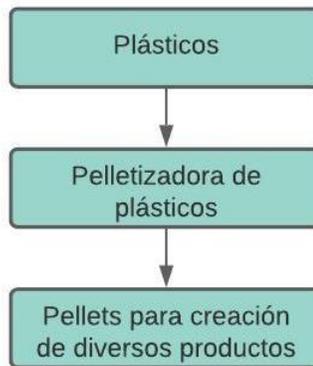


Figura 1.10 *Proceso de recuperación de plástico*

1.2.7.3. Recuperación de componentes electrónicos

La recuperación de componentes electrónicos, es un proceso de gran importancia para las recicladoras, ya que, como se mencionó anteriormente, en El Salvador, así como en otros países de la región, no es posible recuperar diversos materiales valiosos como metales de tierras raras o incluso metales preciosos que se encuentran en pequeñas cantidades en algunos componentes electrónicos.

En el proceso de desensamblaje que realizan algunas empresas recicladoras, se separa manualmente componentes electrónicos valiosos como lo son las tarjetas de circuitos integrados (TCI) (las cuáles son preparados para exportación), otros componentes se separan íntegros para su reúso. Sin embargo, existen otros componentes que son retirados o extraídos, pero debido a su peligrosidad no pueden llegar a aprovecharse (como las baterías o tubos catódicos).

2. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

En general, se conoce Producción Más Limpia (PML) como a una estrategia ambiental con actividades que previenen el impacto ambiental durante cualquier proceso productivo o entrega de servicios. El enfoque u objetivo central de la PML es aumentar la eficiencia global, reducir el impacto ambiental y la disminución o eliminación de desechos a través de la mejora de las buenas prácticas, el mejor aprovechamiento de los recursos naturales, el reciclaje, la generación de energía a través de fuentes renovables el reúso de materiales y efluentes.

La primera definición de PML conocida fue introducida en 1990 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente — Oficina de Industria y Medio Ambiente (UNEP-IEO) y definió la PML como: “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada aplicada a procesos, productos y servicios, para aumentar la eficiencia general y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente”. Esta definición constituyó las primeras ideas en torno al concepto de PML, siendo percibida como lo suficientemente amplia como para superar las preocupaciones ambientales identificadas, con respecto al conocimiento científico que se poseía en ese momento (Gómes, F y Gouveia, R., 2005).

Una definición más reciente es la de Peter Glavic y Rebeca Lukman en su libro del 2007 *Review of sustainability terms and their definitions*. Ellos proporcionaron una definición con un enfoque sistemáticamente organizado de las actividades de producción, que generarán efectos positivos sobre el medio ambiente. Estas actividades abarcan la minimización del uso de recursos, la mejora de la eco eficiencia y la reducción de fuentes, con el fin de mejorar la protección del medio ambiente y para reducir los riesgos para los seres vivos. Se puede aplicar a los procesos utilizados en cualquier sector. Esta definición se centra principalmente en las actividades industriales, olvidando la necesidad de extender el concepto a otros sectores como el sector servicios.

Sin embargo, la definición principal de PML con la que se cuenta hasta el momento fue establecida en 2011 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, División de Tecnología, Industria y Medio Ambiente (PNUMA-DTIE): “Producción más limpia se basa en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada aplicada a procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente. Esta definición lleva a las

bases de lo que debería ser la PML: la minimización de la generación de residuos en los procesos y productos productivos, mejorando así la eficiencia de los recursos” (Gómes, F y Gouveia, R., 2005).

2.1. Ecoeficiencia y PML

Según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI) la PML abarca tres áreas centrales:

- i. En los procesos de producción; ya que aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de desechos y emisiones.
- ii. En el desarrollo y diseño del producto; ya que aborda la reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto: desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final.
- iii. En los servicios ya que aborda la aplicación continua de una estrategia y metodología preventivas.

¿Qué significa la Producción Más Limpia? En los procesos de producción, la PML aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de desechos y emisiones; en el desarrollo y diseño del producto, la PML aborda la reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto: desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final; en los servicios, la PML aborda la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y entrega de los servicios (Ávalos Barrera et al., 2008).

En el mismo marco de la PML es importante introducir el concepto de ecoeficiencia, el cual en términos generales es maximizar las ganancias de producción o de entrega de servicios minimizando costos relacionados a los costos de desechos y emisiones, que se buscan ser minimizados.

Otra definición de la ecoeficiencia, proporcionada por el PNUMA, es la maximización de los resultados industriales partiendo desde un nivel de entrada de insumos, para asegurar la PML, el uso apropiado de los recursos humanos, y los recursos renovables y no renovables.

Los conceptos de Ecoeficiencia y PML son casi sinónimos. La sutil diferencia entre ambos es que la ecoeficiencia parte de la eficiencia económica, la cual tiene beneficios medioambientales positivos, mientras que la PML parte de temas de eficiencia ambiental los cuales tienen beneficios económicos positivos (Ávalos Barrera et al., 2008).

Las principales diferencias existentes entre ecoeficiencia y PML derivan del hecho de haber sido creados por entidades cuyos objetivos primarios son distintos y las principales similitudes son consecuencia de tratarse en ambos casos de estrategias preventivas (MARN, 2004).

2.2. Antecedentes de PML en El Salvador

En 1992 la ONU organizó la segunda Cumbre de la Tierra del 3 al 14 de junio en Río de Janeiro, Brasil. A esta cumbre asistieron 178 países, entre ellos El Salvador, y aproximadamente 400 ONG's. En esta cumbre se planteó como uno de varios objetivos, el reto de generar un modelo de desarrollo global con parámetros que aseguren el desarrollo económico, el bienestar social y ambiental de la humanidad en la misma proporción. Este objetivo o plan de acción es también conocido como Agenda 21, y su eje es el consumo sustentable.

“De acuerdo con la definición del PNUMA se le llama consumo sustentable al uso de productos y servicios que responden a necesidades básicas y proporcionan una mejor calidad de vida, y además minimizan el uso de recursos naturales, materiales tóxicos y emisiones de desperdicios y contaminantes durante todo el ciclo de vida, y que no comprometen las necesidades de futuras generaciones. Este concepto se refiere a la necesidad de cubrir los requerimientos de todas las personas sin dañar o destruir los ecosistemas, para asegurar así que nuevas generaciones también puedan satisfacer sus necesidades. Eso abre una nueva ventana hacia los llamados negocios verdes como base las economías más sólidas conocidas como economías verdes” (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, 2011).

Previo a esta cumbre la comunidad internacional había adoptado una estrategia de acción denominada “La Declaración de Producción Limpia”, cuya línea de acción era generar estrategias que permitieran producir o generar servicios obteniendo las mismas ganancias o mayores, pero usando de mejor manera y más eficiente mente los recursos

natrales necesarios para el proceso. Estas estrategias se generarían gracias al apoyo a acuerdos de cooperación y asociación internacional.

“En la región centroamericana al igual que en otras regiones del mundo, posterior a la cumbre de Río en 1992, se han venido desarrollando acciones tendientes a promover cambios tecnológicos y de procesos. Es a partir de la firma en 1994 de la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible (ALIDES) con el apoyo de La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), se parte de la necesidad de enfocar la cooperación regional en las áreas económica, social y ambiental en forma conjunta, con visión de largo plazo, partiendo de una visión integral” (Meléndez Ávalos, 2008).

En el mismo año de 1994, El Salvador se suscribió en el Convenio de Marrakech, el cual es un proceso mundial con el fin de implementar políticas y proyectos sobre Consumo y Producción Sustentable. Esto se considera relevante ya que el consumo sustentable es considerado como una estrategia complementaria a la producción más limpia que permite el desarrollo sustentable, que era el objetivo principal de la cumbre de la tierra.

“Con el objeto de definir prioridades de acción y principios de política orientados a fortalecer la integración regional, en el 2000 se formuló y aprobó el Plan Ambiental Centroamericano (PARCA). En este se definen escenarios y áreas estratégicas entre otros en producción más limpia y gestión integral del ambiente” (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, 2009).

2.2.1. Desarrollo de la PML en El Salvador

En El Salvador a principios de los años 2000 la PML era un concepto con poca divulgación a nivel industrial y empresarial, aún más desconocido para la población en general, ya que casi sólo se veía presente en ciertas empresas que lo realizaban como parte de ciertas disposiciones legales. A pesar de esto, gracias a la aparición de programas nacionales de adecuación ambiental, dejaron claro que era necesario un plan que ayudase a descontaminar y fomentar la reducción de desechos a partir del proceso productivo. Gracias a esta necesidad el MARN lanzó en el 2004 la “Política Nacional de Producción más Limpia”.

Esta política abarcó lo relacionado a tres grandes aspectos: los procesos productivos, los productos y los servicios. Con relación a los procesos se centra en la utilización eficiente y consciente de los recursos naturales que se emplean como materia prima o

fuentes de energía, y en la toxicidad de las emisiones y desechos generados. Con respecto a los productos se centra en su ciclo de vida y de cómo reducir los aspectos negativos de esta. Finalmente, con los servicios se centra en adaptar el diseño y prestación de estos para que incluya la dimensión y aspecto ambiental.

“Lo que pretende la política es direccionar la actividad del Estado hacia un cambio de visión entre los actores de gobierno y el sector productivo para que en un esfuerzo compartido resuelvan los desafíos de la gestión ambiental que deben enfrentar las empresas; el éxito de esta política depende del grado de compromiso y participación en la implementación de la Estrategia y Plan de acción, por parte del Gobierno Central, entes descentralizados, sector empresarial, organizaciones no gubernamentales, consumidores y la sociedad en general, desde todos los niveles, sobre la base de la responsabilidad compartida frente al medio ambiente” (MARN, 2004). Asimismo, pretende el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos, los cuáles son:

1. Reducir la contaminación ambiental adoptando actividades preventivas en los servicios, tecnologías y procesos productivos.
2. Lograr acuerdos de cooperación entre actores públicos y privados sobre temas de gestión ambiental empresarial.
3. Implementar acuerdos voluntarios con empresas o asociaciones privadas para adecuarse a los procesos de PML.
4. Formular normativa y fortalecer la institucionalidad a fin de promover e incentivar las prácticas de PML.
5. Crear condiciones favorables que promuevan el desarrollo de un mercado de bienes y servicios para la PML.
6. Generar el conocimiento y desarrollo de instrumentos de incentivos de PML.
7. Formular sistemas de información sobre tecnologías más limpias y prácticas preventivas de gestión ambiental.
8. Promover la incorporación del enfoque preventivo en la formulación de las políticas sectoriales e instrumentos reguladores de la administración pública.
9. Frenar los procesos del deterioro ambiental y lograr niveles efectivos de protección, conservación, restauración, recuperación gradual y uso sostenible de los ecosistemas y el ambiente, a través de una política pública consistente y de largo alcance, un marco normativo e institucional eficaz, la coordinación interinstitucio-

nal, la participación de la ciudadanía y el potenciamiento de una cultura para la edificación de una sociedad sustentable.

En el 2008 inició un proyecto denominado “Alianza de Producción Más Limpia con el sector Privado”. En el cual 17 empresas privadas transformaron sus procesos productivos al incorporar medidas de eficiencia energética y procesos de PML. El proyecto fue financiado por el Departamento de Estado de los Estados Unidos y apoyado por el CNPML y por el Centro Mundial del Medio Ambiente o por sus siglas en inglés WEC (World Environmental Center).

Luego en el 2011, la CCAD con apoyo del Gobierno de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) realizó una consultoría titulada “Elaboración de propuestas de política de Producción y Consumo Sustentable de El Salvador”.

La consultoría tenía como objetivo el apoyar al MARN en la formulación y validación de una Política de Producción y Consumo Sustentable, a partir del análisis de los resultados obtenidos durante siete años de implementación de la Política de PML, las tendencias internacionales sobre este tema y las necesidades de los diferentes actores claves al igual que evaluar los resultados obtenidos por los esfuerzos más relevantes desarrollados por los diversos actores públicos-privados, para la adopción de Producción limpia y analizar las tendencias internacionales relacionadas, que pueden involucrar a El Salvador (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, 2011).

2.2.2. Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML, 2020)

El CNPML inició sus labores en El Salvador en 1998, financiado por el Gobierno Suizo a través de la Secretaría del Estado de Asuntos Económicos (SECO) y con el apoyo administrativo de la ONUDI.

Desde el 22 de diciembre de 2005, el CNPML es una fundación apolítica, no lucrativa, ni religiosa, que contribuye al desarrollo sostenible mediante la coordinación de actividades destinadas a la implementación de estrategias y medidas económicas, financieras y ambientales en PML y consumo sustentable, a fin de mejorar la competitividad y el desempeño ambiental del sector público y privado del país. Que tiene como visión ser la

organización líder en la promoción de PML y consumo sustentable en El Salvador, con credibilidad nacional e internacional.

El CNPML brinda asistencia técnica a empresas e instituciones para fomentar el crecimiento económico, la innovación, el desarrollo de productos y la reducción del impacto ambiental de los productos y servicios. Para esto ofrecen diferentes servicios que se enlistan a continuación:

- i. Auditorías (diagnósticos, auditorías, y mediciones en PML, eficiencia energética, y energía renovable).
- ii. Sistema de gestión (Sistemas de gestión ambiental y calidad, huella de carbono, huella hídrica, ciclo de vida).
- iii. Laboratorio (Análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de biomasa).
- iv. Capacitaciones (Capacitaciones, entrenamientos y asesorías en PML, financiamiento, sistemas de gestión).

El CNPML ha realizado muchos proyectos desde su fundación hasta el presente entre ellos se encuentran:

i. Producción más Limpia en cuencas priorizadas del Triángulo Norte de Centroamérica y Panamá

Generar las condiciones propicias en El Salvador para la adopción de prácticas de producción más limpia, mientras se mejoran las oportunidades de capacitación para los estudiantes de las universidades y se demuestra como las Micro, pequeña y medianas empresas (MPYMEs) se pueden involucrar en el manejo integrado de cuencas.

ii. Desarrollo de Talleres Nacionales para la presentación de los Lineamientos base de la Estrategia Regional de Iluminación Eficiente en Centroamérica.

Que consistió en elaborar un informe sobre la situación actual de la región centroamericana en cuanto a la iluminación eficiente, que presente información precisa sobre el estatus actual de la iluminación eficiente en la región, proponga planes de transición, muestre los posibles resultados de la transición y compare cifras y modelos.

iii. Asistencia técnica a instituciones financieras para evaluar oportunidades de mercado en energía limpia y desarrollar políticas y productos financieros

Coordinar, gestionar y desarrollar las capacitaciones de las instituciones financieras. Gestionar y desarrollar entrevistas con funcionarios de instituciones financieras y clientes. Elaborar estudios de mercado para las instituciones financieras. Gestionar y realizar visitas técnicas a clientes para desarrollar auditorías. Elaborar informes de auditorías energéticas.

2.3. Metodología de PML

Para poder aplicar PML en un proceso productivo, diseño de producto o en sector servicio no se puede hacer a partir de definiciones abstractas ni de filosofías, sino que con la aplicación de una metodología que consiste en seguir un conjunto ordenado de actividades que se ejecutan en 5 etapas principales como se citan a continuación:

ETAPA 1: Planeación y organización

ETAPA 2: Pre-evaluación

ETAPA 3: Evaluación

ETAPA 4: Estudios de factibilidad

ETAPA 5: Implementación y continuidad

2.3.1. Etapa 1: Planeación y organización

En esta etapa de la metodología se planea reunirse con las empresas recicladoras para poder organizarse y realizar los siguientes 4 pasos:

1) Obtener compromiso de la Dirección/Gerencia

Para que el proyecto de PML tenga éxito es sumamente necesario que la dirección apruebe y se comprometa con él, ya que esto permite una mejor ejecución, calidad y continuidad del proyecto.

2) Organizar el equipo del proyecto de PML

Es necesario formar un comité de PML que sea capaz de gestionar las actividades del proyecto y tomar cualquier decisión importante. Los miembros que generalmente se sugieren para dicho comité son los siguientes:

- i. Representante de la dirección
- ii. Gerente de producción
- iii. Área de medio ambiente
- iv. Área de mantenimiento
- v. Supervisor motivado
- vi. Operador o técnico motivado
- vii. Contador
- viii. Consultor externo

Pero debido a la naturaleza de esta investigación se asignarán diferentes roles a los participantes del grupo encargado del proyecto de investigación de PML.

3) Definir metas de PML en planta

Este paso es esencial ya que en ella se deben establecer los alcances y/o metas concretas que se planean alcanzar con el proyecto usando herramientas como los indicadores de producción.

4) Identificar barreras y soluciones.

Como todo proyecto es necesario identificar los problemas o limitantes que se pueden llegar a tener en el desarrollo del proceso y buscar soluciones factibles a dichas limitantes o problemas.

2.3.2. Etapa 2: Pre-evaluación

La herramienta que se debe emplear inicialmente en la etapa de pre-evaluación en esta investigación es el DDA, cuyo objetivo principal es indagar sobre la situación actual del funcionamiento de las empresas dedicadas a la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final de los RAEE en El Salvador, si este es eficiente, ambientalmente adecuado y de carácter sostenible.

Al desarrollar esta herramienta dentro de una empresa u organización facilita la identificación de áreas con potencial de mejora o posibles riesgos ambientales, factores que son muy importantes en el momento de plantear propuestas de PML.

El DDA es un cuestionario digital que consta de 70 preguntas, con un tiempo estimado de realización de 3 horas, en las cuales el investigador realiza las preguntas al encargado pertinente de la empresa estudiada. El cuestionario se divide en siete secciones diferentes que son las siguientes:

1. Planificación ambiental

Aspectos relacionados a la planeación ambiental de la organización.

2. Cumplimiento legal ambiental

Verificación del cumplimiento de los requisitos legales ambientales generales.

3. Riesgo legal ambiental

Análisis del riesgo del cumplimiento legal ambiental

4. Uso de recursos

Implementación de programas y prácticas sobre el uso eficiente de recursos y producción más limpia

5. Gestión de emisiones

Implementación de programas sobre la gestión de emisiones y desechos.

6. Perspectiva de ciclo de vida

Programas de gestión ambiental dirigidos a diseño y cadena de proveedores/clientes

7. Gestión de la información

Estructura para la administración y uso eficiente de la información de gestión ambiental.

Para cada una de las secciones se evalúan cinco aspectos ambientales diferentes, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 2.1. Aspectos ambientales evaluados en DDA

Sección	Aspectos ambientales evaluados
Planificación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> a. Identificación de aspectos e impactos ambientales b. Definición de objetivos y metas ambientales c. Uso de indicadores de desempeño ambiental d. La gestión de la dirección (gerencia) de la organización e. Capacidad instalada en el tema ambiental del equipo de trabajo
Cumplimiento legal ambiental	<ul style="list-style-type: none"> a. Revisión por dirección b. Salud ocupacional c. Evidencias de cumplimiento d. Instrumentos legal-ambiental e. Evaluación legal
Riesgo legal ambiental	<ul style="list-style-type: none"> a. Reducción del impacto b. Costo Operativo c. Calidad Técnica d. Enfoque de Gestión e. Naturaleza empresarial
Uso de recursos	<ul style="list-style-type: none"> a. Oficina verde b. Materiales sostenibles c. Uso de productos químicos d. Eficiencia energética e. Optimización del agua
Gestión de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> a. Desechos peligrosos b. Emisiones Gaseosas c. Desechos sólidos d. Aguas residuales e. Desechos líquidos
Perspectiva de ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> a. Encadenamiento verde b. Diseño ambiental c. Disposición final d. Transporte e. Copras verdes
Gestión de la información	<ul style="list-style-type: none"> a. Comunicación b. Interpretación c. Informes d. Tecnología de medición e. Controles ambientales

El cuestionario cuenta con preguntas cerradas de opción múltiple que consiste en una escala de 0 a 4, la cual se describe de la siguiente manera:

- 0 - No se ha implementado.
- 1 - Se ha iniciado el proceso de análisis o diseño del aspecto.
- 2 - En proceso de revisión final para implementarlo.
- 3 - Implementado y en operación.
- 4 - En operación y ha tenido un proceso de revisión, actualización o mejora.

Ya que el objetivo del cuestionario es evaluar, se emplea un método de evaluación en base a calificaciones. Los primeros ítems a evaluar son los aspectos, cada sección cuenta con dos preguntas por aspecto, es decir que el puntaje máximo que se puede tener por aspecto en cada sección es de 8 y el mínimo es de 0, por lo que para obtener una calificación porcentual es necesario seguir la siguiente ecuación:

$$\text{Calificación aspecto} = \frac{(\text{puntaje respuesta 1} + \text{puntaje respuesta 2})}{8} * 100\%$$

Siendo la calificación de la sección el promedio de las calificaciones de sus 5 aspectos, mientras la calificación total sería el promedio de las 7 calificaciones de las secciones.

La calificación obtenida en cualquiera de los niveles representa el nivel de cumplimiento que tiene la empresa en ese determinado aspecto, ya que el valor de la calificación se encuentra en la escala del 0 al 100, el cumplimiento se determinará si la calificación se encuentra dentro de ciertos rangos, siendo el menor rango de 0 a 20 y el máximo de 75 a 100. Todos los rangos con su respectivo cumplimiento se ven detallados en la Tabla 2.2, se añade una leyenda de colores para facilitar la identificación del nivel de cumplimiento.

Tabla 2.2 Indicadores de cumplimiento

Puntaje	Color indicador	Cumplimiento
0 – 20		Cumplimiento Nada Satisfactorio
21 – 49		Cumplimiento No Satisfactorio
50 – 64		Cumplimiento Parcial
65 – 74		Cumple Satisfactoriamente
75 -100		Cumple Totalmente

Luego de haber realizado el DDA y habiendo analizando los datos obtenidos se deben realizar los siguientes 3 pasos:

- 1) Desarrollo de diagramas de flujo

En este paso se identifican todas las etapas del proceso productivo, revisando todas las entradas, salida y flujo de materiales y energía. Esto permite la caracterización del proceso y hacen visibles las oportunidades de mejoras.

2) Evaluación y cuantificación de entrada y salida de materiales.

Es necesario que en cada etapa del proceso enlistar entradas y salidas, asignar costos a las entradas y salidas por materia prima, consumo de agua, energía. También se revisan prácticas de operación, mantenimiento y selección de materiales.

3) Seleccionar el enfoque de diagnóstico de PML

En este paso se consideran 3 criterios: el económico en el cual las se relacionan las pérdidas económicas con los residuos generados y se considera los consumos de materia prima, energía y agua, el técnico en el cual se considera el potencial a mejorar y que tan probable es la aplicación de las actividades de PML, y finalmente el Ambiental en la cual se ve el volumen de residuos y la situación de gestión ambiental.

2.3.3. Etapa 3: Evaluación

En esta etapa de la metodología se realizan 4 pasos:

1) Efectuar el balance de materiales

El hacer el balance nos permite identificar y cuantificar las pérdidas en el proceso, nos permite definir la unidad de operación y finalmente nos da la claridad de todas las condiciones residuos y energía se pierden.

2) Evaluación de causas de la generación de residuos.

En este paso es necesario evaluar la situación en la cual se encuentran la operación y mantenimiento del proceso, la tecnología de producción, el control de condiciones óptimas, el potencial de reúso y reciclaje, y finalmente las habilidades y motivación de los empleados.

3) Generación de opciones de PML

En este paso es necesario emplear todos los recursos de los que se dispongan para genera las opciones, estos pueden ser lluvias de ideas, solicitar ideas fuera del grupo de trabajo, revisar ejemplos de opciones de PML en otras empresas o incluso investigar nuevas tecnologías.

4) Selección de medidas de PML

Para poder seleccionar entre las opciones se deben ordenar primero por unidades de operación, después se evalúan las interferencias mutuas obvias, para las que se generan medidas obviamente posibles, para finalmente descartar medidas que obviamente no son factibles.

2.3.4. Etapa 4: Estudios de factibilidad

Esta etapa se enfoca en determinar la viabilidad de las propuestas generadas mediante 3 estudios de factibilidad, los cuáles se reflejan en la Figura 2.1 como de igual relevancia, y con los cuales se verificará si las medidas de cambio contribuyen a la mejora del proceso productivo.

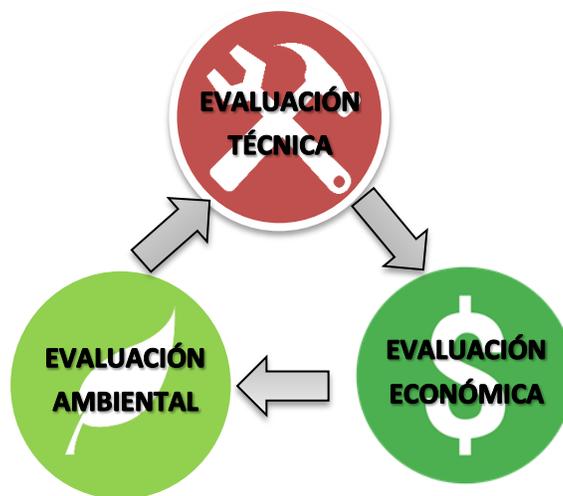


Figura 2.1 Áreas de evaluación en el estudio de factibilidad

1) Evaluación Técnica

Esta evaluación tiene el objetivo de evaluar aspectos como: infraestructura, capacidad instalada, flujo de proceso, capacitaciones del personal, seguridad e higiene ocupacional y otros aspectos según sea la naturaleza de la propuesta, determinando el equipo y especificaciones técnicas para que pueda ser implementada y de esta forma responda favorablemente a los objetivos de la empresa.

La metodología a seguir en esta actividad será:

- i. Se recopilará información para comenzar el análisis de las necesidades técnicas, mediante datos estadísticos, diseño de infraestructura, informes técnicos, energéticos y productivos para describir la situación actual, esta información será recolectada a través de visitas previamente realizadas a la planta recicladora.
- ii. Teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente, se determinarán las necesidades operativas y requerimientos para cumplir la demanda actual en la empresa recicladora, posterior a esto se describirá el cambio propuesto de modo que tenga un impacto en los indicadores ambientales propuestos.
- iii. Como resultado de dicho análisis, se concluirá a partir del beneficio en términos de ahorro operativo, energético, mejora de eficiencias y demás indicadores operacionales que maneje la empresa recicladora.

2) Evaluación Económica

Este estudio de factibilidad es para analizar los costos e ingresos de las propuestas planteadas en un esfuerzo por determinar si resulta o no lógico y posible poder completarlo. Este es un tipo de análisis de costo-beneficio. Se recomienda evaluar las opciones económicamente atractivas primero. Esta evaluación económica se lleva a cabo calculando y utilizando indicadores financieros de rentabilidad que son la tasa de interés de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda una ganancia. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros (ingresos menos egresos). El método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado.

La tasa de interés con la que se descuenta el flujo neto proyectado, es la tasa de oportunidad, rendimiento o rentabilidad mínima esperada, por lo tanto, cuando la inversión resulta mayor que el BNA (beneficio neto actualizado), es decir un VAN negativo, es porque no se ha satisfecho dicha tasa. Cuando el BNA es igual a la inversión (VAN igual a cero) es porque se ha cumplido dicha tasa, y cuando el BNA es mayor que la inversión (VAN positivo), es porque se ha cumplido con dicha tasa y además, se ha generado un

beneficio adicional. El VAN también nos permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión.

TIR (tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) de una inversión sea igual a cero ($VAN = 0$).

Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento), y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no. Si la TIR es menor a la tasa de descuento, el proyecto debe rechazarse (Gómez y Gouveia, 2005).

3) Evaluación ambiental

En general, la evaluación de la factibilidad ambiental de un proyecto de PML se realiza luego de la evaluación técnico-económica, sin embargo, esto no la hace menos relevante para la toma de decisiones para la selección de la oportunidad más viable.

El objetivo de la evaluación ambiental es toar a consideración la reducción de impactos negativos hacia el medio ambiente que cada una de las propuestas de mejora (oportunidades de PML) brindan, ya sea para reducir las afectaciones hacia la flora, fauna, medio ambiente general o incluso impactos negativos directos a los seres humanos.

La factibilidad ambiental se debe realizar tanto cualitativa como cuantitativamente, para así obtener un resultado objetivo de las propuestas presentadas.

El análisis cualitativo normalmente se refiere a la evaluación de aspectos de importancia legal o ambiental que se deben tomar a consideración, pero que no tienen la manera de medirse de manera cuantitativa, por ejemplo, en el caso de un nuevo proyecto de construcción o ampliación se debe evaluar si en el sitio se encuentran especies de fauna y/o flora en peligro de extinción, la geografía del lugar, entre otros.

En cambio, el análisis ambiental cuantitativo hace referencia a los cálculos de indicadores ambientales pertinentes y su respectiva comparación con los valores de dichos indicadores actuales; para un análisis cuantitativo favorable se debe evidenciar una reducción de los indicadores (en caso se refieran a impactos ambientales negativos) o a un incremento de los indicadores (en caso se refieran a impactos ambientales positivos).

Algunos ejemplos de esto sería la evaluación del indicador ambiental de consumo de agua o energía, los cuáles deberían evidenciar una disminución de consumo ya que así disminuiría el impacto ambiental al recurso hídrico y huella de carbono que producen respectivamente.

Para fines de este trabajo de investigación se propone el análisis de los aspectos ambientales de acuerdo a los indicadores ambientales establecidos previamente en cada una de las etapas del proceso. Los principales aspectos a evaluarse en las empresas recicladoras son:

- a. Consumo energético
- b. Consumo de recurso hídrico dentro de las instalaciones
- c. Generación de residuos sólidos reciclables
- d. Generación de residuos sólidos provenientes de residuos electrónicos
- e. Generación de residuos peligrosos
- f. Generación de desechos

Estos aspectos se evaluarán en cada oportunidad de PML propuesta, según aplique, y tomando en cuenta la recopilación de datos de las empresas participantes de esta investigación.

2.3.5. Etapa 5: Implementación

Debido a la naturaleza de la investigación y a los objetivos y metas planteados con las empresas esta etapa de la metodología no se abarcará en la investigación, pero queda abierta la posibilidad que con las propuestas presentadas a las empresas estas decidan por su cuenta implementarlas y darles continuidad.

Las visitas técnicas y reuniones virtuales con las empresas formaran la parte fundamental de la aplicación de esta metodología, que en el siguiente capítulo se desglosara de manera detallada que se realizó en cada una de estas y la aplicación precisa y concreta de todos los pasos previamente descritos, presentando y mostrando sus diagramas o procesos numéricos para poder presentar de manera concreta las oportunidades de PML más viables a las empresas.

3. DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EMPRESAS RECICLADORAS

En el presente capítulo se detalla el desarrollo de las etapas de la metodología de PML aplicada en las empresas estudiadas. Como se menciona en el capítulo 2, el desarrollo de esta investigación abarca hasta la etapa 4, ya que la etapa 5 (que es la final, según la metodología) consiste en la implementación de las medidas de PML en las empresas, y este objetivo no se ve abarcado en los alcances de la presente investigación. Esto se debe a que todos los datos e información obtenida, así como las medidas de PML generadas serán destinadas para la elaboración de la guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador.

La realización de esta investigación fue facilitada por el CNPML en conjunto con ONUDI, en el marco del memorándum de entendimiento con la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Para esta investigación se recibió el apoyo de parte de 4 empresas recicladoras de RAEE de El Salvador, sin embargo, por motivos de acuerdos de confidencialidad se omiten sus nombres y se les nombra únicamente como empresa A, empresa B, empresa C y empresa D.

3.1. Planeación y Organización

Esta etapa, como se estableció en el capítulo 2, fue la primera en realizarse y es cuando se plantearon los alcances que se deseaban para la investigación que se quería realizar y se buscó la manera en la cual se pudiera acoplar a sus proyectos y objetivos particulares de cada empresa. Es una etapa clave en la investigación ya que esto permitió establecer los objetivos y limitaciones de la investigación.

3.1.1. Compromiso de la Gerencia

Los ingenieros del CNPML se pusieron en contacto con diferentes empresas recicladoras de El Salvador que participaran en el proceso de gestión de RAEE, ya sea que únicamente acopiaran estos equipos o que ya tuvieran un proceso en el que desensam-

blaran RAEE. De entre todas las empresas contactadas se seleccionaron 4, con las cuáles se realizaron diversas reuniones con los encargados de las empresas, los asesores del CNPML y los estudiantes a cargo de esta investigación, con el fin de explicarle a la gerencia en qué consistía el proyecto y así poder concretar con ellos el compromiso necesario para colaborar con su tiempo e información. Además en esta etapa se tuvo una intervención de parte de la Escuela de Ingeniería química en donde se les hizo llegar a las empresas un compromiso de parte de la Universidad para aclarar nuevamente el uso que se harían de los datos proporcionados.

3.1.2. Organizar el equipo del proyecto de PML

Como establece el capítulo 2, para esta etapa fue necesario formar un equipo encargado de aplicar la metodología de PML en las empresas, el cual consistía de los 3 estudiantes involucrados en esta investigación y 2 ingenieros del CNPML.

También fue necesario plantear las tareas que cada miembro del equipo debía realizar, las tareas designadas a los estudiantes fueron las de investigación de antecedentes, asistencia a visitas técnicas para la recolección de información y de datos al igual que conocer el proceso, análisis de los datos, realización de flujos y esquemas, elaboración de propuestas de mejora, y realización de la factibilidad de las propuestas.

Por otra parte, uno de los ingenieros del CNPML se encargaría de coordinar todo el proyecto, la comunicación con las empresas y la asesoría a los estudiantes y el otro acompañaría al trabajo de campo y la recolección de datos.

3.1.3. Definir metas de PML

Ya habiendo obtenido el compromiso de la gerencia de las empresas se les planteó la meta de la investigación, donde se hizo la aclaración que esta sólo tendría como fin la elaboración de las propuestas de PML, pero que no se abarcaría la implementación de estas. De la misma manera, se hizo necesario plantear la meta que las empresas cumplan todos los requisitos técnicos y ambientales que establece el MARN sin afectar los indicadores internos de productividad.

3.1.4. Identificar barreras y soluciones

Por la naturaleza de este proyecto fue necesario identificar barreras que llegasen a limitar o entorpecer la investigación, tales como conseguir la participación activa de los empleados para recabar la información en las visitas técnicas, que esto es directamente afectado por la comunicación entre áreas dentro de la empresa. Sin embargo, la limitación más grande que se tuvo en esta investigación fue la fluidez de la comunicación con las empresas para poder realizar las visitas técnicas y para obtener la información solicitada. Estas barreras fueron solucionadas de la mejor manera posible, hecho que permitió continuar con la investigación exitosamente.

3.2. Pre-evaluación

Durante esta etapa de la metodología se realizó una reunión virtual con los encargados del área productiva de cada una de las empresas recicladoras a estudiar. Estas reuniones tenían 2 objetivos, el primero era poder realizar el DDA para conocer la situación ambiental del proceso y la empresa, y en segundo lugar también se requería que ellos explicaran detalladamente el proceso de reciclaje o desmantelamiento que se realiza en su empresa respectivamente, además de proporcionar algunos datos del consumo de agua y energía dentro de su empresa.

3.2.1. Descripción de evaluación inicial de empresas recicladoras

La evaluación inicial de las empresas consistió en tener una reunión con los representantes de las recicladora para que ellos explicaran como operaban su empresa, que proceso productivo tenían, que residuos aceptaban, que elementos exportaban, es decir su proceso en general, luego de esto se procede con el DDA. Con el resultado de las diferentes áreas del DDA y la explicación general del proceso se comenzaron a realizar los pasos de la etapa 2 establecidos en el capítulo 2.

a. Diagnóstico de Desempeño Ambiental

Después de la realización de una evaluación preliminar de las empresas recicladoras por medio del cuestionario del DDA se obtuvieron los siguientes resultados:

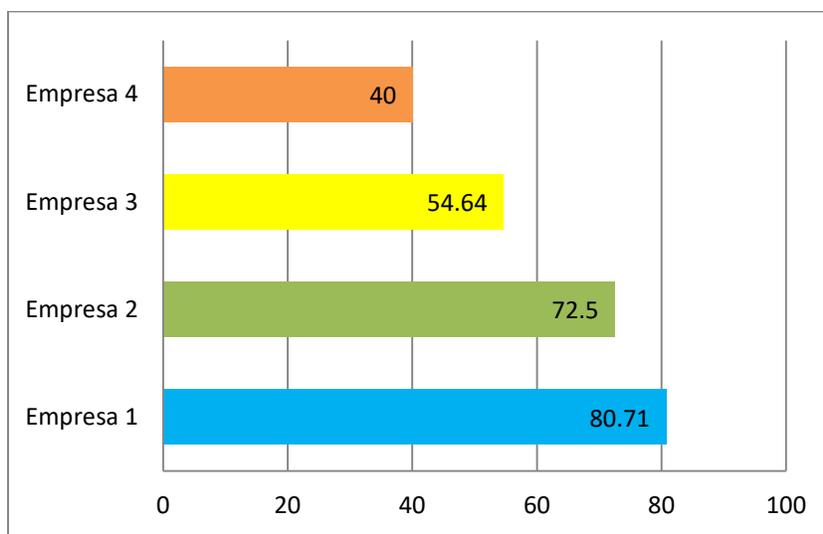


Figura 3.1. Gráfica comparativa de resultados de DDA

Los resultados reflejados en la Figura 3.1 indican el nivel de cumplimiento ambiental de las 4 empresas, representados según los códigos de colores indicados en la Tabla 2.2. En general, según los resultados obtenidos, las empresas presentan un nivel de cumplimiento ambiental institucional diferente entre sí, por lo que será de relevancia para la investigación evaluar las causas de dichas diferencias. A continuación, se tienen a mayor detalle los resultados según aspectos evaluados en cada sección.

I. Planificación ambiental

En la Figura 3.2 se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento.

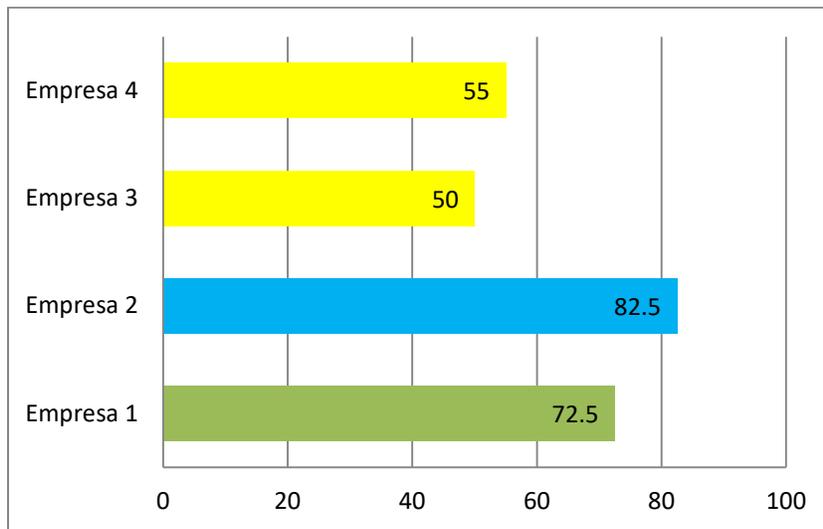


Figura 3.2. Gráfica comparativa de resultados de planificación ambiental

Seguidamente, en la Figura 3.3 se tiene una comparativa de los resultados detallados de los aspectos evaluados en la sección de planificación ambiental, donde los resultados de la empresa 4 son de especial relevancia ya que tiene nullos indicadores ambientales. En general, las 4 empresas tienen un nivel alto de cumplimiento en el aspecto de “capacidad instalada”, el cual evalúa las capacidades técnicas y de gestión ambiental dentro de las empresas.

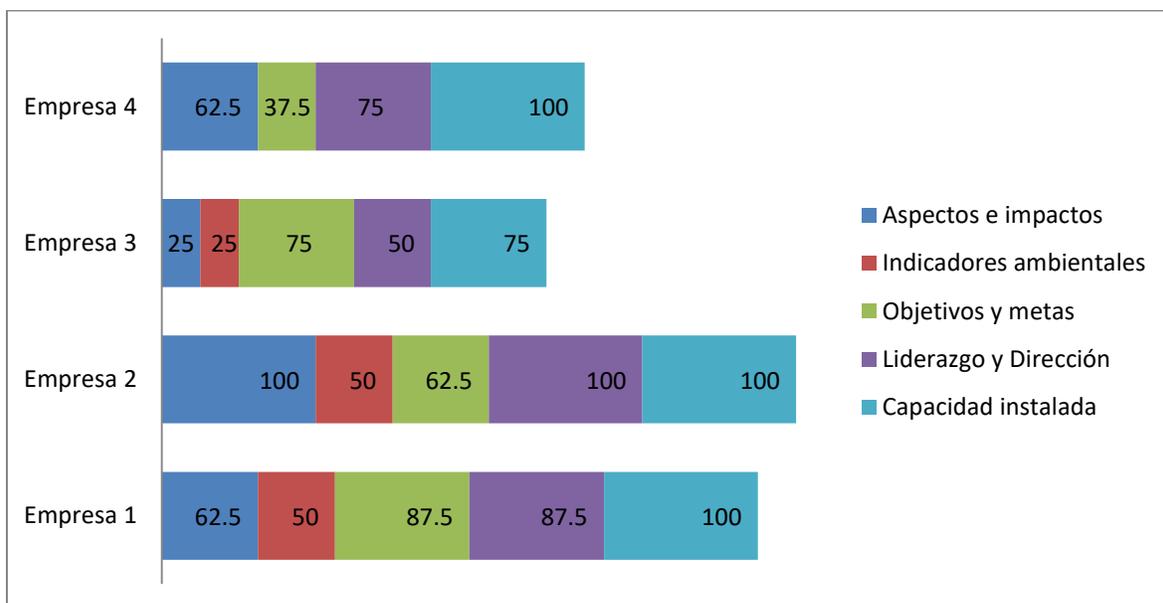


Figura 3.3. Gráfica comparativa de aspectos de planificación ambiental

II. Cumplimiento Legal Ambiental

En la Figura 3.4 se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento para esta sección.

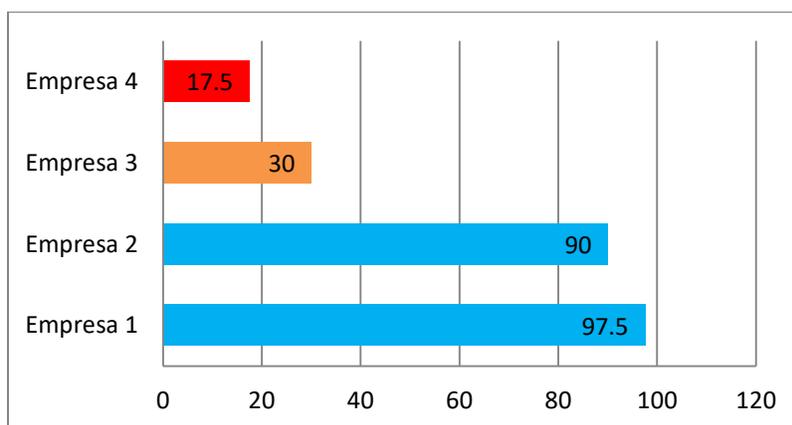


Figura 3.4. Gráfica comparativa de resultados de cumplimiento legal ambiental

Además, la Figura 3.4 hace una comparación del nivel de cumplimiento de esta sección, siendo las empresas 1 y 2 con un alto nivel de cumplimiento, mientras que la empresa 1 mantiene un cumplimiento no satisfactorio.

A continuación, en la Figura 3.5 se presenta una descripción detallada de los aspectos que forman esta sección en donde se evidencia una notable falta de cumplimiento en el aspecto de instrumento legal ambiental para las empresas 3 y 4. Las empresas 1 y 2 tienen un nivel de cumplimiento satisfactorio en todos sus aspectos.

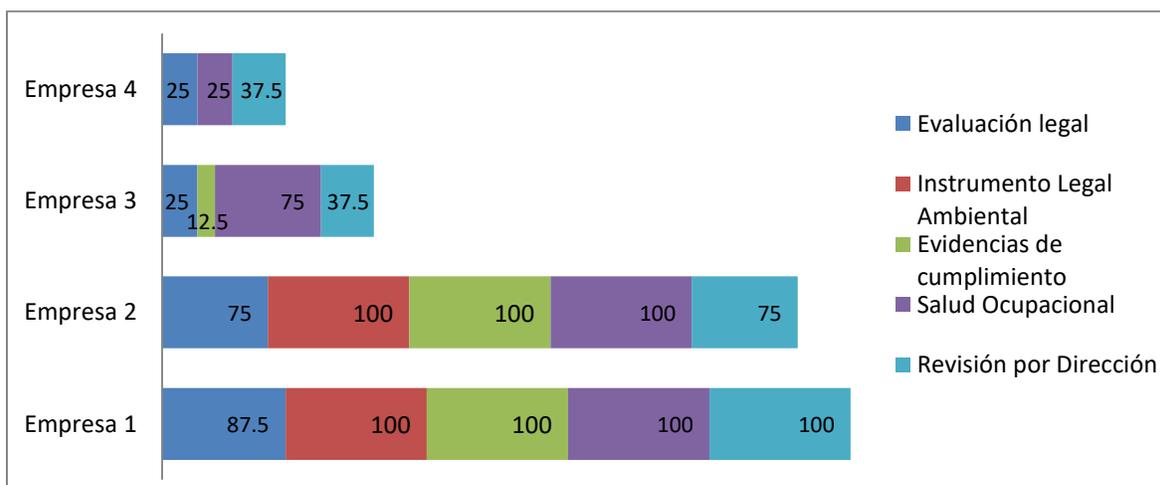


Figura 3.5. Gráfica comparativa de aspectos de planificación ambiental

III. Riesgo Legal Ambiental

En la Figura 3.6 se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento para la sección de riesgo legal ambiental.

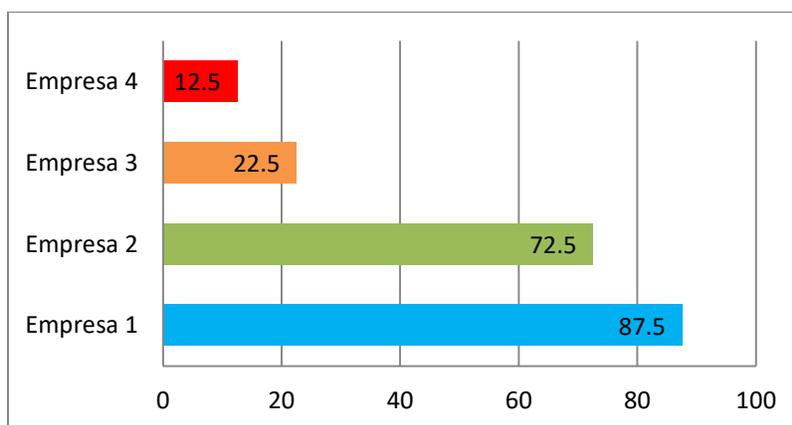


Figura 3.6. Gráfica comparativa de resultados de riesgo legal ambiental

La tendencia de los niveles de cumplimiento indica que la empresa con mayor cumplimiento de los aspectos evaluados es la 1 y la que tiene menor nivel de cumplimiento es la empresa 4. Con respecto al nivel de cumplimiento de los aspectos de esta sección, se observa en la Figura 3.7 que en las empresas 3 y 4 no se cuenta con un enfoque de gestión ni el establecimiento de la relación de los instrumentos legales con respecto a la naturaleza de la empresa.

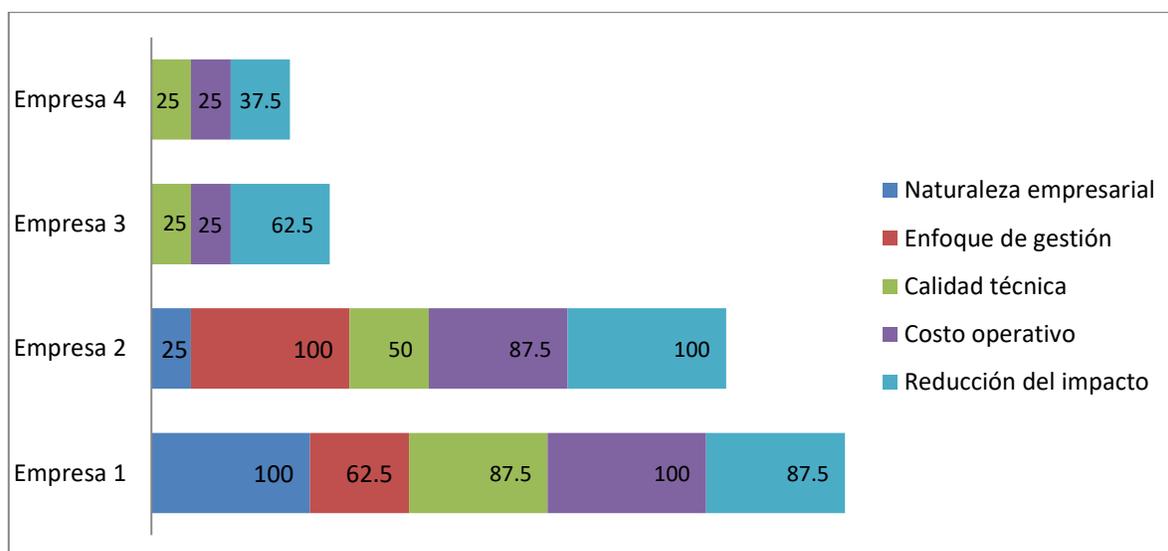


Figura 3.7. Gráfica comparativa de aspectos de riesgo legal ambiental

IV. Uso de recursos

En la Figura 3.8 se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento para la sección de uso de recursos.

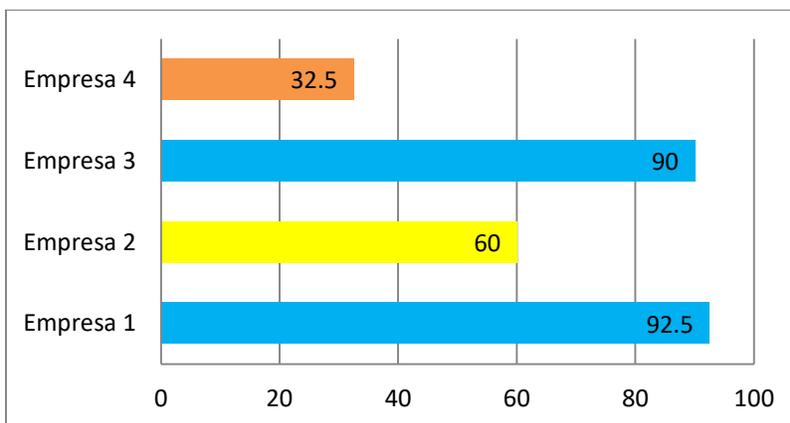


Figura 3.8. Gráfica comparativa de resultados de uso de recursos

Para esta sección, las empresas con mayor nivel de cumplimiento son la 1 y 3, es decir que estas empresas tienen mayor análisis de las actividades o programas implementados por la organización que contribuyen al uso eficiente de recursos mientras que la empresa 2 y 4 aun no cumplen con este aspecto tienen un nivel de cumplimiento satisfactorio. Además, como se observa en la Figura 3.9 los aspectos con mayores oportunidades de mejora en las empresas son los relacionados con oficina verde y optimización del agua.

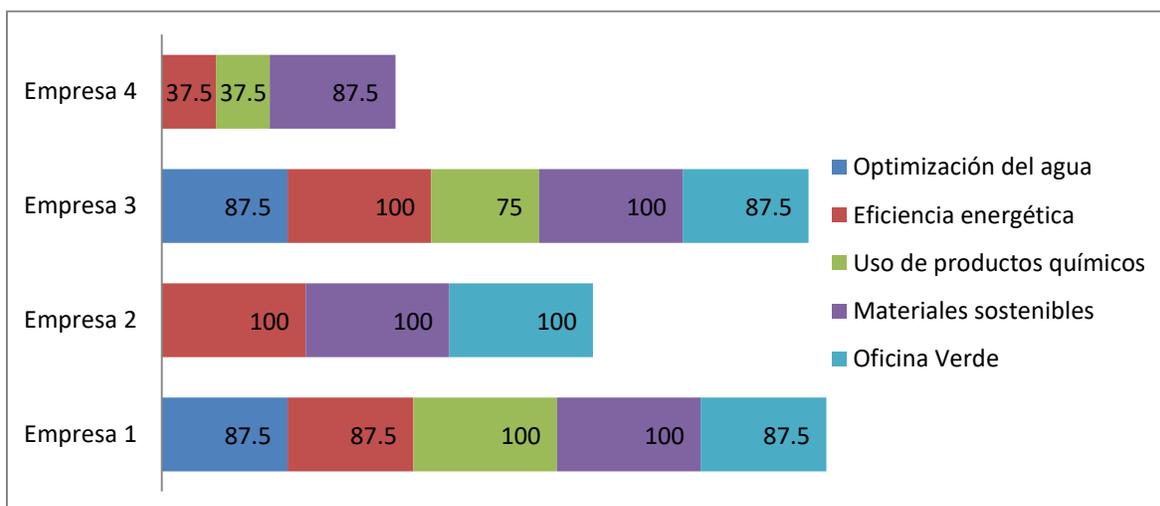


Figura 3.9. Gráfica comparativa de aspectos de riesgo legal ambiental

V. Gestión de emisiones

Se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento para la sección de gestión de emisiones. Según se observa en la gráfica de la Figura 3.10 esta es una de las secciones con mayor nivel de cumplimiento de todas las empresas consideradas en esta investigación.

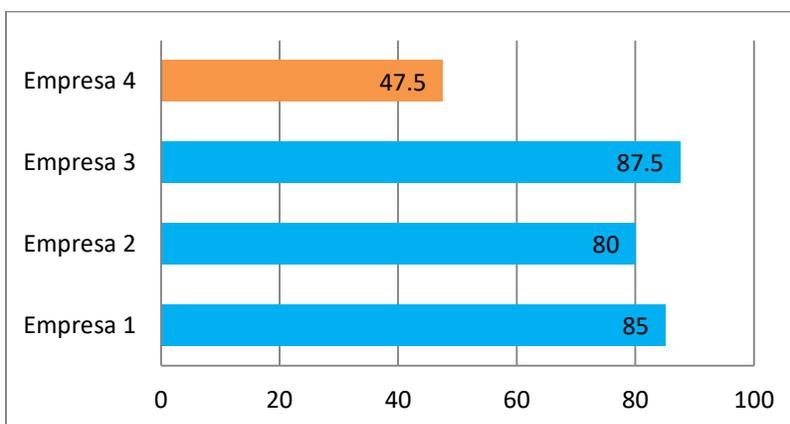


Figura 3.10. Gráfica comparativa de resultados de cumplimiento gestión de emisiones

A pesar que la mayoría de empresas tiene un alto nivel de cumplimiento como se observa en la Figura 3.11, en la empresa 4 no se ha considerado el aspecto de emisiones gaseosas, sin embargo el cumplimiento en los otros aspectos es bastante aceptable. Otro de los aspectos que supone una oportunidad de mejora es el de aguas residuales, el cuál debe ser un aspecto de importancia.

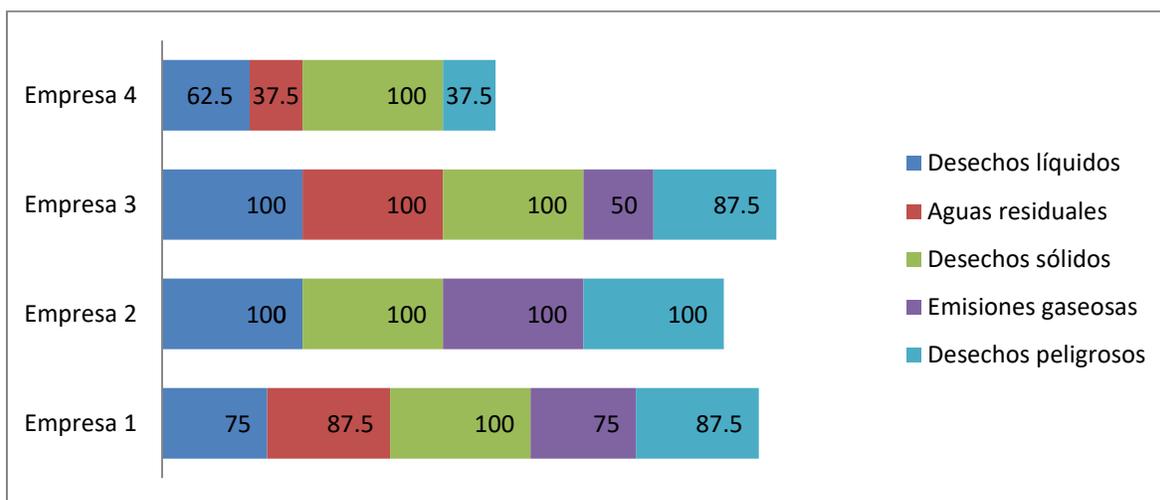


Figura 3.11. Gráfica comparativa de aspectos de gestión de emisiones

VI. Perspectiva de ciclo de vida

En la Figura 3.12 se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento para la sección de uso de recursos. Como se observa en la gráfica las empresas presentan de cumplimiento satisfactorio a total.

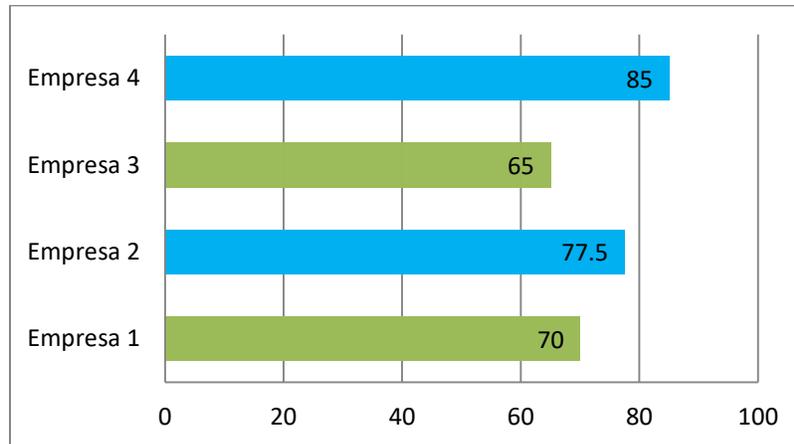


Figura 3.12. Gráfica comparativa de resultados de perspectiva de ciclo de vida

Según se observa en la gráfica de la Figura 3.13, todos los aspectos se han cumplido en algún porcentaje. En general, el aspecto del uso eficiente del transporte en las empresas es el que tiene mayor oportunidad de mejora, mientras el aspecto de disposición final es el que tiene mayor nivel de cumplimiento en las 4 empresas.

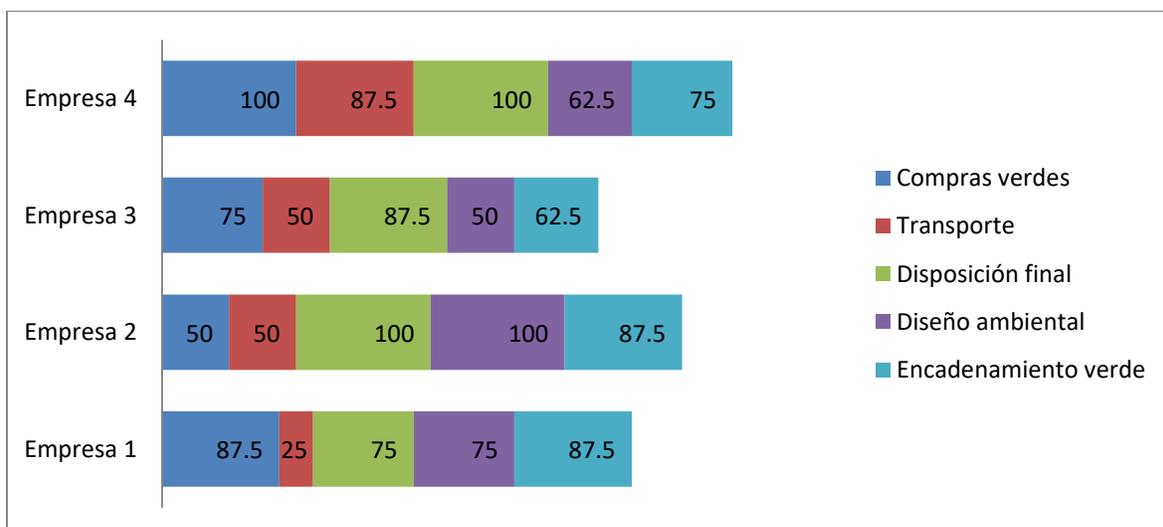


Figura 3.13. Gráfica comparativa de aspectos de perspectiva de vida

VII. Gestión de información

En la Figura 3.14 se tiene una comparativa de las 4 empresas evaluadas, en la cual se tiene el color según su nivel de cumplimiento para la sección de uso de recursos. Como se observa en la gráfica las empresas presentan de cumplimiento parcial o no satisfactorio.

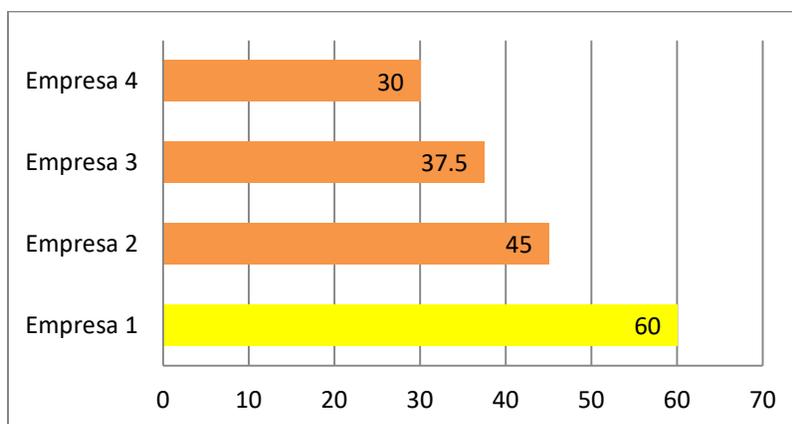


Figura 3.14. Gráfica comparativa de resultados de gestión de información

En general las empresas recicladoras presentaron un bajo cumplimiento de gestión de la información, tal como se observa en la gráfica de la Figura 3.15, entre las principales oportunidades de mejora se tienen los aspectos de tecnologías de medición con respecto a indicadores ambientales y a su vez a la interpretación de dicha información para la toma de decisiones dentro de la gestión ambiental en dichas empresas.

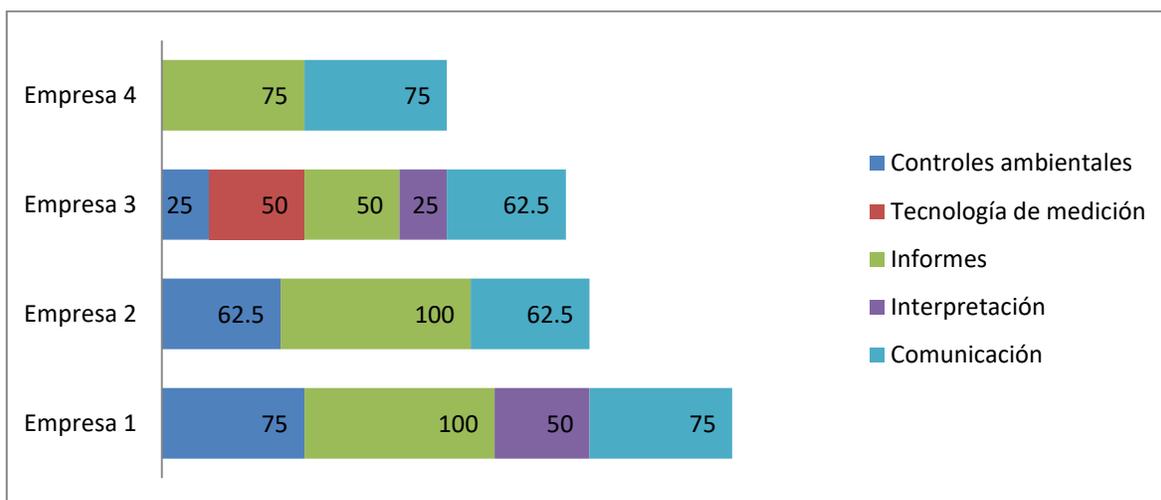


Figura 3.15. Gráfica comparativa de aspectos de gestión de información

En resumen, los resultados y puntajes obtenidos en las 7 secciones permiten tomar a consideración puntos de relevancia al identificar los aspectos de mejora, que consecuentemente influye en las siguientes etapas de la metodología.

b. Descripción del consumo energético

Dentro de la mejora de procesos que brinda la aplicación de PML, el consumo energético es un aspecto clave para evaluar la eficiencia de las tecnologías y valorar su importancia dentro del proceso de desensamblaje para un mejor uso o renovación del equipo, esto es posible visualizarlo de manera general mediante la información obtenida por el consumo energético mensual (representado en kWh) que se indica en la facturación mensual de la empresa recicladora.

A través del consumo mensual en la planta recicladora se conoce la demanda eléctrica necesaria para mantener sus operaciones actualmente, esta demanda incluye el funcionamiento de luminarias, balanzas y herramientas eléctricas incluyendo el uso de dispositivos eléctricos como radios y cargadores para celular del personal operativo. En la Tabla 3.1 se ven reflejados los datos relevantes para la investigación.

Tabla 3.1. Facturación eléctrica de la empresa

Periodo de facturación				Consumo energético (kWh)			
Mes	Desde	Hasta	Días facturados	Hora punta (18:00-22:59)	Hora valle (23:00-04:59)	Hora resto (05-17:59)	Total
12/2020	07/11/2020	08/12/2020	30	243.60	316.68	4019.40	4579.68
04/2021	09/03/2021	08/04/2020	30	194.88	243.60	4116.84	4555.32
03/2021	06/02/2021	09/03/2021	31	219.24	99., 40	4336.08	4823.28
02/2021	08/02/2021	06/02/2021	31	194.88	267.96	4579.68	5042.52
01/2021	08/01/2021	07/01/2021	30	243.60	243.60	3824.52	4311.72
Promedio							4662.50

Se puede observar que en el caso de una empresa desensambladora promedio, en su totalidad, el consumo mensual es de aproximadamente 4662.504 kWh/mes y aproximadamente de 55950 kWh/año, para solventar el uso de equipos en planta y necesidades administrativas. Siendo el periodo de tiempo en el que más energía se consume el comprendido entre (05:00-17:59).

c. Descripción del consumo hídrico

En la metodología de PML el consumo hídrico es uno de los puntos que toma importancia al momento que se realiza un análisis, dado que en ocasiones es uno de los recursos de mayor uso en empresas de diferentes rubros industriales, en este caso que consta de una empresa desensambladora, se busca obtener un ahorro y uso eficiente del recurso hídrico, lo cual corresponde a realizar las acciones necesarias

A continuación, en la Tabla 3.2 se muestra un estimado promedio del consumo de agua que la empresa ejemplo tiene en función del personal que se encuentre disponible dentro de la planta desensambladora.

Es de destacar que en este rubro de gestión de RAEE no se considera el insumo hídrico como parte del proceso ya que no es utilizada en ninguna de las etapas de gestión hasta el momento en las empresas recicladoras de El Salvador, por lo que estos datos son correspondientes a las actividades no industriales realizadas dentro de la empresa entre las cuales se incluyen el uso de inodoros, lavamanos y jardinería.

Tabla 3.2. Consumo de agua mensual en una empresa

Personal	Líquido (m ³ /mes)
3	7.2
4	9.6
2	4.8
4	9.6
Promedio	7.8

Utilizando el valor promedio anterior sobre el consumo de agua se divide entre el número de personas promedio por mes que suele permanecer en la empresa recicladora se obtiene un total de 2.4 m³/mes por persona. En todo caso, por tratarse de una empresa en la cual no se hace un uso constante del recurso hídrico se puede considerar un valor atípico dado que según la OMS una persona debería cubrir sus necesidades básicas con un total de 0.6 m³/mes.

d. Descripción de generación de residuos sólidos comunes

El manejo de los desechos sólidos bajo un enfoque de PML debe ser parte integral de los objetivos de la empresa de tal modo que se vele por su correcta disposición, de

acuerdo a las actividades de la empresa desensambladora los residuos sólidos comunes provenientes del personal dentro de la empresa se controla mediante el servicio de recolección de basura municipal (MIDES). La información contenida en la Tabla 3.3 está dada según el número de colaboradores que se encuentren en la planta, estos residuos sólidos comunes, tales como cajas de cartón, papelería y materia orgánica proveniente del consumo de alimentos por parte de los colaboradores de la empresa.

Tabla 3.3. *Residuos sólidos comunes generados*

Personal	Sólidos (kg/día)
3	1.92
4	2.56
2	1.28
4	3.56
Promedio	2.33

El valor promedio obtenido se divide entre el número de personas promedio dentro de la empresa y se obtiene una generación de residuos sólidos comunes de 0.7169 kg/día, generando mensualmente una cantidad promedio por persona de 21.507 kg/día.

3.2.2. Diagramas de flujo de una planta recicladora

En la Figura 3.16 se presenta el proceso general que siguen las empresas recicladoras de RAEE en El Salvador, desde la recolección de los RAEE de cualquiera de sus fuentes hasta el transporte final con destino a otras plantas procesadoras, al extranjero o incluso hacia su disposición final. El diagrama detalla los flujos acumulativos que se generan en el proceso.

En la Tabla 3.4 se detallan los componentes o artículos que conforman cada uno de los flujos del diagrama anterior, tanto entradas como salidas del proceso. Se han representado dichos flujos por las letras del alfabeto, estando ordenados desde el inicio hasta el final del proceso de gestión.

Tabla 3.4. Entradas y salidas del diagrama de flujo

Letra	Flujo
A	RAEE de recolectores o proveniente de algún proyecto
B	RAEE no procesado en la empresa
C	RAEE a procesar
D	RAEE a procesar pesado
E	RAEE que se almacena tal como se recibe ya que no se desensambla
F	RAEE a desensamblar
G	RAEE que puede ser reparado
H	RAEE aprovechable almacenado
I	RAEE sin elementos peligrosos
J	Elementos peligrosos (baterías, entre otros)
K	AEE listos para reuso
L	Material plástico o metálico aprovechable
M	RAEE sin carcasa
N	Carcasas plásticas
O	RAEE aprovechable almacenado y material plástico o metálico aprovechable
P	Cables de diferentes variedades, fuentes de poder, transformadores, etc.
Q	RAEE sin carcasas y sin sistema eléctrico
R	Pacas de plástico comprimido
S	RAEE aprovechable almacenado, material plástico o metálico aprovechable, cables de diferentes variedades, fuentes de poder, transformadores
T	Tarjetas madre, Tarjetas de video, tarjetas de red, tarjetas de audio, tarjetas de control, memorias
U	RAEE sin elementos aprovechables
V	RAEE aprovechable almacenado, material plástico o metálico aprovechable, cables de diferentes variedades, fuentes de poder, transformadores, tarjetas madre, tarjetas de video, tarjetas de red, tarjetas de audio, tarjetas de control, memorias
W	Material RAEE aprovechable pesado
X	Material RAEE embalado listo para transportar o exportar

Como se puede observar en la tabla anterior, se presenta el flujo de los procesos, entre los cuales el flujo que se ubica entre los procesos de almacenamiento y pesaje, se va acumulando los flujos de salida de otros procesos.

3.2.3. Clasificación y categorización de flujos de entrada y salida del proceso

De la investigación de campo realizada en las empresas recicladoras se lograron identificar aquellos RAEE más significativos, tal como se muestra en la Tabla 3.5, donde se muestran aquellos que las empresas recicladoras de RAEE reciben frecuentemente y/o en grandes cantidades.

Tabla 3.5. RAEE más significativos en empresas gestoras

RAEE recibido	Representación	Componentes
Aires acondicionados		<ul style="list-style-type: none"> - Hierro- lata - Radiador cobre aluminio - Cobre - Bronce sucio - Basura ABS UO
Pantalla LCD		<ul style="list-style-type: none"> - Tornillos - Abs negro - Altavoces - Reflectores - panel de filtros
Cajero automático		<ul style="list-style-type: none"> - Cable mixto - ABS blanco - ABS negro - Fuente de poder - Baterias UPS - Motores - Hierro Lata - Hierro cemento - Tarjeta medio grado - Tarjeta pentium - CD Room - Transformadores - Aluminio Sucio

Continúa...

Tabla 3.5. RAEE más significativos en empresas gestoras (Continuación)

RAEE recibido	Representación	Componentes
DVR		<ul style="list-style-type: none"> - ABS negro - Hierro lata - Tarjeta bajo grado - Tarjeta medio grado - Tornillo - Cable flat - Aluminio sucio - Basura - Bronce
Impresora		<ul style="list-style-type: none"> - ABS BLANCO - ABS NEGRO - Hierro Lata - Basura - Motor - Tarjeta bajo grado - Tarjeta medio grado - Transformador - Cable mixto
Fotocopiadora		<ul style="list-style-type: none"> - ABS BLANCO - ABS NEGRO - Hierro Lata - Basura - Motor - Tarjeta bajo grado - Tarjeta medio grado - Transformador - Cable mixto
Antenas de fibra		<ul style="list-style-type: none"> - ABS negro - Tarjeta Medio grado - Tarjeta alto grado - Bronce sucio - Aluminio limpio - Tornillos - Tarjeta dorado - Cable mix
Router		<ul style="list-style-type: none"> - Plastico abs negro - Memoria RAM - Memoria flash - Luces led

Continúa...

Tabla 3.5. RAEE más significativos en empresas gestoras (Continuación)

RAEE recibido	Representación	Componentes
Modem		<ul style="list-style-type: none"> - ABS - TMG - TAG - Cable mixto - Tornillos - Plastico audio vd - Cobre - Bronce - Al sucio - Hierro y lata
CPU		<ul style="list-style-type: none"> - ABS negro - Tarjeta pentium ver - Radiador cobre aluminio - Tornillos aluminio sucio Hierro lata - Cable mix - Ventilador Plastico - Disco duro - Memoria ram dorada microprocesador
Teléfono fijo		<ul style="list-style-type: none"> - Hierro - Cable - Microfono - Bateria - Tarjeta medio grado - Alta voz
Celular		<ul style="list-style-type: none"> - Bateria - Tablero de circuitos - Circuito integrado - Antena - Pantalla - Modem - Microfono y altavoces - Teclado - Camara - Procesador RAM - Pantalla
UPS		<ul style="list-style-type: none"> - Rectificador - Bateria - Inversor - Conmutador - Plástico negro

Una vez se identificaron lo RAEE recibidos, se clasificaron de acuerdo a la caracterización de la normativa vigente, la cual corresponde a la propuesta por el parlamento de la Unión Europea en el año 2012. La Tabla 3.6 muestra la categorización de los principales RAEE recibidos por las empresas, a la vez se muestra el porcentaje correspondiente a dichas categorías.

Tabla 3.6. Categorías de RAEE procesados en empresas gestoras

Categorías	AEE considerados en la categoría	Porcentaje (p/p%)
1. Aparatos de intercambio de temperatura	i. Aires acondicionados	2
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ²	i. Pantalla LCD	2.3
3. Lámparas	No se considera	-
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50cm)	i. Cajeros automáticos	56
5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)	i. DVR (Digital video recorder)	2.57
6. Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	i. Impresoras ii. Fotocopiadoras iii. Antenas de fibra iv. Modem y router v. CPU vi. Teléfono fijo vii. Celular viii. UPS	37.13

Nota: Datos basados en pesos proporcionados por una empresa, según datos año 2019

De acuerdo a los datos recolectados, la mayor cantidad de peso en RAEE es atribuida a los grandes aparatos donde se encuentran específicamente los cajeros automáticos. Por otra parte, los aparatos de informática y telecomunicaciones pequeños ocupan el segundo lugar según el peso total recibido de estos residuos.

Es importante destacar que el peso de estos aparatos no es equivalente a la cantidad de RAEE aprovechable que se gestionan en las empresas y es necesario un análisis de los materiales de cada equipo procesado, el cual se presentará en el apartado 3.3.1.

3.2.4. Identificación de aspectos e impactos ambientales del proceso

De acuerdo a las actividades realizadas por las empresas recicladoras se han logrado identificar los aspectos e impactos ambientales según las etapas del proceso. En la Tabla 3.7 se muestra un resumen de los flujos de entrada y salida de materiales por etapa, con su respectiva evaluación de aspectos e impactos.

Tabla 3.7. Resumen de identificación de aspectos e impactos según etapas

Etapa	Entradas	Salidas	Aspectos	Impactos	
Recolección	RAEE	RAEE	RAEE	Contaminación del suelo y agua	
		Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero	
		Material particulado	Material particulado	Contaminación atmosférica, Compuestos orgánicos persistentes (COP)	
	Recurso Humano	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos		Contaminación de suelo y agua
		Emisiones	Emisiones de CO2		Contaminación atmosférica
			Riesgo a la salud humana		Daños a la salud en general, lesiones, riesgos por inhalación de particulados
			Riesgo por inhalación de particulados		Daños a la salud en general
			Manipulación de materiales peligrosos		Lesiones, daños a la salud en general
	Transporte	Vehículos	RAEE	Ruido	Contaminación auditiva
Combustible		Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero, consumo de recursos no renovables	
Contenedores		Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua	

Continúa...

Tabla 3.7. Resumen de identificación de aspectos e impactos según etapas (Continuación)

Etapa	Entradas	Salidas	Aspectos	Impactos
Pesaje	Energía eléctrica	Calor	Emisiones	Contaminación atmosférica, aumento temperatura ambiental
	Contenedores	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
	Equipo de medición de peso (báscula)	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
	Luminaria	Residuos peligrosos	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, contaminación atmosférica, GEI
	Papelería	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
Clasificación	RAEE	RAEE clasificado según tipo (monitor, impresoras, celular, teclado, laptops, UPS's, bocinas, regletas, etc.)	Recuperación de piezas	Aumento de vida útil de AEE
			Reparar y reusar	Aumento de vida útil del AEE
			Reciclar	Reducción de consumo de recursos naturales
			RAEE no aprovechable	Contaminación de suelo y agua, contaminación atmosférica
		Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero
		Material particulado	Material particulado	Contaminación atmosférica, COP
Desensamblaje	RAEE clasificado según tipo (monitor, impresoras, celular, teclado, laptops, UPS's, bocinas, regletas, etc.)	Plásticos bromados	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
			COP	Contaminación de agua, suelo, bioacumulación
		Plásticos reciclables	Reciclar	Reducción de consumo de recursos naturales

Continúa...

Tabla 3.7. Resumen de identificación de aspectos e impactos según etapas (Continuación)

Etapas	Entradas	Salidas	Aspectos	Impactos
Pesaje	Energía eléctrica	Calor	Emisiones	Contaminación atmosférica, aumento temperatura ambiental
	Contenedores	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
	Equipo de medición de peso (báscula)	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
	Luminaria	Residuos peligrosos	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, contaminación atmosférica, GEI
	Papelería	Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
Clasificación	RAEE	RAEE clasificado según tipo (monitor, impresoras, celular, teclado, laptops, UPS's, bocinas, regletas, etc.)	Recuperación de piezas	Aumento de vida útil de AEE
			Reparar y reusar	Aumento de vida útil del AEE
			Reciclar	Reducción de consumo de recursos naturales
			RAEE no aprovechable	Contaminación de suelo y agua, contaminación atmosférica
	Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero	
	Material particulado	Material particulado	Contaminación atmosférica, COP	
Desensamblaje	RAEE clasificado según tipo (monitor, impresoras, celular, teclado, laptops, UPS's, bocinas, regletas, etc.)	Plásticos bromados	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
			COP	Contaminación de agua, suelo, bioacumulación
		Plásticos reciclables	Reciclar	Reducción de consumo de recursos naturales

Continúa...

Tabla 3.7. Resumen de identificación de aspectos e impactos según etapas (Continuación)

Etapas	Entradas	Salidas	Aspectos	Impactos
Desensamblaje	RAEE clasificado según tipo (monitor, impresoras, celular, teclado, laptops, UPS's, bocinas, regletas, etc.)	Otros plásticos	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
		Tarjetas de circuitos integrados, CD room, fuentes de poder, transformadores	Reciclaje de materiales aprovechables	Disminución de carga contaminante en vertederos
		Metales férricos	Reciclaje	Disminución carga contaminante de suelo
		Metales no férricos	Reciclaje	Disminución carga contaminante de suelo
		Cables	Generación de residuos	Contaminación de suelo
			RAEE no aprovechable	Contaminación de suelo y agua
		Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero
Almacenamiento	RAEE clasificado	Plásticos bromados	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
			COP	Contaminación de agua, suelo, bioacumulación
		Plásticos reciclables	Reciclar	Reducción de consumo de recursos naturales
		Otros plásticos	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
		Tarjetas de circuitos integrados, CD room, fuentes de poder, transformadores	Reciclaje de materiales aprovechables	Disminución de carga contaminante en vertederos
		Metales férricos	Reciclaje	Disminución carga contaminante de suelo

Continúa...

Tabla 3.7. Resumen de identificación de aspectos e impactos según etapas (Continuación)

Etapas	Entradas	Salidas	Aspectos	Impactos
Almacenamiento	RAEE clasificado	Metales no férricos	Reciclaje	Disminución carga contaminante de suelo
		Cables	Generación de residuos	Contaminación de suelo
		Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero
		Material particulado	Material particulado	Contaminación atmosférica, COP
		Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua
Disposición final	RAEE almacenado	Plásticos bromados	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
			COP	Contaminación de agua, suelo, bioacumulación
		Plásticos reciclables	Reciclar	Reducción de consumo de recursos naturales
		Otros plásticos	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de suelo y agua, Contaminación atmosférica
		Tarjetas de circuitos integrados, CD room, fuentes de poder, transformadores	Reciclaje de materiales aprovechables	Disminución de carga contaminante en vertederos
		Metales férricos	Reciclaje	Disminución carga contaminante de suelo
		Metales no férricos	Reciclaje	Disminución carga contaminante de suelo
		Cables	Generación de residuos	Contaminación de suelo
		Emisiones	Emisiones	Contaminación atmosférica, efecto invernadero
		Material particulado	Material particulado	Contaminación atmosférica, COP
		Residuos sólidos comunes	Generación de residuos	Contaminación de suelo y agua

3.2.5. Enfoque de diagnóstico

Como se estableció inicialmente en el capítulo 2, la metodología de PML tiene como principal objetivo tener una relación equitativa entre los factores técnico, económico y ambiental que se deben aplicar a cualquier proyecto. Sin embargo, es necesario que se tengan presentes en la investigación ciertos criterios claves en los cuáles se enfocan las propuestas de mejora.

Según la revisión inicial y el diagrama de proceso expuestos anteriormente, se encontraron potenciales de mejora en aspectos como el consumo hídrico y energético, sin embargo, por la naturaleza del rubro de estas empresas, estos no representan el enfoque principal de esta investigación.

En cambio, un aspecto de relevancia es que aún existen algunos componentes que no son completamente aprovechados en el proceso de gestión que realizan estas empresas recicladoras de RAEE. Estos residuos no aprovechados (hasta la fecha en que se realizó esta investigación) tienen una importancia ambiental significativa, además estos representan una pérdida monetaria por parte de las empresas, ya que esto se traduce como un menor rendimiento. Cabe recalcar que este enfoque será el que guíe la investigación.

3.3. Evaluación

En esta etapa es necesario mencionar que, se comenzaron a aplicar las primeras etapas de la metodología de PML a las 4 empresas, pero después de aplicar la pre-evaluación, se tomó la decisión de sólo continuar los pasos consecuentes de la metodología sólo con la empresa A y B. Esta decisión fue fuertemente influenciada por los resultados obtenidos en el DDA y a la información general que cada empresa brindó al comenzar la pre-evaluación, ya que fueron estas dos empresas las que presentaron la parte más representativa de los RAEE procesados y además debido a los mejores puntajes obtenidos en ciertas secciones ambientales. Esto puede ser debido a que las empresas C y D procesan y reciclan en mayor cantidad papel, cartón, aluminio, hierro y otros materiales, a comparación de los RAEE.

3.3.1. Balance de materiales

El balance de materiales para la metodología de PML se determina mediante la cuantificación de los componentes que conforman cada uno de los RAEE que la empresa recicladora desensambla en un año, estos componentes pueden ser metales, plásticos, materiales no ferrosos, entre otros, estos varían según el tipo de RAEE que se reciba. La información presentada a continuación es la correspondiente al año 2019, según se proporcionó por parte de una de las empresas involucradas en esta investigación, se seleccionó este periodo de tiempo debido a las irregularidades que presentó el año 2020 a nivel mundial.

En este análisis se detalla cada uno de los RAEE según su tipo y cantidad procesada. Además, se pretende identificar aquellos componentes de RAEE que están siendo procesados, de tal forma que se analizará su representatividad dentro del proceso de desensamblaje. En la Tabla 3.8 se presentan los volúmenes de RAEE desensamblados por la empresa A que según los resultados del DDA tiene un mejor control de su proceso y de acuerdo a lo observado en las visitas de campo procesa una mayor variedad de RAEE, estos datos están ordenados de mayor a menor respecto a la cantidad en peso de RAEE ingresado a la empresa.

Tabla 3.8. Volúmenes de RAEE desensamblados

Equipo	Porcentaje (p/p%)	Peso de RAEE (kg)
Cajeros automáticos	56.00	107459.46
Impresoras y fotocopiadoras	17.00	32621.62
Modem y router	7.10	13619.37
CPU	7.00	13432.43
UPS	5.22	10015.77
Miscelanea (CD room, laptops, teléfono fijo, DVR)	2.57	4932.43
LCD	2.57	4351.80
Aires acondicionados	1.98	3801.35
Escáner	0.40	765.77
Electrodomésticos pequeños	0.23	450.45
Antenas de fibra	0.23	441.44
Total	100	191891.89

Se puede apreciar que, en términos de peso, el RAEE que representa a más de la mitad del proceso corresponde a cajeros automáticos, sin embargo, esta información es insuficiente para identificar el nivel de aprovechamiento según los componentes que po-

see. De manera que se utilizaran las siguientes tablas que contienen un análisis más detallado de las partes de RAEE que la empresa puede desensamblar.

Desde la Tabla 3.9 a la Tabla 3.23 se presenta el rendimiento de materiales del proceso de desensamblaje de cada RAEE, tomando siempre los RAEE más representativos indicados anteriormente. Se tienen los flujos de entrada y salida, siendo RAEE sin desensamblar y RAEE desensamblado respectivamente. Entre otra información de relevancia se muestra el peso promedio de cada RAEE y una medición diaria de los kilogramos que pueden ser procesados al día de un mismo tipo de RAEE.

a. Cajeros automáticos

De acuerdo al volumen de RAEE mostrado anteriormente, los cajeros automáticos corresponderían a aquel que posee una mayor cantidad de componentes electrónicos debido a que su peso es superior al de cualquier otro RAEE manejado, sin embargo esto no es así debiéndose a que el 62.5% de este está compuesto por cemento y hierro. En la Tabla 3.9 se puede apreciar la distribución de porcentajes de cada componente.

Tabla 3.9. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para un cajero automático

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: Cajero automático	Hierro cemento	65.20	70063.57
Peso promedio: 423.423 kg	Hierro lata	26.00	27939.46
	Plástico negro	2.87	3084.09
	Cable mixto	1.18	1268.02
	Fuente de poder	1.10	1182.05
Kilogramos desensamblados diarios: 1837.837 kg	Tarjeta medio grado	0.81	870.42
	Plástico blanco	0.64	687.74
	Batería UPS	0.61	655.50
	Transformadores	0.60	644.76
Kilogramos desensamblados anualmente: 107459.459 kg	Motores	0.52	558.79
	Aluminio Sucio	0.20	214.92
	CD Room	0.15	161.19
	Tarjeta Pentium	0.12	128.95
Total		100.00	107459.46

Como se puede observar a simple vista, más de la mitad del peso del RAEE no corresponde a componentes eléctricos o electrónicos. Este dato refuerza la idea que el

peso o volumen no es directamente proporcional a la cantidad de componentes aprovechables.

b. Impresoras y fotocopiadoras

De la información recopilada en el año 2019 se cuenta únicamente con datos de impresoras matriciales, sin embargo, la empresa recibe pequeñas impresoras y grandes fotocopiadoras. Cabe recalcar que las empresas establecieron que este tipo de RAEE es de los más comunes que reciben. En la Tabla 3.10 se detalla el rendimiento de recuperación de una impresora matricial, que se considera la más relevante de este grupo, debido a su mayor número de unidades.

Tabla 3.10. Entradas y salidas proceso de una impresora matricial

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: Impresora matricial	Plástico negro	25.90	8449.00
Peso promedio: 9.00 kg	Hierro Lata	25.57	8341.35
	Basura	18.70	6100.24
Kilogramos desensamblados diarios: 137.38 kg	Plástico blanco	18.36	5989.33
	Motor	5.25	1712.64
Kilogramos desensamblados anualmente: 32621.6216 kg	Tarjeta bajo grado	2.62	854.69
	Transformador	1.31	427.34
	Cable mixto	1.31	427.34
	Tarjeta medio grado	0.98	319.69
Total		100.00	32621.62

Como se puede ver en la Tabla 3.7 el plástico ABS negro y blanco representan más del 40% total recuperado mientras que los componentes electrónicos solo representan el 11.47% de lo recuperado.

c. Modem y routers

Según los datos proporcionados por las empresas en el año 2019 se recibieron 2 tipos de módems, sin embargo, en el volumen desensamblado total no se ve reflejada la cantidad que se procesó de cada uno de ellos, con lo cual en primer lugar se debe determinar qué porcentaje del volumen total de modem pertenece a cada uno de ellos.

Siendo 345.94 kg y 128.64 kg las masas de los equipos desensamblados al día para modem 1 y modem 2 respectivamente, se procede a calcular la fracción y porcentaje que les corresponden dentro del volumen total procesado, el cual es de: 13619.3694 kg.

En primer lugar, se realiza el cálculo de fracción de cada modem con la siguiente ecuación:

$$f_{Mx} = \frac{\text{modem}_x \text{ producido diario}}{\sum \text{modems}_x \text{ producidos diarios}}$$

Dónde:

f_{Mx} = fraccion de modem_x , para x=1 o 2

Se realizan las respectivas operaciones para módem 1 y 2:

$$f_{M1} = \frac{345.94kg}{345.94kg + 128.64kg} = 0.7289$$

$$f_{M2} = \frac{128.64kg}{345.94kg + 128.64kg} = 0.2711$$

La forma de cálculo de la cantidad anual de cada módem se realizará según la siguiente ecuación:

$$M_{Mx} = M_{TM} * f_{Mx}$$

Siendo:

M_{Mx} = cantidad anual desensamblado de modem_x

M_{TM} = cantidad total de modems

f_{Mx} = fraccion de modem_x

Utilizando la información proporcionada por la empresa se obtienen los datos y la f_{Mx} calculada para modem 1 y 2 respectivamente:

$$M_{M1} = (13619.3694 \text{ kg})(0.7280) = 107459.459 \text{ kg}$$

$$M_{M2} = (13619.3694 \text{ kg})(0.2711) = 3691.811 \text{ kg}$$

Con la cantidad de Módem 1 procesado al año y diario se calcularon las fracciones de porcentaje peso de los componentes recuperables obtenidos, estos porcentajes son detallados en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de modem 1

Entrada	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: modem 1	Hierro y lata	73.96	7342.13
Peso promedio: 2.07 kg	Tarjeta medio grado	16.67	1654.86
	Plásticos varios	3.65	362.34
Kilogramos desensamblados diarios: 345.94 kg	Plástico audio VD	1.82	180.67
	Tarjeta alto grado	1.04	103.24
	Cable mixto	0.78	77.43
Kilogramos desensamblados anualmente: 48926.9795 kg	Al sucio	0.78	77.43
	Cobre	0.52	51.62
	Bronce	0.52	51.62
	Tornillos	0.26	25.81
Total		100.00	9927.16

En el contenido de la Tabla 3.12 se detallan los datos de las fracciones de porcentaje peso de los componentes recuperables correspondientes al segundo tipo de modem.

Tabla 3.12. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de modem 2

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: modem 2	Plástico negro	53.22	1964.99
Peso promedio 0.5315 kg	Tarjeta medio grado	22.41	827.42
	Hierro	16.81	620.66
Kilogramos desensamblados diarios: 128.64 kg	Aluminio sucio	5.60	206.76
	Batería	1.12	41.35
Kilogramos desensamblados anualmente: 3692.21104 kg	Bronce	0.56	20.68
	Tornillos	0.28	10.34
Total		100	3692.21

Comparando ambas composiciones se observa que el módem 1 presenta un porcentaje mucho mayor de hierro y lata, mientras que el módem 2 presenta un mayor porcentaje de plástico, sin embargo, el porcentaje de componentes electrónicos es ligeramente mayor al del módem 1. A pesar de esto, las diferencias no tienen mucho peso al momento de procesar los módems, ya que se procesa el triple de cantidad de módem 1 que de módem 2, por lo que la composición predominante de éste proceso será la del módem 1.

d. CPU

Tal como sucede en el caso anterior, se presenta la situación en la cual se desconocen los porcentajes de cada modelo de CPU procesados por la empresa, por lo que se procederá de la misma manera, para este caso los kilogramos de CPU 1 desensamblados al día y CPU DELL son 478.6036 kg y 493.2432 kg, respectivamente.

Se realiza el cálculo de fracción de cada modem con la siguiente ecuación:

$$f_{CPUx} = \frac{CPU_x \text{ producido diario}}{\sum CPU_x \text{ producidos diarios}}$$

Dónde:

f_{CPUx} = fracción de CPU_x , para x=1 o DELL

Se realizan las operaciones para CPU 1 y DELL, respectivamente:

$$f_{CPU1} = \frac{478.63kg}{478.63kg + 493.2432kg} = 0.4925$$

$$f_{CPU-DELL} = \frac{493.2432kg}{478.63kg + 493.2432kg} = 0.5075$$

La forma de cálculo de la cantidad anual de cada CPU se realizará según la siguiente ecuación:

$$M_{CPUx} = M_{TCPU} * f_{CPUx}$$

Siendo:

$$M_{CPU_x} = \text{cantidad anual desensamblado de CPU}_x$$

$$M_{TCPU} = \text{cantidad total de CPUs}$$

$$f_{CPU_x} = \text{fraccion de CPU}_x$$

Utilizando la información proporcionada por la empresa se obtienen los datos y la f_{CPU_x} calculada para CPUs 1 y 2 respectivamente:

$$M_{CPU1} = (13432.43\text{kg})(0.4925) = 6615.04492 \text{ kg}$$

$$M_{CPU2} = (13432.43\text{kg})(0.5075) = 6817.38748 \text{ kg}$$

Con la cantidad de CPU 1 procesado al año y diario se calcularon las fracciones de porcentaje peso de los componentes recuperables que se obtienen, estos porcentajes son detallados en la Tabla 3.13 que se presenta a continuación.

Tabla 3.13. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de CPU1

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: CPU1	Hierro lata	44.80	2963.54
Peso promedio: 2.22 kg	Tarjeta Pentium verde	13.55	895.68
	Disco duro	12.05	797.11
Kilogramos desensamblados diarios: 478.6036 kg	Plástico negro	11.29	746.84
	Radiador cobre aluminio	9.04	598.00
	Ventilador plástico	4.52	299.00
	Aluminio sucio	1.51	99.89
Kilogramos desensamblados anualmente: 6615.04492 kg	Cable mixto	1.51	99.89
	Memoria RAM dorada	0.75	49.61
	Microprocesador	0.75	49.61
	Tornillos	0.24	15.88
Total		100.00	6615.04

En el contenido de la Tabla 3.14 se detallan los datos de las fracciones de porcentaje peso de los componentes recuperables correspondientes al modelo de CPU DELL.

Tabla 3.14. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para modelo de CPU DELL

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: CPU DELL	Hierro lata	53.33	3635.71
Peso promedio: 12.1622 kg	Fuente de poder	13.70	933.98
	Plástico negro	6.67	454.72
	CD room	6.67	454.72
	Pentium verde	5.39	367.46
Kilogramos desensamblados diarios: 493.2432 kg	Disco duro	4.20	286.33
	Radiador cobre aluminio	3.01	205.20
	Disquetera	1.83	124.76
	Ventilador plástico	1.81	123.39
	Aluminio limpio	0.91	62.04
kilogramos desensamblados anualmente: 6817.38748 kg	Cable Mixto	0.73	49.77
	Aluminio sucio	0.46	31.36
	Cable Flat	0.46	31.36
	Microprocesador	0.37	25.22
	Memoria ram dorada	0.37	25.22
	Tarjeta alto grado	0.09	6.14
Total		100.00	6817.39

Al comparar los datos de ambos CPU se pueden observar notorias similitudes entre el CPU 1 y el modelo CPU DELL, sin embargo, éste último presenta un mayor porcentaje de componentes recuperables, detalle que podría explicar su peso superior. Y como se puede observar ambos modelos de CPU presentan aproximadamente la misma cantidad de kilogramos procesados, por lo que se podría llegar a decir que se procesan más unidades de CPU 1 que CPU DELL, debido a su menor peso.

e. UPS

El procesamiento de los UPS únicamente está dirigido a los componentes externos tales como carcasas o soportes metálicos y a componentes eléctricos y/o electrónicos internos, esto debido a que no se procesan las baterías, estas pasan a ser almacenadas directamente.

En la Tabla 3.15 se detalla el porcentaje peso de los componentes recuperables y de las baterías obtenidas al procesar los UPS.

Tabla 3.15. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para UPS

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (Kg/año)
RAEE: UPS	Batería	85.56	8569.49
Peso promedio: 31.91 kg	Acero	4.76	476.75
Kilogramos desensamblados diarios: 493.2432 kg	Plásticos varios	4.55	455.72
kilogramos desensamblados anualmente: 10015.7658 kg	Cobre	3.65	365.58
	Placa de circuitos impresos	1.05	105.17
	Cable	0.43	43.07
Total		100.00	10015.76

Como se puede observar en la tabla anterior las baterías representan casi en su totalidad la composición de los UPS, es decir que es rendimiento de recuperación de componentes recuperables es bajo.

f. Antenas de fibra

Las antenas de fibra son de los RAEE que más les interesan a las empresas recicladoras ya que en general casi en su totalidad este tipo de antenas pueden ser recicladas.

En la Tabla 3.16 se detallan los kg de componentes recuperables al año que se obtienen al procesar las antenas de fibra.

Tabla 3.16. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para antenas de fibra

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (Kg/año)
RAEE: Antena de fibra	Aluminio limpio	61.33	270.74
Peso promedio: 18.9189 kg	Plástico negro	11.78	52.00
Kilogramos desensamblados diarios: 202.7027 kg	Bronce sucio	9.56	42.20
	Tornillos	7.11	31.39
	Tarjeta dorada	4.67	20.62
Kilogramos desensamblados anualmente: 441.441441 kg	Tarjeta Medio grado	2.22	9.80
	Tarjeta alto grado	2.22	9.80
	Cable mixto	1.11	4.90
Total		100	441.44

Es bastante notable que este tipo de RAEE posea altos niveles de metales potencialmente reciclables además de componentes electrónicos de alta calidad, a pesar de que tenga un bajo peso a comparación de otros RAEE.

g. LCD

El desensamblaje de una pantalla LCD es un proceso delicado debido al tratamiento que se debe dar al módulo LCD de la pantalla, con lo cual la mayoría de empresas no realiza su reciclaje no se realiza en su totalidad. En la Tabla 3.17 se detalla las corrientes de salida que se obtienen al procesar las pantallas LCD.

Tabla 3.17. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para LCD's

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: LCD	Hierro	35.3293	1537.46
Peso promedio: 7.425 kg	Plásticos carcasa	20.2595	881.65
Kilogramos desensamblados diarios: 202.7027 kg	Modulo LCD	10.5788	460.37
	Plástico interno	10.5788	460.37
Kilogramos desensamblados anualmente: 4351.8018 kg	Tablero de cableado impreso	8.8822	386.54
	Aluminio	7.8843	343.11
	Otros	5.1896	225.84
	Cables	1.2974	56.46
Total		100.00	4351.80

En la tabla anterior se puede observar que únicamente son aprovechadas las partes eléctricas internas y materiales externos de las pantallas LCD, mientras el 5.18% pertenece a otros materiales tales como mercurio, oro, y materiales no ferrosos.

h. Aires acondicionados

Los metales son los componentes que se encuentran en abundancia para el caso de aires acondicionados, para su recepción las empresas recicladoras deben de garantizar que todo el refrigerante ha sido extraído. En la Tabla 3.18 se detalla el porcentaje

peso de los componentes recuperables que se obtienen al procesar un aire acondicionado.

Tabla 3.18. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para aires acondicionados

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: Aire acondicionado	Hierro-lata	77.08	2930.08
Peso promedio: 30.8 kg	Radiador cobre-aluminio	20.94	796.00
Kilogramos desensamblados diarios: 432.43 kg	Plástico Blanco	1.56	59.30
Kilogramos desensamblados anualmente: 3801.35135 kg	Cobre	0.21	7.98
	Basura	0.11	4.18
	Bronce sucio	0.10	3.80
Total		100.00	3801.35

Como se puede analizar de los datos de la tabla anterior al procesar un aire acondicionado casi su totalidad (98.02%) es hierro-lata junto al radiador cobre-aluminio, mientras que el porcentaje resultante corresponde plástico ABS proveniente de la carcasa, bronce sucio, y elementos nada aprovechables (basura).

i. Miscelánea

En algunos casos las cantidades de RAEE que se reciben suelen ser muy pequeñas, con lo cual, al momento de ser procesadas, por comodidad se juntan y se crean misceláneas con el objetivo de procesar un volumen más grande, las misceláneas procesadas no son constantes anualmente y pueden contener diferentes tipos de RAEE en cada ocasión, en este caso la miscelánea la conforman DVR's y teléfonos fijos.

En la Tabla 3.19 se detallan el porcentaje peso de los componentes que se obtienen al procesar teléfonos fijos, que son de los RAEE misceláneos.

Tabla 3.19. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para teléfono fijo

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: teléfono fijo	Plástico Blanco	41.92	1068.78
Peso promedio: 1.125 kg	Hierro lata	21.40	545.61
Kilogramos desensamblados diarios: 103.1531532 kg	Tarjeta bajo grado	18.34	467.59
Kilogramos desensamblados anualmente: 2549.574324 kg	Tarjeta medio grado	9.61	245.01
	Cable mixto	6.55	167.00
	Batería	2.18	55.58
Total		100.00	2549.57

Cómo se puede observar en la tabla anterior al procesar los teléfonos fijos, se obtienen buenos porcentajes de plástico ABS, metales y componentes electrónicos como las tarjetas, pero debido a su bajo peso, estos RAEE no son tan representativos cuando se habla de todos los RAEE procesados.

Los DVR o Digital video recorder por sus siglas en inglés, están formados principalmente de hierro lata y tarjetas de circuitos que pueden ser aprovechadas durante el reciclaje, en la Tabla 3.20 se expresa detalladamente los porcentajes peso que se obtienen.

Tabla 3.20. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para DVR

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: DVR	Hierro lata	61.18	1457.83
Peso promedio: 4.05 kg	Tarjeta medio grado	16.32	388.88
Kilogramos desensamblados diarios: 544 kg	Tarjeta bajo grado	11.03	262.83
	Plástico negro	5.51	131.30
	Tornillo	2.31	55.04
Kilogramos desensamblados anualmente: 245.045045 kg	Aluminio sucio	1.65	39.32
	Cable Flat	0.92	21.92
	Basura	0.71	16.92
	Bronce	0.37	8.82
Total		100.00	2382.86

Al observar los datos de la Tabla 3.20 se puede apreciar que son bastante parecidos a los del teléfono fijo, con la diferencia que el DVR presenta mayor porcentaje en hierro lata y mucho menor en plástico ABS.

j. Escáner

Los siguientes datos pertenecen a escáneres de escritorio, estos son RAEE que son recibidos en su mayoría provenientes de empresas y oficina. En la Tabla 3.21 se detallan los porcentajes peso de los componentes que se obtienen de procesar este tipo de escáneres.

Tabla 3.21. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para escáner

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: Escáner	Plásticos varios	62.900	481.66
Peso promedio: 2.84 kg	Aluminio	13.246	101.43
Kilogramos desensamblados diarios: 105.45 kg	Otros	8.054	61.67
	Cobre	7.000	53.60
kilogramos desensamblados anualmente: 765.765766 kg	Hierro	4.700	35.99
	Placas de circuitos impresos	3.100	23.73
	Vidrio	1.000	7.65
Total		100.00	765.77

Si se observan los datos de la Tabla 3.21 se aprecia que el porcentaje de plástico es más alto a comparativa de otros RAEE de la misma categoría. Esto contrasta con la menor proporción de componentes electrónicos que presentan y la pequeña cantidad de vidrio, componentes que la mayoría de RAEE no contienen. Según lo dicho por los encargados del proceso, el vidrio es el material que menos se recupera en la gestión de RAEE.

k. Electrodomésticos

Dado que la empresa no hace distinción entre pequeños y grandes electrodomésticos, se presentan porcentajes promedios entre ambas clasificaciones. De igual forma para el peso promedio se tomó un promedio de pesos entre grandes y pequeños electrodomésticos. En la Tabla 3.22 se presenta el porcentaje peso de los componentes obtenidos al procesar los electrodomésticos (promedio).

Tabla 3.22. Entradas y salidas proceso de desensamblaje para electrodomésticos

Entradas	Salidas	%p/p	Componente desensamblado (kg/año)
RAEE: Electrodomésticos	Metal ferroso	36.000	162.16
Peso promedio: 8.34 kg	Plásticos varios	28.526	128.50
Kilogramos desensamblados diarios: 105.45 kg	Cobre	14.200	63.96
	Aluminio	11.250	50.68
kilogramos desensamblados anualmente: 450.45 kg	Otros	8.054	36.28
	Plomo	1.085	4.89
	Vidrio	0.885	3.99
Total		100.00	450.45

Debido a que los datos mostrados en la tabla anterior son el resultado del promedio de los electrodomésticos pequeños que se pueden llegar a encontrar en una oficina, se puede observar que se tienen una proporción uniforme de los componentes, cabe recalcar que estos RAEE no presentan componentes electrónicos recuperables.

Adicionalmente la empresa recicladora recibe partes de AEE que no entran al proceso de desensamblaje ya que los clientes entregan únicamente estas partes a la empresa y no se realiza proceso de desensamblaje, entre estos también se incluyen RAEE que no son desensamblados por la empresa y son almacenados enteros. En la Tabla 3.23 se muestran aquellos que fueron recibidos durante el año 2019.

Tabla 3.23. RAEE que no entra al proceso de desensamblaje

Componente	Peso de componentes RAEE recibidos (kg/año)
Cable coaxial	27027.03
Celulares	19369.37
Cable mixto	17117.12
Tarjeta electrónica	124324.32
Miscelánea (CD room, laptops,etc)	45495.50
Cargadores	1801.80
Fuentes de poder	1351.35
Plásticos varios	1263.06
Total	237749.55

Los RAEE que no entran al proceso, en este caso corresponden a aquellos que las empresas recicladora ejemplo, no desensambla y que por lo tanto son directamente son pesados y almacenados tal y como son llevados a las instalaciones. Según se observa en la tabla anterior, los componentes que más se reciben de esta manera son cables y celulares.

3.3.1.1. Análisis del proceso de desensamblaje de RAEE

A continuación, se dan a conocer las cantidades de componentes que resultaron del proceso de desensamblaje que la empresa A manejó durante el año 2019. En la Tabla 3.24 se han representado los principales componentes de RAEE por categorías, el desglose completo de esta información se recopiló de los datos presentados previamente en el apartado de balance de materiales.

Tabla 3.24. *Porcentaje en peso de componentes RAEE desensamblados*

Componente de RAEE	Total gestionado (kg/año)	%p/p
Componentes electrónicos	134121.86	36.96
Otros	70932.97	19.55
Metal	61348.42	16.91
Cables	46391.30	12.79
Plástico	27324.46	7.53
Componentes peligrosos	9787.18	2.70
Componentes eléctricos	6810.91	1.88
Basura	6121.34	1.69
Vidrio	11.64	0.00
Total	362850.08	100.00

El resultado de este estudio muestra que la cantidad de componentes electrónicos son aquellos que se encuentran en mayor porcentaje siendo un 36.96% aproximadamente, mientras que el vidrio es el material menos gestionado en la empresa recicladora estudiada. Sin embargo, de estos materiales gestionados algunos no pueden ser aprovechados, en la Tabla 3.25 se muestran las cantidades de componentes aprovechables y no aprovechables.

Tabla 3.25. *Porcentaje de materiales gestionados*

Tipo de material	Total gestionado (kg/año)	%p/p
Materiales aprovechables	276008.58	76.07
Materiales No aprovechables	86841.49	23.93
Total	362850.0767	100.00

Según los resultados del balance de materiales se obtiene un porcentaje del 23.93% de materiales no aprovechables, lo cual es un porcentaje bastante elevado y por lo tanto se considera una oportunidad de mejora.

3.3.2. Evaluación de causas de generación de residuos

Como se mencionó previamente en el capítulo 2 el aspecto de generación de residuos es un punto de bastante interés en el estudio de PML. Según la información anterior y la proporcionada en el diagnóstico inicial se puede identificar que las principales fuentes de generación de residuos son aquellos RAEE con alto contenido de material no aprovechable, como lo es el cemento y principalmente los componentes peligrosos como baterías o plásticos bromados.

Es importante destacar que la generación de residuos se debe directamente a las oportunidades de mejora identificadas en el proceso de gestión, las cuales pueden ser debido a factores técnicos (maquinaria) u operacionales (trabajadores), a la vez la generación de residuos afecta la economía de las empresas recicladoras y dependiendo del tipo de residuo puede afectar en menor o mayor medida al medio ambiente.

La identificación de estas causas se tomará en cuenta para la generación de opciones de PML relevantes a la investigación.

3.3.3. Generación de opciones de PML

Con los datos y resultados obtenidos de los pasos anteriores a este punto de la metodología de PML aplicada en las empresas recicladoras, el grupo de investigación ha realizado un análisis de las oportunidades de mejora y mediante una lluvia de ideas se lograron concretar las siguientes opciones de PML:

a. Implementación de paneles solares

Al realizar el diagnóstico del consumo de energía eléctrica en las instalaciones de las empresas se identificó un consumo elevado de las actividades no operativas de las instalaciones (oficinas, bodegas, baños y comedor), por lo que, la implementación de paneles solares como fuente de energía renovable es una opción para dichas empresas, simbolizando un factor económico, ya que, no se dependerá tanto de la red nacional de energía eléctrica, y al factor ambiental debido a que se estará ocupando una fuente de energía renovable por lo que se disminuirá la huella de carbono.

b. Implementación de pelletizadora

En el análisis del proceso dentro de las empresas recicladoras que realizan desensamblaje se encontró que la gestión para el tratamiento de plásticos resultantes del proceso y que se destinan a reciclaje, no era lo suficientemente eficiente por motivos de volumen y transporte, por lo que implementar una pelletizadora en este punto del proceso haría una mejora considerable.

c. Implementación de equipo de seguridad ocupacional

Debido a los tipos de materiales que se manejan en las instalaciones y a los riesgos ocupacionales de dichas actividades de procesamiento, se ve necesario implementar equipo de seguridad ocupacional adicional a los que requiere la reglamentación vigente en El Salvador. Entre este tipo de equipo de protección personal (EPP) se encuentran algunos relacionados con la protección de los materiales peligrosos encontrados en los RAEE.

d. Programa de capacitaciones sobre el correcto manejo de residuos peligrosos

En general, los trabajadores de las empresas recicladoras de RAEE solo cuentan con un conocimiento básico del manejo de los materiales y de los efectos peligrosos a la salud que podrían tener dichas actividades si no se realizan de la manera adecuada, por lo que, se ve la necesidad de dar instrucciones más técnicas, de carácter formativo, a los trabajadores implicadas en actividades de gestión de RAEE.

e. Propuesta para identificación de plásticos bromados (equipo, métodos visuales de separación)

Los plásticos bromados son de los principales residuos no aprovechables de las empresas recicladoras y que además suponen un aspecto ambiental significativo, es por ello que se da la necesidad de saber identificar los RAEE que contienen dichos componentes, por ejemplo con aparatos especializados; además de presentar una propuesta para una disposición final adecuada.

f. Análisis de consumo de gasolina mediante implantación de rutas crítica

La actividad de transporte es de las principales fuentes de gases de efecto invernadero en este tipo de empresas, por lo que, se podría plantear un estudio de ruta crítica para garantizar que las actividades de transporte desde la fuente de RAEE hasta la empresa y de la empresa hacia los clientes que exportan dichos aparatos, se haga de una manera eficiente y con el menor gasto de combustible, además garantizando el tiempo óptimo de las operaciones de transporte.

g. Implementación de tecnología ahorradora de agua en baños y servicios sanitarios

Debido al rubro de estas empresas, en general, el consumo de agua en las instalaciones se limita a actividades administrativas como inodoros, agua de consumo y lavamanos, además de riego de jardines.

En general, debido al análisis de consumo de agua realizado previamente en las empresas estudiadas, se puede observar que el mayor porcentaje de agua ocupada en las instalaciones está relacionado con el uso de inodoros y lavamanos, por lo que, a implementar tecnologías como aireadores de agua en grifos o inodoros con un sistema de doble descarga y/o secos, se podría garantizar un uso eficiente del consumo hídrico.

h. Implementación de proceso automatizado para separación de material ferroso

La separación de los materiales metálicos en los RAEE es una operación fundamental del proceso de desensamblaje, actualmente este proceso se realiza de manera ineficiente donde se clasifican los metales ferrosos y no ferrosos mediante imantación o ya sea por medio de una inspección visual de parte de los trabajadores. Con la implementación de una separación automatizada del material ferroso se podría aumentar la eficiencia del proceso, además de evitar errores de identificación que puede darse mediante el método de inspección.

i. Captación de aguas lluvias para riego

Como se mencionó anteriormente el riego de jardines es una de las pocas actividades realizadas en las instalaciones que implican un consumo de agua. Sin embargo, se podría tener un ahorro de consumo de agua si se implementara un sistema de captación de aguas lluvias que podría utilizarse en estas actividades de riego e incluso para otras actividades pequeñas que impliquen consumo de agua.

j. Almacenamiento de baterías

Las baterías son de los desechos peligrosos más frecuentes en los RAEE y además de los más riesgosos para la salud humana y el medio ambiente, sin embargo, en El Salvador no se tiene establecida una gestión adecuada de disposición final y por ello se considera como una oportunidad de mejora. La propuesta sería enfocada en realizar un procedimiento para el adecuado manejo y almacenamiento de BAPU por parte de las empresas gestoras de RAEE.

k. Distribución en planta

Para la implementación de las medidas de PML la distribución en planta supone un aspecto fundamental, ya que, todo depende del proceso productivo que se esté llevando a cabo. Con la propuesta de distribución se puede lograr un flujo eficiente de los RAEE, además de un uso eficiente de tiempo y espacio. Además esta distribución de planta influiría en la implementación de las propuestas citadas anteriormente, ya que sería parte fundamental para las medidas de disminución del consumo hídrico y energético

l. Indicadores ambientales

Algunos aspectos relevantes en la metodología de PML son el consumo hídrico, energético y gestión de residuos, para el análisis de los datos de consumo es necesario que se cuenten previamente o se generen de cero indicadores ambientales. En la actualidad, estos indicadores no se encuentran presentes, por lo que se podría elaborar una guía de indicadores principales con los que este tipo de empresas puede requerir.

3.3.4. Selección de opciones de PML

A continuación, después de un análisis exhaustivo de las opciones de PML presentadas anteriormente, se han seleccionado aquellas que puedan ser más viables y que además tengan especial relevancia en la investigación realizada. Por otra parte, también se tomaron en cuenta aquellas propuestas que puedan tener mayor impacto (técnico, económico o ambiental) en las empresas recicladoras y en la gestión de RAEE en general.

- i. Implementación de paneles solares
- ii. Identificación de plásticos e implementación de pelletizadora para plásticos reciclables

Estas propuestas planteadas se evaluarán desde un punto de vista técnico, económico y ambiental en el apartado 3.4.

3.4. Estudios de Factibilidad

Tal como se describió en el capítulo 2, es necesario llevar a cabo estudios de factibilidad para todas las propuestas planteadas y así elegir cuáles de ellas se podrían implementar en este rubro según los resultados que presenten.

Para las propuestas seleccionadas se debe tomar en cuenta un dimensionamiento de una planta recicladora de RAEE genérica, por lo que, luego de haber estudiado el proceso de gestión dentro de las empresas, se presenta una propuesta de distribución de planta que permita el flujo de materiales y que cumpla con las especificaciones para las instalaciones según los lineamientos técnicos establecidos por el MARN en El Salvador.

A continuación, se presentan las propuestas previamente seleccionadas en donde se realiza por cada una de ellas la factibilidad técnica, económica y ambiental.

3.4.1. Propuesta 1: Implementación de sistema fotovoltaico

Situación actual: En las empresas recicladoras utilizan la energía eléctrica para mantener sus operaciones de gestión de RAEE así como sus actividades administrativas, para ello el servicio se encuentra ligado a la red nacional (varía según la ubicación geográfica de la empresa), la cual proporciona el servicio de abastecimiento en las instalaciones, lo que genera que la empresa esté sujeta a cambios de tarifas en el precio del kWh.

Situación propuesta: Se recomienda la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos que logren suplir alrededor del 45% de la demanda, de esta manera disminuir lo consumido de la red nacional, lo cual pueda generar un ahorro económico a mediano plazo y además ayudando al medio ambiente ya que con el uso de la energía solar fotovoltaica disminuirá la huella de carbono de la empresa.

a. Factibilidad técnica

La empresa ejemplo consume una cantidad anual promedio de aproximadamente 55950 kWh/año. Inicialmente con la implementación del sistema fotovoltaico se disponía a tener un ahorro de energía eléctrica del 50%, sin embargo, luego de la evaluación del terreno donde se encontraba la empresa recicladora ejemplo, el tipo de módulos fotovoltaicos y otras condiciones; se tuvo una estimación certera de que se lograría cubrir únicamente el 44% de la demanda energética.

El detalle de los cálculos de estas estimaciones se encuentra en el Anexo 2.

Se tomó la decisión de proponer cubrir el 44% de la demanda energética mediante la configuración de tres cadenas en paralelo, cada cadena con 20 módulos fotovoltaicos en serie, con lo que se obtendría un total de 60 módulos fotovoltaicos y 1 inversor. Para este sistema se eligieron los módulos fotovoltaicos HIKU-Canadian Solar 375w y para el inversor se seleccionó el Sunny tripower-SMA 33US. Que en la Tabla 3.26 se detallan las especificaciones de estos equipos.

Tabla 3.26. Características de los equipos del sistema fotovoltaico

Módulos fotovoltaicos		Inversor	
Características	HIKU-Canadian Solar 375W	Características	Inversor Sunny tripower- SMA 33US
Voc (V)	40	Vmppt mín	330
Vmp (V)	34.3	Vmppt máx	800
Isc (A)	11.61	Vstart	188
β Voc (%/°C)	-0.27	Vmáx DC	1000
β Vmp (%/°C)	-0.35	Iin máx	120
α Isc (%/°C)	0.05	Isc máx	180
NOCT (°C)	45	Pmax-in FV (W)	50,000
Pmax (Watt)	375	Entradas	6
Pmax (%/°C)	-0.35	Eficiencia	0.975
		Pmax-out FV (W)	33,300

El sistema fotovoltaico anualmente produciría 24,639.03 kWh y se necesitaría un área de techo de 111 m².

b. Factibilidad económica

Para el cálculo de la factibilidad económica se toman la siguiente consideración: el precio de energía eléctrica en resto es de 0.134912 USD\$/kWh, esto según el pliego tarifario del suministro de energía eléctrica al consumidor final, vigente del 15 de julio de 2021 al 14 de octubre de 2021. En el cual se considera CAESS como distribuidora con una mediana demanda a media tensión con un medidor de horario.

En la Tabla 3.27 se detalla la producción anual y mensual generado por el sistema fotovoltaico, también se muestra el ahorro económico que representa producir 44% de la demanda total y no consumirla de la red nacional.

Tabla 3.27. Valor monetario ahorrado de facturación

Análisis de reducción de costos de facturación	
Producción anual (kWh / año)	24,639.03
Ahorro mensual en horario resto (USD\$)	277.01
Ahorro mensual del IVA (USD\$)	36.01
Ahorro total mensual (USD\$)	313.02
Ahorro total anual (USD\$)	3756.24
Porcentaje monetario de reducción de facturación	49.76%

Para poder calcular la inversión que representa la instalación del sistema fotovoltaico no sólo se debe considerar el costo de los módulos fotovoltaicos y del inversor, sino, que también se debe tomar a consideración los accesorios y sujetadores, el cableado general e incluso el cobro de instalación. En la Tabla 3.28 se detallan los precios y unidades de los equipos que se necesitan.

Tabla 3.28. *Inversión inicial para implementar propuesta de proyecto fotovoltaico*

Elemento	Cantidad	Precio Unitario (USD\$)	Total (USD\$)
HIKU-Canadian Solar 375W	60	90.00	5,400.00
Inversor Sunny tripower-SMA 33US	1	4,273.63	4,273.63
Accesorios y sujetadores totales	1	3,496.88	3,496.88
Cableado general	1	1,748.44	1,748.44
Cobro de instalación global	60	45.00	2,700.00
Total			17,618.95

Como todo activo el equipo de generación fotovoltaica se irá depreciando conforme vaya avanzando su vida útil, y como según sus especificaciones los equipos tienen una vida útil aproximadamente de 15 años. En la Tabla 3.29 se detalla cuanto es la depreciación anual que sufrirá el equipo.

Tabla 3.29. *Depreciación total anual del sistema fotovoltaico*

Equipo	Costo (USD\$)	Vida útil (años)	Depreciación (USD\$/año)
HIKU-Canadian Solar 375W	5,400.00	15	360
Inversor Sunny tripower-SMA 33US	4,273.63	15	284.91
Accesorios y sujetadores totales	3,496.88	15	233.13
Cableado general	1,748.44	15	116.56
Cobro de instalación global	2,700.00	15	180
Total depreciación (\$/año)			1174.6

Para saber si esta propuesta es rentable se ocuparon los indicadores financieros de la Tiempo de retorno de inversión, TIR y la VAN. En la Tabla 3.30 se detallan los valores de los indicadores de rentabilidad para el proyecto de implementación de sistema fotovoltaico.

Tabla 3.30. *Indicadores de rentabilidad del proyecto*

Indicador	Valor	Unidad
Inversión	17,618.95	USD\$
Tiempo de retorno de inversión	5.3	Años
TIR	12	%
VAN	2017	USD\$

Debido a los indicadores presentados anteriormente en la Tabla 3.30 se concluye que la propuesta si sería rentable.

c. Factibilidad ambiental

Las medidas de implementación de paneles fotovoltaicos como principal suministro de energía eléctrica en las industrias se considera siempre un impacto positivo, ya que permite la utilización de energías renovables en vez de las otras alternativas en el mercado.

Desde el punto de vista de emisiones atmosféricas, se puede calcular la huella de carbono de una empresa recicladora, tomando de referencia el dato de la Tabla 3.1 que indica que el promedio de consumo energético de 55950 kWh/año. Se utiliza el factor de emisión para electricidad en El Salvador de 0.6798 kg CO₂ e/ MWh. En la Tabla 3.31 se detalla la huella de carbono actual de la empresa recicladora ejemplo, así como la cantidad de ton CO₂/año que podrían reducirse al implementar la generación de un porcentaje de energía utilizada en las instalaciones por medio del sistema fotovoltaico.

Tabla 3.31. *Indicadores ambientales del proyecto*

Indicador	Valor (ton CO₂/año)
Huella de carbono actual	38.05
Reducción con sistema fotovoltaico	16.75

Se puede concluir que será un beneficio ambiental al disminuir aproximadamente en un 44% las emisiones de gases de efecto invernadero al año.

3.4.2. Propuesta 2: Identificación de plásticos e implementación de pelletizadora para plásticos reciclables

Situación actual: la empresa recicladora de RAEE una vez que se concluye el proceso de desensamblaje y separación de materiales, embala las carcasas y demás componentes de plásticos sin realizar un proceso identificación adecuado, la única separación que se realiza es por color en las categorías de “blanco”, “negro” y “otro”.

El nivel de aprovechamiento de los plásticos se ve limitado debido a que no pueden ser recuperados si estos no son clasificados y separados adecuadamente. Los plásticos que deben ser separados del proceso son aquellos que contienen compuestos tóxicos que no permiten su reciclaje.

Situación propuesta: con la implementación de una metodología de plásticos bromados se podrían separar dichos plásticos del proceso para disponerlos adecuadamente. Seguidamente, los plásticos que pueden ser reciclados podrían triturarse en una pelletizadora, ya que con ella se planea que los plásticos triturados puedan hacer un mejor uso del espacio efectivo que se utiliza para almacenar y transportar los componentes plásticos de RAEE lo cual permitiría almacenar una cantidad mayor de RAEE en un área más pequeña y transportar una mayor cantidad de RAEE. Además estos plásticos clasificados y en forma de pellet aumentan su valor en el mercado considerablemente.

a. Factibilidad técnica

De acuerdo a la propuesta presentada, es necesario evaluar la factibilidad técnica de dos aspectos:

- i. Metodología para identificación de plásticos
- ii. Máquina pelletizadora según cantidad de plásticos procesados en recicladoras

En primer lugar, se evaluará la factibilidad técnica de la identificación de plásticos ya que sin esa etapa no es posible que la máquina pelletizadora pueda implementarse.

Metodología para identificación de plásticos

Se pueden distinguir dos grupos principales de plásticos, según sea su reacción al calor. Los termoplásticos, que se ablandan y funden cuando se calientan, y se endurecen nuevamente cuando se enfrían. Los termoestables, que por el contrario, se vuelven rígidos cuando se calientan y también permanecen rígidos después de enfriarse, lo que hace imposible su reciclaje. Afortunadamente, la mayoría de los plásticos encontrados en RAEE pertenecen al primer grupo y pueden reciclarse. Sin embargo, con algunas pocas excepciones (por ejemplo, ABS/PC), el mezclar estos plásticos en el proceso de reciclaje tiene efectos negativos en las cualidades del material, como la flexibilidad, la dureza o la durabilidad. La clave para el reciclaje de plásticos RAEE es, por lo tanto, una clasificación efectiva, lo cual es un desafío ya que en los RAEE están presentes más de 15 tipos diferentes de plásticos e identificarlos y clasificarlos no siempre es fácil.

Sin embargo, por la complejidad de la clasificación de la gran diversidad de plásticos, como punto de inicio se ha formulado una metodología práctica para las empresas recicladoras. La metodología de identificación en esta investigación tiene como principal alcance poder clasificar entre plásticos “reciclables” y “no reciclables”. Se sabe que la presencia de algunos aditivos restringe la reciclabilidad de los plásticos, los principales son: materiales de relleno, plastificantes, retardantes de llama y pigmentos.

Por lo que, deben removerse del proceso de reciclaje los siguientes plásticos:

- i. Los plásticos de cables o de tipo flexible.
- ii. Plásticos provenientes de residuos de piezas automotrices o empresas de construcción (entre otras) debido a que en su mayoría estos RAEE contienen rellenos de fibra de vidrio u otros rellenos que aumentan considerablemente su resistencia y dañar la maquina peletizadora.
- iii. Los plásticos de color rojo, naranja y amarillo ya que pueden contener pigmentos a base de Plomo o Cadmio.

Es de resaltar que los aditivos más complicados de identificar son los retardantes de llama bromados, los cuales pueden estar contenidos en plásticos ABS y HIPS.

La forma más práctica de identificación de plásticos es mediante la etiqueta ISO. De acuerdo con la norma ISO 11469, las partes de plástico que pesen más de 100 gramos deberían estar marcadas de forma visual. Estas marcaciones a veces son difíciles de encontrar e interpretar, pero pueden proporcionar información útil, por ejemplo, pueden dar información del tipo de plástico y si tiene contenido de bromo en su composición.

Para la identificación del tipo de plástico, en la siguiente Tabla 3.32 se muestran las abreviaturas utilizadas para los principales tipos de plásticos:

Tabla 3.32. *Tipos de plásticos contenidos en RAEE*

Abreviatura	Tipo de plástico
HIPS	Poliestireno de alto impacto
PS	Poliestireno
PC	Policarbonato
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PVC	Policloruro de vinilo

Además, de manera simplificada se entenderá que cualquier etiqueta que indique el término “FR” se identificará como plástico con contenido de bromo.

Por otra parte, se sabe que no todos los plásticos procesados van a tener la etiqueta ISO, por lo que se necesita una opción para realizar una identificación cualitativa, es por ello que en el Anexo 3 se ha descrito una metodología específica de identificación de plásticos bromados, además de las respectivas pruebas y efectividad de la misma metodología.

En conclusión de la implementación de la metodología de identificación de plásticos se obtiene que sí es factible realizar las pruebas correspondientes siempre y cuando se realice en óptimas condiciones y con los reactivos adecuados.

Máquina pelletizadora según cantidad de plásticos procesados en recicladoras

Para determinar el flujo másico de plásticos que la peletizadora debe procesar en un día se utilizará el porcentaje de plásticos procesados en un día de cada uno de los RAEE tal como se muestra en la Tabla 3.33 sin realizar distinción entre el tipo de plástico que es procesado.

Tabla 3.33. *Plásticos de RAEE procesados*

RAEE	Kilogramos desensamblados diarios	%P/P Plásticos	Kilogramos procesados
Cajeros automáticos	1837.88	3.51	64.51
Impresoras y fotocopiadoras	137.38	44.26	60.80
Modem 1	345.94	5.47	18.92
Modem 2	128.65	53.2	68.44
CPU 1	478.60	11.29	54.03
CPU DELL	493.24	6.67	32.90
UPS	493.24	4.55	22.44
Antenas de fibra	202.70	11.78	23.88
LCD	202.70	20.0	40.54
Aires acondicionados	432.43	1.56	6.75
Teléfono fijo	103.15	41.92	43.24
DVR	245.05	5.51	13.50
Escáner	544.00	62.9	342.18
Electrodomésticos	105.45	28.53	30.08

De la Tabla 3.33 presentada anteriormente, se puede observar que en un día de trabajo la mayor cantidad de plástico que se pudo haber generado es de 342.176 kg.

Sin embargo, ya que los plásticos con contenido de bromo no pueden ser reciclados es necesario realizar una estimación de las cantidades de plásticos a reciclar según los porcentajes del tipo de plástico que poseen los RAEE desensamblados.

En la Tabla 3.33 se presentan los RAEE más representativos dentro del proceso de desensamblaje de RAEE de la empresa ejemplo más representativo, de tal modo que se ha asignado el porcentaje de sus componentes y tipo de plástico del cual están constituidos dichos RAEE.

Con esta información se puede focalizar aquellos RAEE que necesitan especial atención al momento de que sus componentes sean clasificados debido a que contienen plásticos bromados.

En la Tabla 3.34 se indican los porcentajes de cada tipo de plástico que poseen los RAEE procesados por las recicladoras, esto servirá para identificar el porcentaje de plástico con potencial de reciclaje por cada aparato.

Tabla 3.34. Porcentaje de plástico presente según el tipo de RAEE

Equipo	%ABS	%HIPS	%PC+ABS	%PP	%PC	%PS	%otros polímeros
Impresoras y fotocopiadoras	17	-	-	21	-	12	50
Modem y router	21	5	2	-	9	9	54
CPU	100	-	-	-	-	-	-
Miscelánea (CD room, laptops, teléfono fijo, DVR)	66	10	20	-	-	-	4
LCD	59	41	-	-	-	-	-
Aires acondicionados	93	-	-	-	2	-	5
Escáner	31	23	20		5	14	7
Electrodomésticos pequeños	13	1	2	24	11	4	45

Bibliográficamente se sabe que los plásticos bromados se encuentran principalmente en aquellos aparatos cuyo plástico sea de tipo ABS y HIPS cuyas concentraciones de bromo podrían estar por encima de los 680 ppm hasta una concentración de 668000 ppm.

Además, según lo muestran los estudios realizados por Honduras en su primer foro para la gestión integral de residuos sólidos, siguiendo esta línea se puede estimar el porcentaje de plásticos bromados que procesan en las empresas recicladoras, de tal forma que puedan contabilizarse aquellos plásticos con potencial de reciclaje o tratamiento y que puedan generar un valor agregado al proceso.

A continuación, en la Tabla 3.35 se presentan las cantidades de plástico pertenecientes a los RAEE más representativos recibidos por las empresas recicladoras, en ella se encuentran diferentes tipos de plásticos y sus cantidades, multiplicadas por sus respectivos porcentajes para generar un estimado de los plásticos bromados que las empresas recicladoras desensamblan.

Tabla 3.35. Porcentaje de plástico presente según el tipo de RAEE

Cantidad de plástico por equipo	Cantidad de plástico por equipo (kg)	ABS (kg)	HIPS (kg)	PC+ABS (kg)	PP (kg)	PC (kg)	PS (kg)	Otros polímeros (kg)
Impresoras y fotocopiator	14438.32	2454.51	-	-	3032		1732.5	7219.16
Modem y router	2508.01	526.68	125.40	50.16	-	225.72	225.72	1354.32
CPU	1201.56	1201.56	-	-	-	-	-	-
Miscelánea (CD room, laptops, teléfono fijo, DVR)	1200.08	792.05	120.00	240.02	-	-	-	48.00
LCD	1342.02	791.79	550.23	-	-	-	-	-
Aires acondicionados	59.30	55.15	-	-	-	1.19	-	2.97
Escáner	481.66	149.32	110.78	96.33	-	24.08	67.43	33,71
Electrodomésticos pequeños	128.49	16.70	1.28	2.57	30.83	14.13	5.14	57.82
Total	21359.44	5987.76	907.69	389.08	3062.8	265.12	2030.8	8715.98
%plástico		28.03%	4.25%	1.82%	14.3%	1.24%	9.50%	40.80%

De la Tabla 3.35 se concluye que el contenido de plásticos bromados corresponde a 28.03 perteneciente a plásticos ABS y 4.25 perteneciente a plástico HIPS. De acuerdo a los resultados presentados en el Anexo 3 con respecto a la identificación cualitativa de plásticos, se asumirá que la totalidad de plásticos ABS no pueden ser reciclables debido a que contienen retardantes de llama con componentes de bromo, con lo cual se podría decir que el 71.97% de los plásticos podría ser aprovechable dándosele una correcta clasificación durante el proceso.

Luego de hacer efectiva la debida clasificación de plásticos y obtener la estimación de los plásticos a reciclar, se procede a escoger una máquina pelletizadora de acuerdo a la cantidad de plásticos gestionados. En esta ocasión se realizará la propuesta en base a la empresa recicladora ejemplo, con la respectiva cantidad de RAEE que gestiona por año.

Ya que en el mercado se presenta una amplia variedad de diseños de este tipo de máquina, se seleccionaron 4 modelos, los cuáles cumplen con las especificaciones técnicas para ser utilizadas en el proceso. En la Tabla 3.36 se encuentran las características de algunas opciones de pelletizadoras viables.

Tabla 3.36. Opciones de peletizadoras viables

N°	Plásticos procesados	Salidas (kg/h)	Dimensiones	Peso	Potencia (kW)	Voltaje (V)	Tipo
1	HDPE, HDPE/PP, PA, PE/PP, Lldpe, Polystyrene, ABS/PP, EVOH	150	17m*2m	1-10 T	132.5	220 /380 /415 /440	Granulación para producción en línea
2	HDPE, HDPE/PP, PA, PE/PP, Lldpe, Polystyrene, ABS/PP, EVOH,	100-800	17m*2m	1-10 T	11-135	220 /380 /415 /440	Granulador para reciclaje
3	HDPE, HDPE/PP, PA, PE/PP, Lldpe, Polystyrene, ABS/PP, PPR	200-1800	12800*2000*2600mm	14500 kg	120-450	380	Granulador para reciclaje
4	HDPE, PA, PE/PP, ABS/PP, PC, basura dura	80-800	10000*1200*1500 mm	3000 kg	15-250	220 /380 /415	Granuladora para reciclaje

De acuerdo a las especificaciones anteriores, en la Tabla 3.37 se realizó un análisis de ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Tabla 3.37. Análisis de ventajas y desventajas de las opciones de peletizadoras

Opciones	Ventajas	Desventajas
1	<ul style="list-style-type: none"> i. Puede procesar varios tipos de plásticos. ii. Maneja una gran variedad de voltajes. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Su capacidad de trabajo se ve limitada a 150kg/h con lo cual para procesar volúmenes grandes de plástico se ve forzada a gastar más energía dado que su uso se vería prolongado. ii. Su servicio para conseguir refacciones se encuentra muy lejano a El Salvador dado que este servicio se ubica exclusivamente en India.

Continúa...

Tabla 3.37. Análisis de ventajas y desventajas de las opciones de pelletizadoras (Continuación)

Opciones	Ventajas	Desventajas
2	<ul style="list-style-type: none"> i. Puede procesar varios tipos de plásticos. ii. Maneja una gran variedad de voltajes. iii. Los rangos de capacidad son acordes a las necesidades planteadas. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Las dimensiones del modelo planteado pueden generar inconvenientes en su instalación en planta para muchas recicladoras, ya que por lo general son espacios pequeños.
3	<ul style="list-style-type: none"> i. Puede procesar varios tipos de plásticos. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Maneja un único tipo de voltaje, con lo cual caídas de voltaje afectarían el funcionamiento del equipo. ii. Las dimensiones del modelo planteado pueden generar inconvenientes en su instalación en planta para muchas recicladoras, ya que por lo general son espacios pequeños.
4	<ul style="list-style-type: none"> i. Maneja una gran variedad de voltajes. ii. Los rangos de capacidad son acordes a las necesidades planteadas. iii. Puede procesar varios tipos de plásticos. iv. Las dimensiones del modelo pueden se adaptan a espacios pequeños. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Se debe comprar la maquinaria en el exterior.

En conclusión, según el análisis planteado anteriormente sobre las ventajas y desventajas técnicas de las pelletizadoras seleccionadas, la que mejor se adapta a las necesidades de la empresa recicladora respecto a funcionamiento es la opción 4, mostrada en la Figura 3.17, correspondiente a la Pelletizing Machine Hopesun 65-200.



Figura 3.17. Pelletizadora Machine Hopesun 65-200 (Hopesun, 2019)

En base a la selección de la peletizadora anterior se realizaran los análisis posteriores.

a. Factibilidad económica

Para el cálculo de la factibilidad económica se toma la siguiente consideración: el precio de energía eléctrica en resto es de 0.134912 USD\$/ kWh, esto según el pliego tarifario del suministro de energía eléctrica al consumidor final, vigente del 15 de julio de 2021 al 14 de octubre de 2021. En el cual se considera CAESS como distribuidora con una mediana demanda a media tensión con un medidor de horario.

Se hace necesario hacer la comparativa de precios de la venta de plástico, por lo que se ocupará el dato obtenido previamente de la cantidad de plástico con potencial de reciclado que se puede generar en un año de producción el cual es de 14463.93 kg . En la Tabla 3.38 se presentan los precios por los cuales se compra el plástico reciclado en la región latinoamericana y se hace la comparativa de ganancias que se tendrían al año por la cantidad de plásticos que se generan en la empresa.

Tabla 3.38. Comparación de ganancias por venta de plástico reciclado

Presentación del plástico	Precio de compra (USD\$/kg)	kg de plástico generado al año	Ganancias (USD\$)
Plástico rígido mezclado	0.27	14463.93	3905.26
Pellets de Reciclado de plástico ABS PP PE PBT PC	2.15	14463.93	31097.46

Como se aprecia en la Tabla 3.38, se obtiene una ganancia de \$28898.65 por vender el plástico en forma de pellet en lugar de marquetas de plástico.

Para poder calcular la inversión que representa la instalación de la peletizadora no sólo se considera el costo de la maquinaria, sino que también el costo de instalación (material y mano de obra). En la Tabla 3.39 se detallan los precios y unidades de los equipos que se necesitan.

Tabla 3.39. *Inversión inicial para implementar propuesta de peletizadora*

Artículo	Unidades	Precio Unitario (USD\$)	Precio total (USD\$)
Máquina peletizadora	1	37000.0	37000.0
Instalación	1	12300.0	12300.0
Total (\$)			49300.0

También es necesario considerar el consumo eléctrico de operación que la peletizadora representa, la máquina estará trabajando a una potencia de 100 kWh por cuatro horas al día lo que representa un consumo diario de 400 kWh al día, para poder traducir estos datos a gastos económico se multiplicarán los kWh diarios por el costo de energía en resto En la Tabla 3.40 se detalla el consumo energético requerido por la peletizadora anualmente.

Tabla 3.40. *Valor monetario de consumo energético*

Evaluación energética sistema de peletizado		
Potencia de peletizadora	100	kWh
horas de uso del equipo al día	4	h/día
Consumo energético sistema de peletizado	105600	kWh/año
Costo energético anual	14246.70	USD \$

Como se puede apreciar en la Tabla 3.40, el costo energético anual de \$14246.70 por el uso de la máquina peletizadora.

Para poder calcular la inversión que representa la instalación de la peletizadora no sólo debe considerarse el costo de la maquinaria, sino que también el costo de instalación (material y mano de obra). En la Tabla 3.41 se detallan los precios y unidades de los equipos que se necesitan.

Tabla 3.41. *Inversión inicial para implementar propuesta de peletizadora*

Inversión		
Compra de maquina peletizadora	37000	USD \$
Instalación del equipo	12300	USD \$
Inversión inicial	49300	USD \$

La peletizadora como cualquier otro activo con el tiempo irá perdiendo valor conforme avance su vida útil, según especificaciones los equipos tienen una vida útil de 16

años. Teniendo esto en cuenta se calcula cuanto será la depreciación anual que sufrirá el equipo, lo cual da un total anual de \$ 2,312.50.

Para saber si esta propuesta es rentable se ocuparon los indicadores financieros de la Tiempo de retorno de inversión, TIR y la VAN. En la Tabla 3.42 se detallan los valores de los indicadores de rentabilidad para el proyecto de implementación de la peletizadora.

Tabla 3.42. *Indicadores de rentabilidad del proyecto*

Indicador	Valor	Unidad
Inversión peletizadora	49,300.00	USD \$
Beneficios Económicos	31,097.46	USD \$/año
Costo operativo de pelletizadora	14,246.71	USD \$/año
VAN a 10 años sin Financiamiento	64,437.64	USD \$
TIR a 16 años	29	%

Debido a los indicadores presentados anteriormente en la Tabla 3.42 se concluye que la propuesta si sería rentable.

b. Factibilidad ambiental

Los plásticos bromados, como se indicó en el capítulo 1, representan un riesgo ambiental alto debido a los componentes peligrosos presentes en su composición química, además de la cantidad de químicos bioacumulables que producen estos materiales, los cuales pueden dañar la salud humana y el medio ambiente en general. En ese sentido, la correcta identificación de los plásticos bromados implica una alternativa de gestión adecuada y por lo tanto menor riesgo ambiental.

Además, la implementación de una peletizadora implicaría un menor volumen de plástico, por lo que tendría un impacto ambiental positivo debido a que disminuiría la cantidad de vectores producidos por la acumulación de plásticos, además la huella de carbono producida por el transporte de plástico tendría una reducción considerable.

Los estudios de factibilidad presentados anteriormente pueden complementarse con la distribución de planta presentada a continuación en la Figura 3.18.

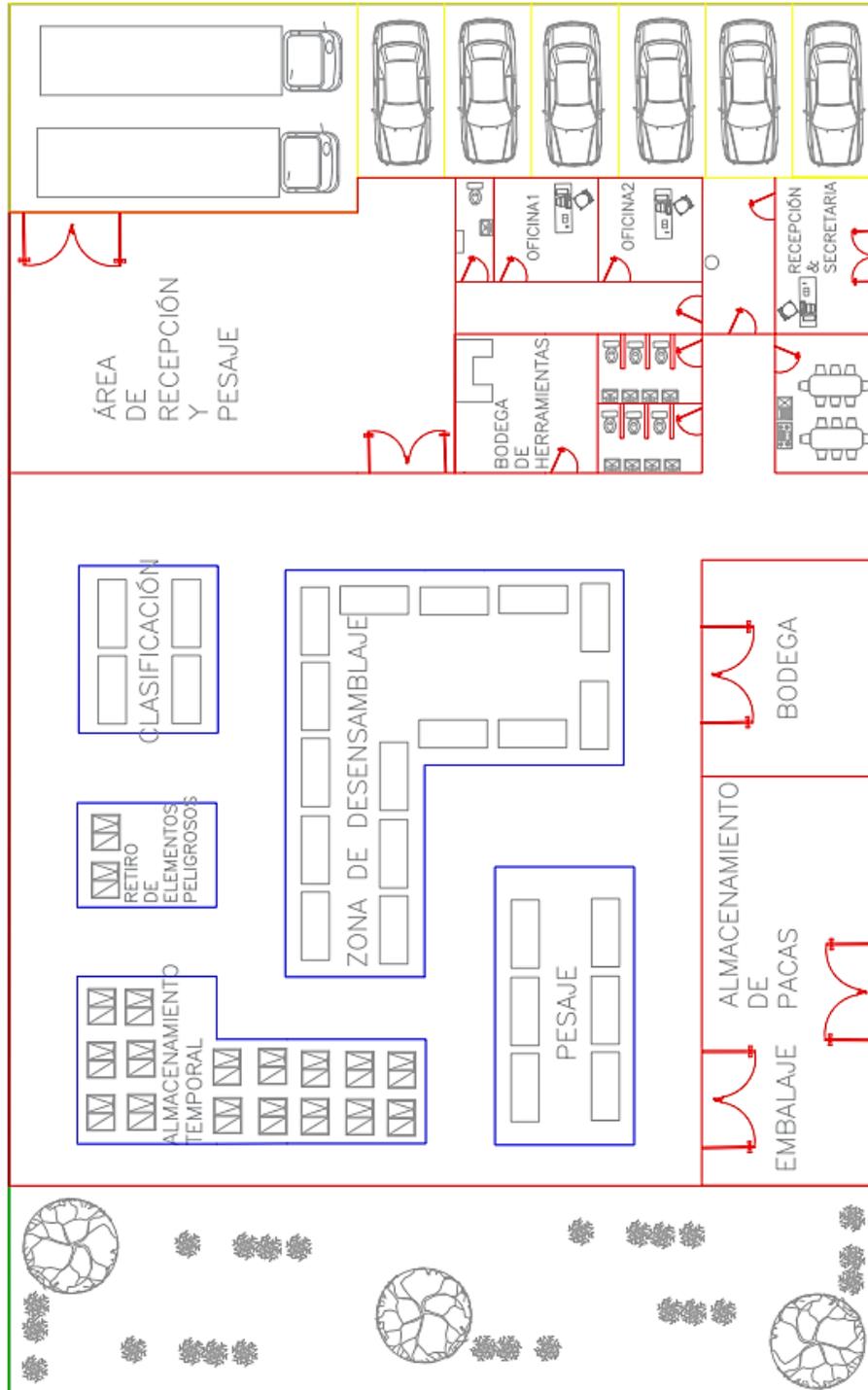


Figura 3.18. Distribución de planta de una empresa recicladora de RAEE

3.5. Análisis de resultados y conclusiones de estudio de PML

Las empresas recicladoras de RAEE proporcionaron datos de relevancia, los cuáles después de ser analizados bajo un enfoque de PML presentaron los siguientes resultados:

La revisión inicial abarcaba en primer lugar, el DDA de las empresas A, B, C y D. Es de destacar que este DDA se realizó por medio de un cuestionario en línea realizado junto con uno o varios encargados de las empresas estudiadas, por lo que, los datos obtenidos sirven para una visión general de la gestión ambiental de la empresa. Sin embargo, esta información no se puede validar del todo y por ello tiene un margen de error significativo. En la Figura 3.19 se presenta un resumen comparativo de los resultados obtenidos por cada empresa en cada sección del DDA.

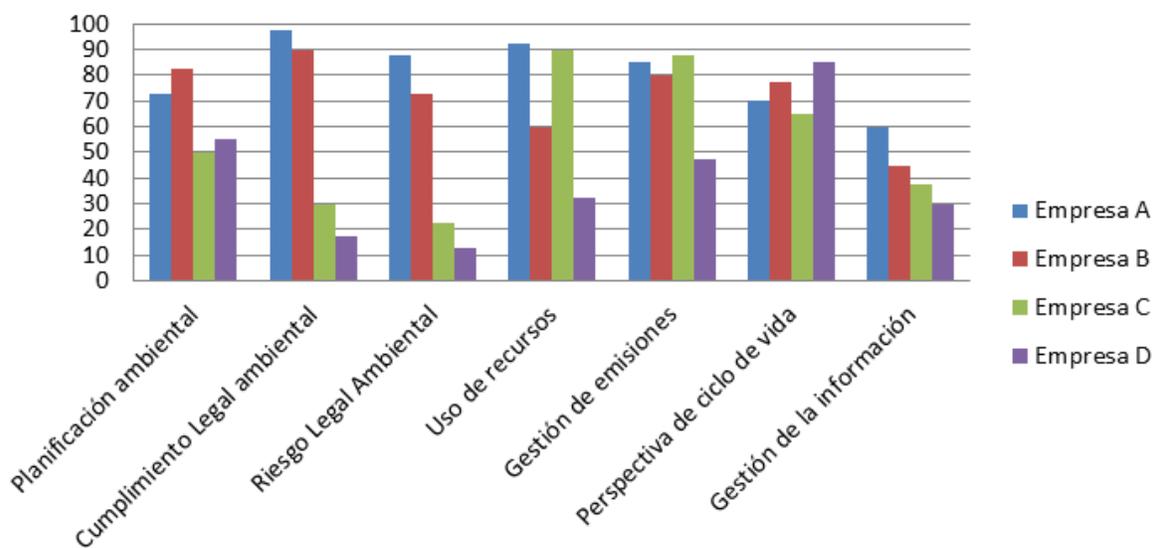


Figura 3.19. Resultados DDA

Anteriormente se describió detalladamente los aspectos específicos para cada sección evaluada en el DDA, a partir de ello y de la gráfica de la Figura 3.19 se puede evidenciar que las empresas A y B tienen un mayor nivel de cumplimiento. De manera general se puede observar que la sección que presenta mayor oportunidad de mejora es la de gestión de información, esto puede ser debido a que, empresas recicladoras no presentan los controles ambientales correspondientes a las actividades realizadas, al igual

que no presentan tecnología de medición necesaria para generar indicadores ambientales.

Las secciones de gestión de emisiones y perspectiva del ciclo de vida son los aspectos que mayor cumplimiento presentan todas las empresas, esto podría interpretarse como que las empresas tienen un buen control interno de las gestiones de emisiones gaseosas, desechos líquidos y sólidos, así como también de residuos peligrosos, además de una disposición final adecuada lo cual según el tipo de actividad representaría un avance significativo para las empresas recicladoras.

Luego de este diagnóstico inicial se tomó la decisión de continuar la investigación únicamente con las empresas A y B, ya que manejan volúmenes de RAEE más significativos. Para la continuación de este estudio se realizó un análisis de los principales factores ambientales identificados, entre los cuales destacan el consumo energético, hídrico y generación de residuos sólidos comunes.

Para finalizar el análisis de la revisión inicial, es necesario mencionar que el eje central de esta investigación es la identificación del estado del proceso de gestión de RAEE, por lo que se procedió a realizar el respectivo estudio por medio de la caracterización de los principales aparatos gestionados en las empresas, haciéndose referencia en la Figura 3.20 el porcentaje de RAEE desensamblado por categoría según datos de la empresa A, los cuáles fueron comparados con los RAEE por categoría gestionados por las empresas B, C y D, en donde se mantenían la tendencia que se presenta en la gráfica.

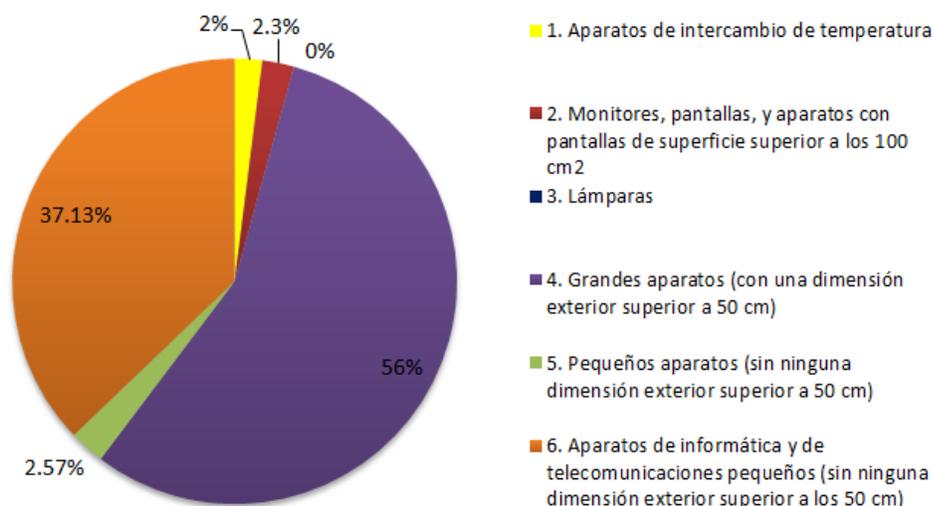


Figura 3.20. Porcentaje peso de RAEE desensamblado por categoría

Luego de los análisis preliminares de la etapa de revisión inicial, se continúa con el análisis de la etapa de evaluación, donde se analizaron dichos datos por medio de un balance de materiales.

Según los datos de la empresa A, se presenta en la Figura 3.21 los datos de los principales RAEE gestionados para el año 2019.

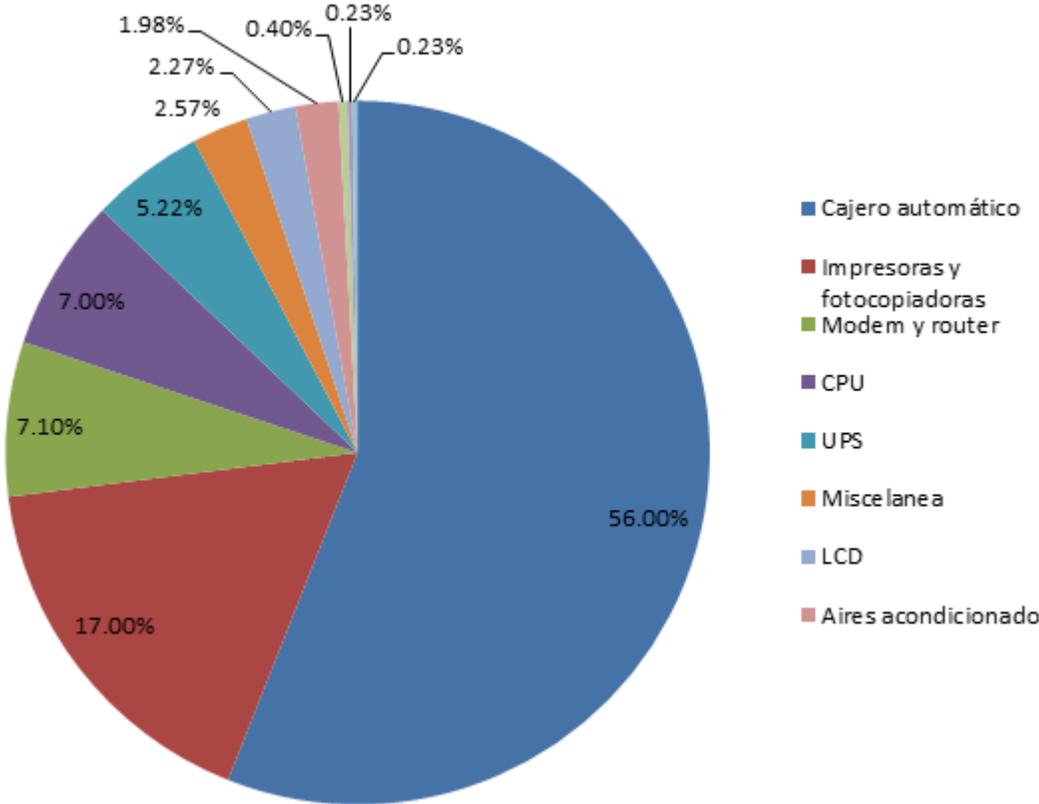


Figura 3.21. RAEE gestionados en 2019

En el capítulo 3 se realizaron los respectivos cálculos según la información presentada anteriormente, sin embargo, la gestión de los cajeros automáticos era una condición especial de ese año, según expreso explícitamente la empresa A. Por lo tanto, a continuación en la Figura 3.22 se presenta una distribución más acorde al promedio anual de RAEE gestionados por la empresa (omitiendo los pesos de los componentes de los cajeros automáticos).

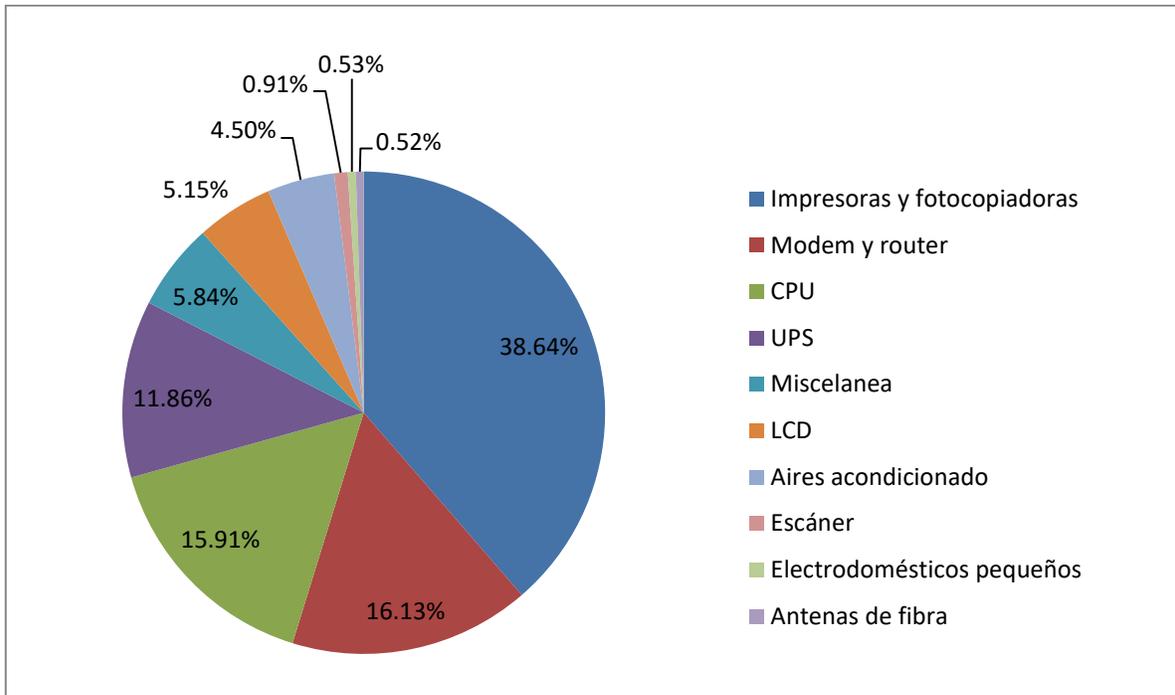


Figura 3.22. Principales RAEE gestionados por recicladora en El Salvador

Así mismo, según la información presentada en la Figura 3.23, se puede obtener un estimado del promedio de componentes de RAEE gestionados al año.

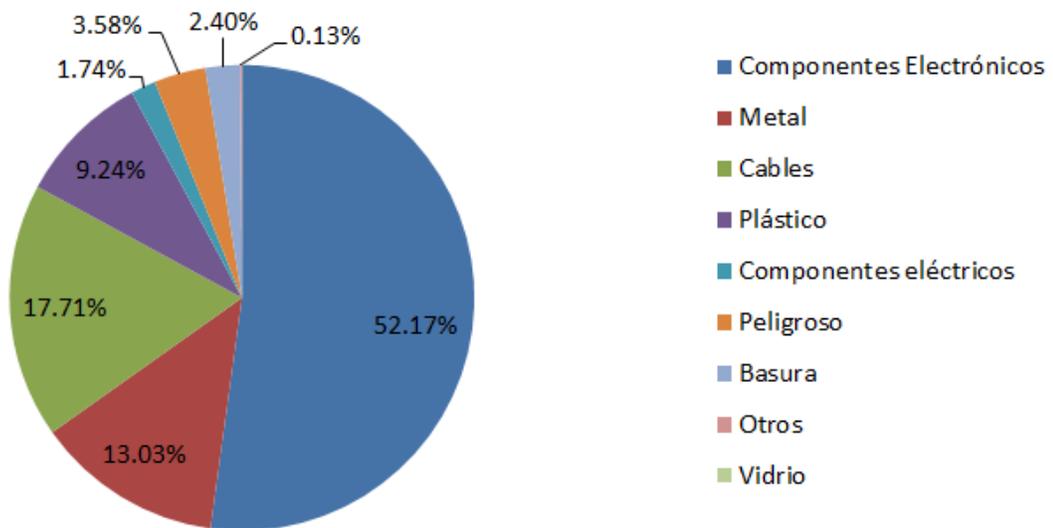


Figura 3.23. Porcentaje en peso de componentes de RAEE gestionados

Por lo tanto, en la gráfica de la Figura 3.24, se presenta la cantidad promedio real de componentes RAEE aprovechables y no aprovechables.

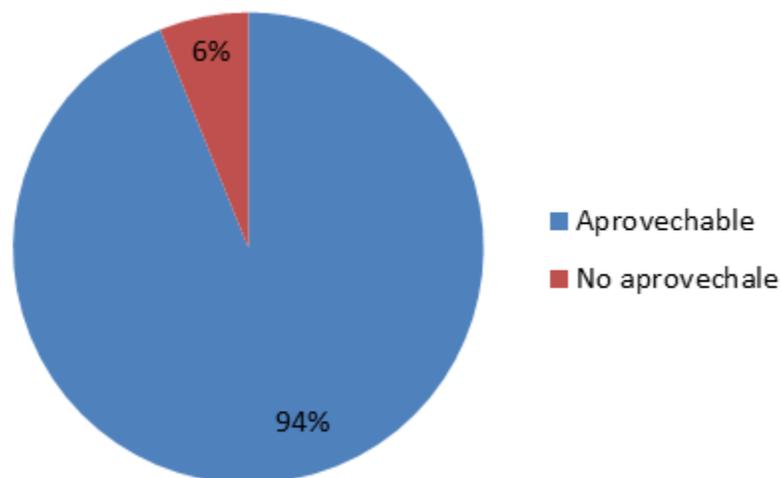


Figura 3.24. *Tipos de componentes RAEE gestionados*

Se debe aclarar que las estimaciones realizadas para el cálculo de compuestos no aprovechables se hicieron en base a basura, componentes peligrosos y otros componentes, según se presentó en la Figura 3.24. Sin embargo, se sabe que el plástico de los RAEE no puede ser aprovechado en su totalidad, por lo que, para tener una estimación adecuada de compuestos no aprovechables se debe tomar en cuenta ese factor.

Las empresas estudiadas fueron diversas, tanto en el proceso de gestión de RAEE realizado como en el volumen de residuos manejados, su ubicación geográfica dentro del territorio salvadoreño, entre otros aspectos de importancia para la investigación. Debido a lo anterior, se pueden tener algunas conclusiones generales de las empresas recicladoras de RAEE en El Salvador:

- i. Se tienen oportunidades de mejora en aspectos básicos del funcionamiento de instalaciones, en cuanto a la eficiencia en el consumo hídrico, energético y de generación de residuos sólidos comunes.
- ii. La clasificación de los RAEE y sus respectivos componentes debe ser realizada según las categorías de la UE.
- iii. Se tiene oportunidad de mejora en el proceso de desensamblaje de RAEE.

- iv. La clasificación de plásticos (aprovechables y no aprovechables) tiene importancia ambiental dentro del proceso de gestión.
- v. Se tiene oportunidad de mejora en aspectos como gestión de la información e indicadores ambientales en las instalaciones.

De acuerdo al análisis de datos anterior se propusieron propuestas de mejora basadas en la metodología de PML, de las cuáles debido a los estudios de factibilidad desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, se obtuvieron como las más óptimas las siguientes propuestas:

Propuesta 1: Implementación de sistema fotovoltaico

Propuesta 2: Identificación de plásticos e implementación de pelletizadora para plásticos reciclables

Con base en las propuestas de PML presentadas anteriormente y a la recopilación bibliográfica realizada en el capítulo 1 y 2, se realizará una propuesta de guía técnica para la gestión de RAEE en empresas recicladoras de El Salvador. Dicha guía se presenta de manera genérica para empresas gestoras de RAEE, según las normativas nacionales e internacionales.

4. PROPUESTA DE GUÍA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE RAEE BASADA EN LA METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA APLICADA A EMPRESAS RECICLADORAS DE EL SALVADOR

El objetivo de este cuarto capítulo es definir una propuesta de contenido para la elaboración de la guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador. Para esto, se basará en dos tipos de fuentes diferentes, la primera es la información recolectada de las empresas recicladoras en los capítulos anteriores de esta investigación, y la segunda es una revisión bibliográfica de guías técnicas similares de distintos países Latinoamericanos y una guía salvadoreña.

Se ocuparán de referencia los siguientes documentos:

- i. *Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia.
- ii. *Lineamientos Técnicos para el adecuado Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador.
- iii. *Guía de manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*, del Ministerio del Ambiente de Perú.
- iv. *Guía informativa responsabilidad extendida del productor (REP) y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*, Chile.
- v. *Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos*, del Ministerio de Salud, Costa Rica.

Se decidió ocupar estos documentos por dos razones principales, la primera es que el contenido que abordan en su mayoría son los lineamientos para la gestión o manejo adecuado de los RAEE, tema que es el eje central de lo que se desea para esta guía que se está realizando, y la segunda que son documentos de países Latinoamericanos, es decir países en los cuales la situación de los RAEE no difiere en gran medida a la de El Salvador.

Para el análisis de los documentos se decidió realizar un resumen bibliográfico de estos, los cuales servirían para identificar los temas centrales que cada documento abarca, con esto se facilitó la selección de temas para la propuesta de contenido para la guía a elaborar, ya que si varios documentos incluyen un cierto tema o contenido significa que es de importancia,

Con los resúmenes bibliográficos de los documentos y con toda la información y datos obtenidos de los capítulos anteriores se pueden identificar en que temas cada documento presenta fortalezas y en cuales debilidades, y ya que en los capítulos anteriores se ha establecido detalladamente la situación de los RAEE en El Salvador, se facilita de gran manera la selección de los temas para la propuesta de contenido de la guía técnica a realizar, ya que se escogerán los temas de importancia para la gestión de RAEE pero que sean aplicables a la situación de El Salvador.

4.1. Resumen de revisión bibliográfica de los documentos

a. *Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia*

El documento comienza explicando los antecedentes de la problemática de los RAEE o e-waste (término ampliamente usado en inglés) en América Latina y más específicamente en Colombia. También se habla de los antecedentes de esta problemática, de cómo ha ido evolucionando rápidamente y de los impactos a la salud y/o al medio ambiente que estos pueden llegar a generar.

Se toca el tema de cómo países desarrollados (más específicamente los países de la Unión Europea) gestionan esta problemática, y surgen conceptos como REP (Responsabilidad Extendida del Productor) y StEP (Solving the e-waste Problem, por sus siglas en inglés), que son iniciativas que surgieron a inicios de los 2000 para minimizar el impacto de los RAEE.

Sin embargo, el eje central del documento es el proceso o etapas que deben seguir las empresas en Colombia para poder manejar o gestionar los RAEE y cada una de estas etapas tiene ciertos lineamientos técnicos que se deben cumplir para que sea una buena gestión. A continuación, se detallan las etapas.

Etapa de recolección y almacenamiento: la etapa clave y decisiva para un sistema de reciclaje de RAEE es la recolección. Un sistema de recolección eficaz depende de esquemas de recolección accesibles y eficaces para el usuario y de la divulgación de información a los usuarios de forma coherente y adecuada.

Se plantean los lineamientos generales de puntos de retoma y recolección, que pueden ser el fabricante o importador, el distribuidor, puntos establecidos para la entrega o recolección de RAEE o la retoma o recolección directa por una empresa de reciclaje.

También se establecen los requisitos técnicos del punto de retoma y recolección al igual que los requisitos técnicos para instalaciones de almacenamiento, estas secciones abordan los requerimientos básicos para las instalaciones como los son la capacidad, los pisos, registros, procedimiento y personal, esta sección incluye un apartado que abarca el empaque y almacenamiento para casos especiales como lo son las baterías y los monitores de tubos de rayos catódicos.

Etapa de transporte y logística: los procedimientos de transporte de RAEE dependen del tipo de residuo y nivel de desensamble o reciclaje que se tenga, ya que se pueden transportar equipos enteros en desuso, o sus componentes después de su desensamble. Por lo tanto, en esta sección se distingue entre el transporte de equipos enteros en desuso y el transporte de componentes y partes desensambladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, al igual que se establecen las condiciones generales para el transporte de RAEE y las características de empaque requeridas para transporte de equipos enteros en desuso (siempre considerando los casos especiales como los monitores o pantallas con tubos de rayos catódicos)

Etapa de reuso: sirve para prolongar la vida útil de los aparatos eléctricos y electrónicos usados, de manera que vuelvan a introducirse en el mercado. A diferencia del reciclaje, para el cual es imprescindible descomponer los equipos en desuso y partes, en el reuso se conserva íntegro el estado de los aparatos y componentes, con lo que se mantiene un valor mayor mediante un esfuerzo menor.

Para poder saber qué tipo de reuso se le puede dar a los RAEE es necesario clasificarlos y evaluarlo, por lo que el documento da las pautas para hacer esto. Sin embargo, antes es necesario revisar los requisitos técnicos para reacondicionamiento y reparación de RAEE (también presentes en el documento).

Etapa de reciclaje: se puede hacer de manera manual, mecánica o combinando ambas técnicas. En este documento, la etapa de reciclaje incluye los procesos de aprovechamiento y valorización, los cuales se refieren a todo proceso industrial cuyo objeto sea la transformación y recuperación de los recursos contenidos en los residuos, o del valor energético (poder calorífico) de los materiales que componen los RAEE.

Etapa de descontaminación: En esta etapa se realiza la separación de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en algunos aparatos eléctricos y electrónicos en desuso, para evitar que los componentes contaminados terminen en las fracciones aprovechables para reciclar y así facilitar su manejo posterior. Este paso se debe realizar en particular cuando el proceso posterior sea el desensamble mecánico.

Etapa de desensamble: consiste en, como su nombre lo indica, separar los principales componentes o partes de componentes que conforman los RAEE (desensamble parcial), o el desensamble de los mismos en todos sus componentes y materiales (desensamble completo), los cuales serán clasificados de forma general en plásticos, vidrio, metales ferrosos, metales no ferrosos (como aluminio y cobre) y componentes peligrosos como mercurio y plomo, entre otros.

Al igual que en etapas anteriores el documento detalla los lineamientos que deben seguir las instalaciones donde se lleva a cabo el desensamble manual. En estos lineamientos también se incluyen las herramientas, equipos auxiliares, el equipo de protección personal de los trabajadores, los registros, los planes de seguridad y las consideraciones ambientales.

El documento aborda 3 procesos que se ocupan en los países desarrollados que son:

- Fundición
- Refinación térmica y química
- Incineración

Etapa de disposición final: El documento presenta los lineamientos generales de esta ya que por lo general siempre queda una fracción no aprovechable que resulta de las anteriores etapas de manejo de los RAEE. Las cantidades a disponer dependen del sistema de gestión y los estándares técnicos de los diferentes procesos.

b. Lineamientos Técnicos para el adecuado Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador

El presente documento contiene lineamientos para la gestión de RAEE en los distintos lugares de recuperación, tratamiento y disposición final; incluyendo las normativas ambientales, sanitarias y otras establecidas por el Estado. Las directrices que se establecen en este documento están dirigidas a:

- Transporte
- Puntos de Entrega Voluntaria (PEV)
- Puntos de Entrega Voluntaria móviles (PEVM)
- Plantas de desensamblaje/desarme

El documento comienza con una breve introducción sobre la problemática de RAEE en Latinoamérica, justificando así la necesidad del documento a nivel ambiental, económico y técnico.

Posteriormente se brindan conceptos básicos que se utilizarán en el documento definiendo así el concepto de RAEE además se da una clasificación fundamentada según la categorización que brinda la Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre RAEE. El proceso básico de recuperación y aprovechamiento de RAEE se encuentra esquematizado de la siguiente manera.

Recolección primaria: puntos móviles de entrega voluntaria (acopio temporal de RAEE mediante campañas de recolección en lugares públicos o privados), recolección domiciliar de RAEE formal e informal (chatarreros).

Transporte como proceso intermedio: Recolección de RAEE en los puntos móviles de entrega voluntaria para traslado hacia centros de almacenamiento temporal.

Almacenamiento temporal: Instalaciones donde se recibe almacenan y clasifican RAEE por periodos cortos.

Tratamiento/aprovechamiento: Plantas de desensamblaje/desarme donde se reciben, almacenan y comercializan.

Transporte/comercialización: Traslado de los RAEE desde centros de almacenamiento temporal o plantas de desensamblaje/desarme para la comercialización local o su exportación.

De esta forma el documento finaliza con las generalidades sobre RAEE y se comienza a dictaminar sobre los lineamientos técnicos para el transporte de los RAEE, para lo cual durante las actividades de transporte se debe garantizar como mínimo lo siguiente: Rutas, Personal y transporte.

En este apartado se describen 2 lineamientos, el primero de estos lineamientos aplica para el empaque de equipos enteros en desuso durante el transporte y los casos que requieren cuidados especiales durante el proceso los cuales incluyen monitores y televisores con tubos de rayos catódicos, impresoras, faxes, fotocopiadoras y otros equipos incluyendo periféricos. El segundo caso incluye los lineamientos para el empaque de partes y componentes durante el transporte haciendo énfasis en componentes como baterías, discos duros, tarjetas de circuito impreso y pantallas que pueden ser transportados hacia plantas específicas para aprovechamiento, tratamiento o disposición final.

Dentro del mismo apartado se incluye el procedimiento para la recepción y almacenamiento temporal sin dejar de lado la necesidad de la documentación necesaria para el registro de los RAEE que están ingresando al centro de acopio. La duración que tendrán estos centros de acopio para su funcionamiento dependerá de la cantidad de RAEE que se pretenda recolectar.

El documento también toma en cuenta algunas consideraciones generales entre las que se incluyen la elaboración de planes de seguridad ocupacional, controles de salud y plan de controles de vectores (insectos y roedores). Culminando con una sección para anexos un glosario y la caracterización de componentes de equipos informáticos de acuerdo a los anexos del convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación y una pequeña descripción de los componentes de los teléfonos móviles.

c. Guía de manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, del Ministerio del Ambiente de Perú

El documento comienza estableciendo que la guía está fundamentada en el “Reglamento nacional para la gestión y manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos” y la relación que tiene con Ministerio del Medio Ambiente (MINAM). La guía está dirigida a la población en general con énfasis en escolares, universitarios y profesionales, con el objetivo de brindar líneas guía sobre la importancia del manejo adecuado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

La guía continua abarcando las definiciones básicas de que son los RAEE, su composición, su categorización (cabe destacar que en Perú se adopta la misma normativa de la Unión Europea) y el reglamento que los rige, en el cual se establecen derechos y obligaciones para la adecuada gestión y manejo ambiental de los RAEE a través de 7 diferentes etapas de manejo que se definen en el documento, que son: generación, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, reaprovechamiento y disposición final.

Se define lo que es el Principio de responsabilidad Extendida del Productor (REP), que es un enfoque de política ambiental el cual, la responsabilidad del productor de AEE se amplía a la fase de posconsumo del ciclo de vida. Esta definición da apertura a la introducción del Plan Nacional de Acción Ambiental- Plana 2011-2021, el cual es un instrumento de gestión ambiental establecido por el MINAM.

Una de las acciones estratégicas que establece este plan es incrementar el reaprovechamiento y disposición adecuada de los RAEE. Para dimensionar esta acción el documento procede a datar la cantidad de AEE se importan en Perú, tomado como base el año 2007 y haciendo estimaciones para años posteriores. Además de este dimensionamiento se definen los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y la bioacumulación, y como el mal manejo de RAEE podría causar un gran problema de contaminación ambiental.

Ya habiendo planteado los conceptos y antecedentes anteriores el documento procede a abordar: ¿Qué es un plan de manejo de RAEE? Que se define como un instrumento de gestión ambiental el cual el productor presenta a la autoridad competente las acciones a desarrollar para el manejo adecuado de los RAEE.

En este plan se incluyen las obligaciones de los productores de AEE que es toda persona natural o jurídica que realiza actividades vinculadas a los AEE, como lo son los importado-

res de AEE, los fabricantes o ensambladores, los importadores de componentes, los distribuidores y los comercializadores. En el documento se listan 9 obligaciones que deben seguir todos los productores de AEE.

El documento luego procede a enlistar los actores del manejo de los RAEE y las acciones que cada uno debe realizar, estos son:

- i. Sectores (Ministerio de la producción y Ministerio de transportes y comunicaciones), estos deben aprobar y fiscalizar el cumplimiento de los planes, evaluar periódicamente los sistemas de manejo de los RAEE y finalmente presentar los reportes e información al MINAM
- ii. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Efectuar el seguimiento, vigilancia, fiscalización, control y sanción en material ambiental correspondiente a los sectores.
- iii. La Superintendencia Nacional de Bienes Estatales (SBN), esta difunde la baja adecuada de los RAEE del sector público.
- iv. Gobiernos Locales.

También se abarcan las obligaciones de los generadores de RAEE, que incluyen, segregar los RAEE de los residuos municipales, entregar los RAEE a los sistemas de manejo establecidos, para el sector público se deben realizar los trámites para la baja administrativa de los RAEE antes de que estos sean entregados a los sistemas de manejo establecidos.

Posteriormente se definen dos empresas diferentes que operan RAEE, las empresas Comercializadoras de Residuos Sólidos RAEE (EC-RS-RAEE), las cuales realizan segregación, transporte y almacenamiento de RAEE. Mientras que las Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos RAEE (EPS-RS RAEE) brindan los servicios de recolección, transporte y/o disposición final.

Ambos tipos de empresas deben estar inscritas en el registro de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud. Asimismo, deben de cumplir los requisitos técnicos que se exigen en la Ley General de Residuos Sólidos, así como los requisitos técnicos que establezcan las normas técnicas peruanas respectivas.

Finalmente, el documento concluye numerando puntos de acopio de RAEE ubicados en diferentes partes de Perú. Al igual que menciona ciertas campañas de acopio y recolección de RAEE que se realizan con regularidad.

d. *Guía informativa responsabilidad extendida del productor (REP) y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), Chile*

El documento fue creado para con el objetivo de facilitar la información al público en general para incrementar su comprensión en torno a la REP y la categoría de aparatos eléctricos y electrónicos. A la vez, se expone la ley marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Cuyo objetivo es disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización reciclaje y otro tipo de valorización. Detalla los principios bajo los cuales se rige la ley inspirados en los 3 principios de reciclaje reducir, reutilizar y reciclar aportando un extra en el aumento de prevención a la generación, aprovechar el residuo como un recurso que genere valor y que el total de desechos que se disponen sea mínimo.

Bajo este concepto de REP se dan a conocer los principales actores que participan directamente en la gestión de estos residuos identificación a los productores primarios consumidor, gestor, ministerio del medio ambiente, municipalidades y recicladores de base, dándoles pautas para que asuman conciencia sobre su responsabilidad como generadores de residuos, siguiendo esta línea la REP busca dejar atrás el modelo económico lineal en la cual los productos pasan a ser desechos y transitar hacia un modelo económico sostenible para que los residuos puedan ser convertidos en nuevos productos.

Para que el productor adopte este nuevo compromiso de REP la guía dispone de un sistema de gestión integrado (SIG) para que puedan dar un correcto cumplimiento a las disposiciones que la ley plantea. Para finalizar la guía da un análisis a nivel mundial sobre generación de RAEE y valorización de sus componentes recuperables, para dar hincapié sobre la importancia del manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos como producto prioritario a nivel mundial.

e. *Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos*, del Ministerio de Salud de Costa Rica

La guía inicia presentando un pequeño resumen de la gestión Integral de RAEE, indica también que van dirigidos a todos los actores y sectores involucrados en la gestión integral de residuos electrónicos y eléctricos, incluyendo productores, consumidores y gestores.

Presenta referencias normativas en la República de Costa Rica, de acuerdo a los decretos existentes para residuos peligrosos y otros que hacen referencia por parte del Ministerio de Salud y de Medio Ambiente.

Algunas consideraciones especiales que menciona al inicio del documento hace referencia a la responsabilidad extendida del productor, la responsabilidad de los consumidores finales por buscar la gestión de sus RAEE luego de finalizada la vida útil de los aparatos e incluso incluye algunas responsabilidades del gobierno (de Costa Rica) y sus municipalidades deben asumir con respecto a este tema. Para iniciar la gestión de RAEE indica que la ruta adecuada es la siguiente: Usuarios desechan sus RAEE adecuadamente en un punto de recepción debidamente autorizado, los puntos de recepción temporal los recolectan hasta que cuentan con una cantidad suficiente de aparatos para así entregarlos a los gestores, luego los gestores lo reciben y realizan el respectivo desensamblaje, valorización y exportación de desechos.

Adicionalmente, la guía técnica presenta los lineamientos técnicos son presentados por cada etapa de RAEE establecida (recepción, almacenamiento, desensamblaje y exportación) dando las directrices necesarias para el manejo de los mismos.

En general, establece la documentación requerida por cada uno de los actores de RAEE para manejarlos, además de recomendaciones para las instalaciones y equipos a utilizar, procedimiento y capacitaciones a tomar en cuenta para la correcta gestión.

Al finalizar el documento incluye un tipo de formato necesario para el transporte de RAEE en cualquiera de las etapas de gestión (para el almacenamiento o exportación).

4.2. Análisis de fortalezas y debilidades de los documentos de gestión de RAEE

De acuerdo a los documentos descritos en el apartado 4.1 se ha realizado un análisis de fortalezas y debilidades para la formulación de la guía de gestión de RAEE enfocada a empresas recicladoras de El Salvador.

4.2.1. Fortalezas de los documentos

En este apartado la Tabla 4.1 refleja la comparación de las fortalezas de cada documento descrito anteriormente. En este caso particular se tomarán como fortalezas todas aquellas partes de los documentos que influyan en la gestión de RAEE por parte de los gestores y que tengan relación con la realidad actual salvadoreña.

Tabla 4.1. Fortalezas de los documentos de gestión de RAEE

Nombre del documento	Fortalezas
<p><i>Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos</i>, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. El documento plantea un panorama con antecedentes claves para el establecimiento de un sistema de gestión. b. Se describen detalladamente las etapas de gestión de residuos. c. En cada etapa se describen una serie de lineamientos generales para el buen manejo de los residuos. d. Se incluyen todas las etapas desde la recolección hasta la disposición final de los residuos.
<p><i>Lineamientos Técnicos para el adecuado Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos</i>, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador.</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. El documento es fácil de comprender, posee una redacción para que sea leído de forma fluida. b. Describe de manera adecuada el concepto de RAEE y sus generalidades (clasificación y características). c. El documento está enfocado al proceso que se plantea en su esquema inicial para casi la mayor parte del proceso de RAEE. d. El documento recalca muy bien en lo que respecta a salvaguardar la salud de sus colaboradores y los alrededores.

Continúa...

Tabla 4.1. Fortalezas de los documentos de gestión de RAEE (Continuación)

Nombre del documento	Fortalezas
<p><i>Guía de manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos</i>, del Ministerio del Ambiente de Perú</p>	<p>a. El documento plantea la situación de RAEE en Perú de un modo bastante general y bien explicado haciéndolo fácil de entender para la población en general.</p> <p>b. Especifica detalladamente los actores que entran en el ciclo de los AEE y posteriormente los RAEE, y las responsabilidades que poseen.</p> <p>c. Se hace bastante referencia a reglamentos e instituciones nacionales encargados de regular los RAEE Indica a la población en general lugares específicos donde pueden llevar sus RAEE.</p>
<p><i>Guía informativa responsabilidad extendida del productor (REP) y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)</i>, Chile</p>	<p>a. Identifica claramente a los actores de la cadena de valor en la gestión de RAEE.</p> <p>b. Da información clara de lo que pretende la ley planteada y los conceptos de Responsabilidad extendida para que cualquier lector pueda fácilmente comprenderla.</p> <p>c. Plantea de forma correcta la importancia que tiene el priorizar el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.</p> <p>d. Contiene datos relativamente actualizados sobre la generación de RAEE en el país de aplicación de la ley. Incluyendo su valorización en el mercado.</p>
<p><i>Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos</i>, del Ministerio de Salud de Costa Rica</p>	<p>a. Destaca la documentación necesaria para cada etapa de la gestión de RAEE.</p> <p>b. Hace referencia de los lineamientos para las instalaciones implicadas en cada etapa proceso de gestión para que sean seguras.</p> <p>c. Destaca la importancia de la responsabilidad del gobierno, productores y en general de todos los implicados en la gestión integral de RAEE.</p>

4.2.2. Debilidades de los documentos

La Tabla 4.2 refleja la comparación de las debilidades de cada documento descrito anteriormente. Se entenderán como debilidades todas aquellas partes de los documentos que no tengan relación con la realidad actual salvadoreña o que estén enfocadas en otros actores de la gestión de RAEE distintos a los gestores.

Tabla 4.2. Debilidades de los documentos de gestión de RAEE

Nombre del documento	Debilidades
<p><i>Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos</i>, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia</p>	<p>a. El documento no incluye la parte de políticas o cumplimiento legal ambiental de la gestión de estos residuos.</p> <p>b. La descripción de las etapas no está enfocado 100% a las industrias recicladoras, sino a un público en general.</p> <p>c. En la etapa de disposición final no se especifica cuál sería la correcta gestión de los residuos.</p>
<p><i>Lineamientos Técnicos para el adecuado Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos</i>, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador</p>	<p>a. El documento no presenta la situación de RAEE en El Salvador, ni los convenios internacionales que dan directrices a su manejo.</p> <p>b. No se dan propuestas técnicas para el procesamiento de RAEE claras como métodos de identificación de plásticos bromados, maquinaria industrial para implementa al proceso</p> <p>c. No se identifica claramente la disposición final de los desechos RAEE, ni los pasos que deben seguirse para tramitarla.</p> <p>d. No se identifican los componentes nocivos que poseen los RAEE y que deben ser tomados en cuenta al momento del desensamblaje.</p>
<p><i>Guía de manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos</i>, del Ministerio del Ambiente de Perú</p>	<p>a. El documento no detalla en lo más mínimo las etapas del manejo de los RAEE ya que este solo los nombra, dejando de lado todas las regulaciones y procesos que esto incluye.</p> <p>b. A pesar de mencionar los COP no especifica que tipo de elementos peligrosos pueden tener o no los RAEE.</p> <p>c. No indica la manera adecuada de darle la disposición final a los RAEE.</p> <p>d. No se incluyen datos del total de RAEE manejados por las empresas encargadas.</p> <p>e. No menciona las regulaciones o requisitos necesarios para poder poner una industria gestora de RAEE.</p>
<p><i>Guía informativa responsabilidad extendida del productor (REP) y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)</i>, Chile</p>	<p>a. No menciona opciones de manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.</p> <p>b. La guía no brinda lineamientos o metodologías a seguir por los actores de RAEE, dado que la información que contiene es meramente informativa.</p>

Continúa...

Tabla 4.2. Debilidades de los documentos de gestión de RAEE (Continuación)

Nombre del documento	Debilidades
<p><i>Guía informativa responsabilidad extendida del productor (REP) y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), Chile</i></p>	<p>a. No habla sobre los peligros ambientales que representan los plásticos retardantes de llama y Compuestos orgánicos persistentes y la importancia de su diferenciación en el proceso de gestión de RAEE.</p> <p>b. Aunque el documento motiva a la toma de conciencia de RAEE, no brinda lineamientos mínimos para su recolección o disposición hacia centros de reciclaje.</p> <p>c. No toma en cuenta a los recolectores informales como parte de la cadena de RAEE.</p>
<p><i>Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos, del Ministerio de Salud de Costa Rica</i></p>	<p>a. El documento quiere abarcar todo el proceso de gestión (incluyendo productores y consumidores) pero no tiene el alcance esperado.</p> <p>b. La documentación y requisitos mencionados en toda la guía técnica únicamente pueden ser aplicados en la República de Costa Rica, sin embargo sería una buena base para otros países.</p> <p>c. Al inicio menciona que la guía técnica va dirigida a todos los sectores involucrados en la gestión de RAEE pero solo se especifican lineamientos para los gestores principalmente, se menciona un poco a los consumidores en la etapa de recepción, pero los demás no son mencionados en los lineamientos brindados en esta guía.</p>

Todos los documentos analizados poseen información que va encaminada hacia un correcto manejo de RAEE, sin embargo, si la línea de acción de los documentos es ser aplicados en empresas encargadas del desensamblaje de RAEE el documento que se enfoca más en ello es el de *Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*, emitido por el Ministerio de Salud de Costa Rica.

La guía analizada ya que aporta mucho acerca de lineamientos generales para la documentación y el manejo en cada una de las etapas implicadas en la gestión de RAEE por parte de las empresas gestoras.

La propuesta de mejora con respecto a este documento es profundizar un poco más en la identificación de los impactos al medio ambiente y la salud, inclusión de métodos para la identificación de plásticos y actualización de la caracterización de RAEE según el parlamento europeo. Además, se debería actualizar según la normativa salvadoreña y sobre la situación actual de RAEE en El Salvador.

Respecto a los demás documentos, aportan mucho sobre aspectos generales de la gestión, incluyendo sobre el un buen manejo de la información sobre la situación actual de RAEE en su país y descripción de las etapas para el manejo de residuos.

Otros aspectos relevantes son el manejo de la información de cada uno de los documentos, además de la forma en que se presentan son dirigidos a la población en general y no sólo a expertos del tema.

Con base en lo anterior, se tiene una propuesta de contenido para la guía para la gestión de RAEE en las empresas recicladoras en El Salvador, la cual se encuentra en el Anexo 4.

CONCLUSIONES

1. En función de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se recomienda la implementación de las medidas técnicas propuestas, para ello las empresas necesitarían invertir un capital inicial para que dichas medidas sean efectuadas, el cual podría ser recuperado mediante ahorros por el uso eficiente de energía y el aprovechamiento de plástico, como una nueva forma de agregar valor al proceso, obteniendo ahorros y beneficios económicos en ambas propuestas. Además, posibilita la reducción de impactos ambientales que las empresas recicladoras de RAEE pudiesen generar a mediano y largo plazo.
2. Caracterizando el ingreso de los diferentes tipos de RAEE de acuerdo con las directrices que la UE dispuso en el año 2012, se logró identificar qué porcentaje según el tipo de RAEE reciben las empresas recicladoras en el año. Posterior a ello, se realizó una caracterización por componentes de estos RAEE y se identificaron los porcentajes de metales, componentes electrónicos y de otros componentes determinando cuáles eran aprovechados dentro del proceso, en este sentido, se identificó que el plástico es el componente de RAEE que menos se aprovecha dentro del proceso y sin embargo es el que está presente casi en la totalidad de los RAEE, con lo cual se procedió a proponer opciones que conlleven a un mejor aprovechamiento del plástico dentro del proceso.
3. En cuanto a la cuantificación de los flujos de componentes de RAEE durante el proceso de desensamblaje, se determinó mediante un balance de materiales que los componentes cuyo porcentaje son significativos en términos de cantidad, están dados por: componentes electrónicos, metales, cables y plásticos. De los cuales, el porcentaje correspondiente a los plásticos no genera ningún valor económico, esto se debe a que por su naturaleza los plásticos que conforman los RAEE en ocasiones poseen retardantes de llama los cuales no pueden ser reciclados.
4. Las alternativas propuestas estuvieron dirigidas a contribuir en el uso eficiente de energía mediante la utilización de fuentes renovables y aprovechamiento de materiales procesados, con lo cual se demostró que el uso del sistema fotovoltaico propuesto dentro de la

empresa recicladora anualmente produciría 24,639.03 kWh y requiriendo un área de techo de 111 m² para su instalación. Generando con su funcionamiento un ahorro anual de \$3756.24 con lo cual se concluyó que económica y técnicamente la propuesta es viable, ya que suple las necesidades energéticas de la empresa según la ley permite para la generación de energía.

5. Respecto a la segunda propuesta, la investigación se enfocó en aprovechar el porcentaje de plástico que estaba siendo tomado como desperdicio debido a la nula identificación y separación de plásticos que actualmente se tienen, se propuso implementar una peletizadora que se ajusta a la potencia de la planta, se analizaron que los gastos por su funcionamiento serían de \$14,246.70 sin embargo, el beneficio económico anual por la venta de plástico es de \$31,097.46 obteniendo una ganancia de \$16,851.46 por lo que, los indicadores económicos para la propuesta fue positivo, confirmando su viabilidad.
6. De las evaluaciones ambientales correspondientes a las propuestas planteadas, en el caso de la implementación de la peletizadora se identifica principalmente el beneficio económico de \$31,097.46. Además, se concluyó que el manejo de plástico como pellet tendría un impacto ambiental positivo debido a que disminuiría la cantidad de vectores producidos por la acumulación de plásticos no procesados y la huella de carbono producida por el transporte de plástico tendría una reducción considerable. Con respecto a la implementación de un sistema fotovoltaico, se estimó la disminución de aproximadamente en un 44% las emisiones de gases de efecto invernadero al año, lo que indica un beneficio ambiental.
7. Con la propuesta de la guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, se logró abordar aspectos para que una empresa recicladora pueda operar de forma segura y con la documentación inicial mínima para su funcionamiento en ella se describen las etapas de RAEE, métodos de clasificación de RAEE y opciones de PML para empresas recicladoras, en esta guía se ofrece una metodología para la identificación en planta de plásticos con retardantes de llama para que puedan ser clasificados y dispuestos correctamente. El uso de esta guía por empresas recicladoras resulta importante dado que aborda aspectos técnicos del proceso de RAEE en cada etapa del proceso por

lo que puede ser una herramienta para que empresas recicladoras emergentes de RAEE puedan guiar sus operaciones desde un inicio con un enfoque ambientalmente adecuado.

8. Con la propuesta de la guía técnica realizada se logró abordar aspectos para que una empresa recicladora pueda operar de forma segura y con la documentación inicial mínima para su funcionamiento. En la guía se describen las etapas, métodos de clasificación de RAEE y opciones de PML para empresas recicladoras, a la vez, se ofrece una metodología para la identificación en planta de plásticos con retardantes de llama para que puedan ser clasificados y dispuestos correctamente. Se abordan aspectos técnicos del proceso de RAEE en cada etapa del proceso por lo que puede ser una herramienta de relevancia para que empresas recicladoras emergentes de RAEE puedan guiar sus operaciones desde un inicio con un enfoque ambientalmente adecuado.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda como resultados del trabajo de investigación, la implementación de las medidas técnicas propuestas, según la empresa tenga el capital inicial para que sean efectuadas dado que el uso eficiente de energía y el aprovechamiento de plástico como una nueva forma de agregar valor al proceso obtiene ahorros y beneficios económicos en ambas propuestas, y además posibilita la reducción de impactos ambientales que las empresas recicladoras de RAEE pudiesen generar a mediano y largo plazo.
2. De acuerdo con las visitas realizadas a las empresas, se recomienda la implementación de equipos que indiquen el consumo energético diferenciado para operaciones de la planta de desensamblaje y edificio administrativo, además de instrumentos de medición que cuantifiquen los residuos sólidos comunes generados diarios y emisiones gaseosa y líquidas al ambiente.
3. Se recomienda una capacitación continua al personal operativo sobre aquellos componentes de RAEE que poseen sustancias nocivas, además de brindar directrices en caso se dé una fuga de gas o un líquido proveniente de un RAEE en cualquier etapa de su gestión, ya que puede ser un riesgo potencial a la salud humana y al medio ambiente.
4. Si las empresas recicladoras desean implementar la metodología cualitativa de identificación de plásticos bromados planteada en la segunda propuesta, se recomienda que dispongan de un espacio separado y aislado dentro de las instalaciones designado para llevar a prueba las pruebas de identificación. Al igual se recomienda disponer de todos los reactivos con sus respectivos permisos de adquisición y manejo, y de los equipos que respectivos para realizar que se detallan en la guía técnica, sin olvidar que también es indispensable un técnico capaz de realizar estas pruebas de la manera indicada para obtener resultados veraces y satisfactorios.
5. Es recomendable que las empresas recicladoras estén abiertas al proceso de mejora continua y estén dispuestas a formar parte de los requisitos legales ambientales y ajuste de sus operaciones según indiquen las futuras normativas que pudiesen aplicar dentro de El Salvador para aquellas empresas que manejen desechos de RAEE, dado que actual-

mente las iniciativas de ley en el manejo de estos residuos aún están siendo formuladas, sin embargo, las normativas internacionales pueden ser un punto pivote para que las empresas puedan iniciar el proceso de mejora.

6. Debido a que los objetivos de la investigación no abarcan la etapa de implementación que dicta la metodología de PML se recomienda a las empresas recicladoras continuar con el seguimiento de las propuestas planteadas, ejecutándolas en la forma de proyectos a corto y mediano plazo dado que con la investigación ya se comprobó que las propuestas planteadas son viables y aplicables a gestoras de RAEE que manejen volúmenes de residuos cercanos a los que se utilizaron para los cálculos de factibilidad.
7. Se motiva a las empresas recicladoras a sumarse al cambio de tecnologías antiguas por tecnologías ecoeficientes, además se recomienda solicitar servicios de auditoria anuales por parte de organizaciones con experiencia en el área ambiental con el fin de apoyar a mejorar de manera integral sus procesos y constatar el seguimiento de cualquier mejora implementada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asamblea Legislativa (1983). "**Constitución República de El Salvador**". Consultado el 05 de enero de 2022. www.asamblea.gob.sv. El Salvador
2. ACEPESA (2008). "**Resumen del Diagnóstico de situación actual de los Residuos Electrónicos en El Salvador**". Asociación Centroamericana para la Economía. Consultado el 15 de marzo de 2021. www.sica.int. Costa Rica.
3. Ávalos Barrera, M., Cruz Salazar, M., y Fuentes Martínez, S. (2008). "**Propuesta de una metodología de producción más limpia para la pequeña y mediana empresa de la industria de artes gráficas en El Salvador**". Trabajo de Graduación. Ingeniería Industrial. Universidad de El Salvador. Consultado el 8 de mayo de 2021. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4186/>- El Salvador.
4. Bill, A., Gasser, M., Haarman, A., y Böni, H. (2019). "**Procesamiento de plásticos de RAEE Manual práctico**". Instituto Ciencia y Tecnología de Materiales (EMPA) y Foro de Recursos Mundiales (WRF). Consultado el 05 de enero. www.step-initiative.org/ Suiza.
5. CCAD (2009). "**Acuerdo de Producción Más Limpia para el subsector lácteos y plantas procesadoras**". Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Consultado el 05 de enero de 2022. <http://cidoc.marn.gob.sv>. El Salvador.
6. CCAD (2011). "**Política de Producción Más Limpia y Consumo Sustentable de El Salvador**". Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Consultado el 05 de enero. <http://cidoc.marn.gob.sv>. El Salvador.
7. CNPML (2020). "**Cálculo de las ventas y los residuos eléctricos y electrónicos generados en El Salvador**". Centro Nacional de Producción Más Limpia. Consultado el 15 de abril de 2022. <http://cnpml.org.sv/>. El Salvador.
8. CNPML (2021). "**Antecedentes**". Centro Nacional de Producción Más Limpia. Consultado el 2 de Mayo de 2021. <http://cnpml.org.sv/>. El Salvador.
9. CSJ (2017). "**Lineamientos para la Gestión de Desechos Electrónicos y Eléctricos**". Corte Suprema de Justicia de El Salvador. El Salvador.
10. E-waste (2016). "**Hazardous Substances**". Residuos electrónicos (Fundación E-waste). Consultado el 5 de abril de 2021. <https://ewasteguide.info/hazardous-substances/>. Estados Unidos.
11. GreenPeace (2011). "**Basura informática, la otra cara de la moneda**". Consultado el 05 de enero. <https://www.greenpeace.org/argentina/> Argentina.

12. Hopesun (2019). "**Lab Twin Screw Plastic Extruder Automotive Plastic Coloring Flame Retardant**". Consultado el 05 de enero de 2022.
<http://www.plasticgranulesmachine.com/> China.
13. ITU (2017). "**Estrategias y políticas para la eliminación o reutilización adecuadas de residuos generados por las telecomunicaciones**". Unión Internacional de Telecomunicaciones. Consultado el 16 de mayo de 2021.
<https://www.itu.int/>. Suiza.
14. Gómes, F y Gouveia, R. (2005). "**Cleaner production. In Cleanroom Technology**". Springer Nature Switzerland. Consultado el 18 de junio de 2021.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-4894-9_15. Suiza.
15. Kuehr, R., Forti V. y Baldé C.P. (2020). "**Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular**". Universidad de las Naciones Unidas (UNU)/Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) – coorganizadores del programa SCYCLE, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA). Suiza.
16. Lundgren, K. (2012). "**The global impact of e-waste: Addressing the challenge**". International Labour Office. Consultado el 18 de marzo de 2021.
<https://www.ilo.org/>. Geneva, Suiza.
17. MINAMBIENTE. (2017). "**Política Nacional: Gestion Integral De Residuos De Aparatos Eléctricos Y Electrónicos**". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia.
18. MARN (2000). "**Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
19. MARN (2004). "**Política de Producción Más Limpia**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
20. MARN (2004). "**Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
21. MARN (2013). "**Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
22. MARN (2015). "**Lineamientos Técnicos para el Adecuado Manejo de lo Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.

23. MARN (2017). "**Guía técnica para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en El Salvador**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
24. MARN (2018). "**Informe Nacional del Estado del Medio Ambiente del año 2017**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
25. MARN (2020). "**Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
26. Meléndez Ávalos, C. E. (2008). "**Diagnóstico de la situación actual de los residuos electrónicos en El Salvador**". Consultado el 05 de enero de 2022. <http://cidoc.marn.gob.sv>. El Salvador.
27. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina (2017). "**Manual Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**". Volumen 104. Consultado el 05 de enero de 2022. <https://www.argentina.gob.ar/> Argentina.
28. OIT (2020). "**Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y empleo en la Argentina**". Organización internacional del trabajo. Consultado el 05 de enero de 2022. <https://www.ilo.org/buenosaires/publicaciones>. Argentina.
29. Perkins, D. N., Brune Drisse, M. N., Nxele, T., y Sly, P. D. (2014). "**A global hazard**". E-waste. Consultado el 16 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.10.001>. Icahn School of Medicine at Mount Sinai. New York, Estados Unidos
30. RELAC (2011). "**Lineamientos para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en latinoamérica**". Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe. Consultado el 05 de enero de 2022. <http://www.residuoselectronicos.net>. Chile.
31. UE (2012). "**Sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)**". Unión Europea. Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012. Consultado el 28 de abril de 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/>. Luxemburgo.
32. Quinteros, H. , Ramírez, B. y Ramos, J. (2013). "**Evaluación de Contaminación por Metales Pesados en la Cuenca Baja del Río San Antonio, Municipio de Nejapa**". Trabajo de Graduación. Ingeniería Química. Universidad de El Salvador. Consultado el 8 de mayo de 2021. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5013/>. El Salvador.

GLOSARIO

Acopiar: Acción de reunir diariamente RAEE en sitios definidos y bajo condiciones adecuadas previo a la entrega de los mismo a un gestor autorizado.

Aprovechamiento: Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos

Actores: Los actores sociales pueden ser agrupados en: importadores, distribuidores, minoristas/venta al detalle y los consumidores; éstos últimos a su vez pueden concentrarse en tres grupos: gobierno, empresas y grandes corporaciones y hogares

Almacenamiento temporal: acción de resguardar temporalmente RAEE, en bodegas autorizadas, para su posterior aprovechamiento mediante gestores autorizados.

Aparatos Eléctricos y Electrónicos: son aquellos aparatos que necesitan para funcionar corriente eléctrica o campos electromagnéticos destinados a ser utilizados con una tensión nominal en corriente alterna o continua, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir esas corrientes y campos.

Aprovechamiento: todo proceso industrial y/o manual, cuyo objetivo sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los RAEE, garantizando el bienestar de las personas y el medio ambiente.

Balance de materiales: Es la contabilidad de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan en un intervalo de operación dado.

Bioacumulación: Acumulación de una sustancia química en un organismo como resultado de todas las rutas de exposición (alimentos, agua y sedimentos, entre otras).

Botadero ilegal: sitio sin autorización ni preparación previa donde se depositan residuos sin control y que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

Caracterización: Se entiende como caracterización, al proceso de clasificación, registro y análisis de cada uno de los productos de la categoría RAEE recogidos, incluyendo el desensamblaje de una muestra representativa clasificándolos en subcategorías (metales, plásticos, vidrio, etc).

Contaminantes orgánicos persistentes: Productos químicos que poseen ciertas propiedades tóxicas y resistentes a la degradación. Permanecen mucho tiempo en el ambiente, pueden desplazarse a grandes distancias; entran en el cuerpo humano principalmente a través del consumo de alimentos y forman parte de la carga corporal tóxica que pasa a las futuras generaciones. La contaminación ocasionada por los COP es un problema transfronterizo que hace indispensable tomar medidas a escala internacional.

Consumidor final: Toda persona, empresa o institución compradora de un bien o servicio en un comercio minorista, o toda persona, empresa o institución usuaria final que forme parte de la cadena de distribución de un bien o servicio

Centro de acopio: instalaciones dedicadas a la recolección y almacenamiento diario de RAEE por medio de gestores autorizados.

Centro de recuperación de RAEE: lugar donde se acopian y almacenan residuos de aparatos eléctricos y electrónicos; ya sea de manera que el residuo esté completo o se encuentre desmantelado en sus componentes. Estos centros pueden contar o no con áreas autorizadas para el desmontaje de aparatos y separación de componentes.

Ciclo de vida: etapas consecutivas o interrelacionadas de un producto o servicio, desde la adquisición de materia prima o su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.

Chatarra: son aquellos residuos de bienes, equipos y artículos constituidos por metales, ya sean férreos o no férreos.

Convenio de Basilea: el Convenio de Basilea es un acuerdo sobre medio ambiente por medio del cual 170 países dentro del sistema de Naciones Unidas convinieron proteger el medio ambiente y la salud humana de los efectos nocivos provocados por la generación, manejo, movimientos transfronterizos y eliminación de desechos peligrosos.

Desensamble: Se refiere al proceso de separar los principales componentes o partes de componentes que conforman los residuos de aparatos eléctricos o electrónicos (desensamble parcial), o el desensamble de los mismos en todos sus componentes y materiales (desensamble completo)

Desmontar: separar las piezas de un RAEE.

Diagnóstico de desempeño ambiental: Herramienta que facilita el análisis del desempeño ambiental por medio de diagnósticos técnicos en línea, con los cuales la empresa u organización puede identificar las áreas con potencial de mejora o de riesgo ambiental, así como aquellas en las que se tiene avance.

Disposición final: Es la operación final controlada y ambientalmente adecuada de los desechos, según su naturaleza.

Distribuidor: Los distribuidores son los responsables de llevar a todo el territorio los productos electrónicos, a través de sus propias sucursales o terceros (minoristas/venta al detalle). Se encuentran en este grupo empresas con “almacenes por departamento” que tienen sus propios canales de importación para productos electrónicos o compran a los grandes importadores y en sus salas de venta ofrecen al consumidor final equipos informáticos de uso doméstico

Economía circular: modelo económico basado en que los recursos se empleen de una forma más sustentable y eficiente, a través de la implementación de un sistema de aprovechamiento en donde prima la reducción de elementos, se apuesta por la reutilización de componentes que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente, y aboga por

utilizar la mayor parte de materiales reciclables posibles en la fabricación de nuevos bienes de consumo.

Equipos TIC: Son el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios; que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como: voz, datos, texto, video e imágenes.

Empresas desensambladoras: instituciones encargadas de realizar el proceso de desensamblaje obteniendo de este modo un valor económico. Entre las actividades que realizan están la categorización y clasificación de los componentes.

Empresas recicladoras: Instituciones encargadas de todo proceso de extracción y transformación de los materiales y componentes de los RAEE para su aplicación como insumos productivos

Empresas recolectoras: Empresas dedicadas a la recolección residuos, incluido su almacenamiento inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación de almacenamiento, una instalación de valorización o de eliminación, según corresponda. La recolección de residuos separados en origen se denomina diferenciada o selectiva.

Exportación: Proceso mediante el cual los RAEE son enviados fuera del territorio nacional, bajo las autorizaciones correspondientes.

Generador de residuos: Persona natural o jurídica, pública o privada, que produce todo tipo de residuos derivados de sus actividades. Los consumidores también son generadores de residuos como resultado del consumo de bienes.

Gestión de residuos: Todas aquellas actividades relacionadas con el ciclo de vida de los residuos, e incluye la recogida, el transporte y el tratamiento de los mismos.

Gestión integral: Conjunto de operaciones y procesos encaminados a la reducción de la generación, segregación en la fuente y de todas las etapas de la gestión de los desechos y residuos, hasta su disposición final.

Gestor: Persona natural o jurídica, pública o privada, encargada de la gestión total o parcial de los RAEE, y autorizada conforme a lo establecido en las leyes y sus reglamentos.

Gestor de residuos: Persona natural o jurídica, pública o privada que realiza cualquiera de las operaciones de manejo de residuos propios o de terceros y que se encuentra autorizada de conformidad a la normativa vigente.

Guía Técnica: Libro, folleto con datos, explicaciones o normas de una determinada materia que tiene como objetivo brindar lineamientos técnicos.

Gestión sostenible: el término gestión sostenible se entiende como la capacidad de las empresas e instituciones en mejorar todas las formas de capital, de forma que las empresas mejoren su desempeño, lo que requiere unos directivos con unas capacidades y conocimientos técnicos en la gestión empresarial para su aplicación por ejemplo en la gestión medioambiental de residuos, la gestión del agua o el desarrollo de energías limpias.

Impacto ambiental: Cualquier alteración significativa, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocados por acción humana o fenómenos naturales en un área de influencia definida.

Importador: En este contexto, se refiere a empresas especializadas en la importación de productos electrónicos (“cajas”), que operan como el primer contacto de los fabricantes o mega distribuidores en el exterior con determinado mercado de interés.

Lixiviado: líquido que se ha filtrado o percolado, a través de los residuos sólidos u otros medios, y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos.

Minorista: Se entiende como aquel que ejercita la actividad comercial al por menor, toda empresa de comercio que adquiere mercancías en nombre propio y por cuenta propia, y las revende directamente al consumidor final.

Obsoleto: anticuado, inadecuado a las circunstancias actuales.

Productor: persona física o jurídica que fabrique o ensamble en el territorio nacional, equipos eléctricos y electrónicos, bajo su propio nombre o su propia marca o la de un tercero. Productor es también aquel que importe para dar condiciones y vías de distribución para venta de cualquiera de los equipos que pueda generar un RAEE.

Punto verde: punto de acopio y recepción de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en instalaciones públicas o privadas.

Reciclaje: proceso que sufre un material o producto para ser incorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.

Recolección selectiva: Operación consistente en recoger residuos, incluido su almacenamiento inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación de almacenamiento, una instalación de valorización o de eliminación, según corresponda. La recolección de residuos separados en origen se denomina diferenciada o selectiva.

Recuperación de componentes: Toda actividad vinculada al rescate de los RAEE desechados por los generadores a efectos de su valorización.

Relleno sanitario: Sitio que es proyectado, construido y operado mediante aplicación de técnica de ingeniería sanitaria y ambiental, en donde se depositan, esparcen, acomodan, compactan y cubren con tierra diariamente los residuos no valorizados, contando con drenaje para líquidos percolados y chimeneas para extracción de gases.

Residuo: es todo tipo de material, orgánico o inorgánico, sólido, líquido o gaseoso, que el generador abandona, rechaza o entrega y que puede ser o no susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien.

Residuo aprovechable: es cualquier material, objeto, sustancia o elemento que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo o de otra forma de valorización.

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Aparatos que ya no puedan ser usados para el fin que han sido creados; por obsolescencia o recambio tecnológico; cuando su poseedor toma la decisión de descartarlo, dejarlo o sufrir daños de cualquier tipo.

Residuos de Manejo Especial: son aquellos que tienen características de gran volumen, difícil manejo, tamaño y composición y, por ende, requieren de una gestión con características diferentes a las convencionales consideradas en el servicio de recolección Municipal.

Residuo no aprovechable: es todo material o sustancia de origen orgánico e inorgánico, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo; por lo que, son considerados residuos que no tienen ningún valor comercial, requiriendo tratamiento y disposición final, generando costos de disposición.

Residuo peligroso: son aquellos en estado sólido, líquido o gaseoso que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contienen agentes biológicos infecciosos que les confieran peligrosidad, así como materiales, envases, recipientes y embalajes.

Residuos Sólidos Urbanos: Elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados o abandonados.

Residuos valorizables: son aquellos residuos que pueden ser recuperados de la corriente de los residuos sólidos ordinarios para su valorización.

Responsabilidad Extendida al Productor (REP): Denota un principio de política ambiental que tiene como objetivo reducir el impacto medioambiental de un producto. Consiste en que el productor o distribuidor de aparatos eléctricos y electrónicos, se responsa-

bilice por el ciclo de vida completo de un producto, en especial de la etapa postconsumo, comprendiendo la recolección, valorización y disposición final.

Retardantes de llama: se utilizan para hacer que los plásticos sean más resistentes al fuego. Durante el uso de los AEE ciertas piezas de plástico se exponen regularmente al calor, por lo que los plásticos de RAEE a menudo contienen cantidades significativas de retardantes de llama.

Reusar: personas con procesos y equipos adecuados pueden crear productos nuevos usando las partes de otros equipos informáticos y de telecomunicaciones evitando la sobreacumulación de residuos en los vertederos y esto se traduce en una notable reducción de la contaminación de los suelos.

Riesgos ambientales: Es la probabilidad que se presente un nivel de consecuencias ambientales en un sitio particular y durante un período de tiempo definido.

Segregación: Es el proceso en el cual separamos, de forma correcta y eficiente, los distintos productos desechados

Sustancias nocivas: Sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden ocasionar daños de gravedad limitada.

Sustancias peligrosas: todo material con características corrosivas, reactivas, radioactivas, explosivas, tóxicas, inflama-bles o con actividades biológica.

Tóner: también denominado tinta seca por analogía funcional con la tinta, es un polvo fino, normalmente de color negro, que se deposita en el papel que se pretende imprimir por medio de atracción electrostática o magnetografía.

Tratamiento: cualquier actividad realizada por un gestor de los residuos eléctricos y electrónicos incluyendo descontaminación, trituración y preparación para proceder con la exportación y el aprovechamiento de materiales.

Trabajadores informales: Toda persona física que recupera materiales, componentes o aparatos con el objeto de reutilizarlos como materias primas o productos, desde una perspectiva de economía de subsistencia y de inclusión social.

Trazabilidad: la gestión integral de residuos deberá establecer el conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permitan conocer las cantidades, ubicación y trayectoria de un residuo o lote de residuos a lo largo de la cadena de manejo.

Vertederos municipales: Conocidos como rellenos sanitarios o vertederos controlados y gestionados por los gobiernos bajo ciertas consideraciones y estudios económicos, sociales y ambientales

Valorización: conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor de los residuos para los procesos productivos mediante la recuperación de materiales o el aprovechamiento energético para la protección de la salud y el uso racional de los recursos.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
A. ANEXO 1: Resultados del Diagnóstico de Desempeño Ambiental	160
B. ANEXO 2: Análisis técnico para la implementación de paneles solares (Propuesta 1).....	181
C. ANEXO 3: Metodología de identificación de plásticos bromados.....	185
D. ANEXO 4: Propuesta de guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador	190

A. Anexo 1: Resultados del Diagnóstico de Desempeño Ambiental

A.1. Resultados Empresa 1

En la Figura A.1 se presenta el promedio total del diagnóstico inicial de la empresa.

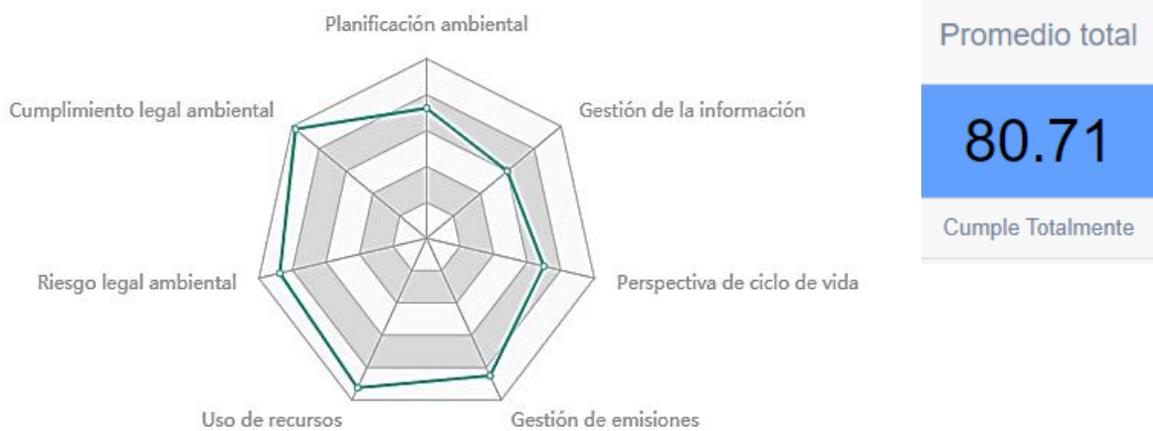


Figura A.1. Promedio total Empresa 1

Se presentarán los resultados de cada sección por aspecto evaluado.

PLANIFICACIÓN AMBIENTAL



Figura A.2. Empresa 1: planificación ambiental

Tabla A.1. Empresa 1: Notas y status planificación ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Aspectos e impactos	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Indicadores ambientales	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Objetivos y metas	100	87.50	Cumple Totalmente
Liderazgo y dirección	100	87.50	Cumple Totalmente
Capacidad instalada	100	100.00	Cumple Totalmente

CUMPLIMIENTO LEGAL AMBIENTAL



Figura A.3. Empresa 1: Cumplimiento legal ambiental

Tabla A.2. Empresa 1: Notas y status Cumplimiento legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Evaluación legal	100	87.50	Cumple Totalmente
Instrumento legal ambiental	100	100.00	Cumple Totalmente
Evidencias de cumplimiento	100	100.00	Cumple Totalmente
Salud ocupacional	100	100.00	Cumple Totalmente
Revisión por Dirección	100	100.00	Cumple Totalmente

RIESGO LEGAL AMBIENTAL

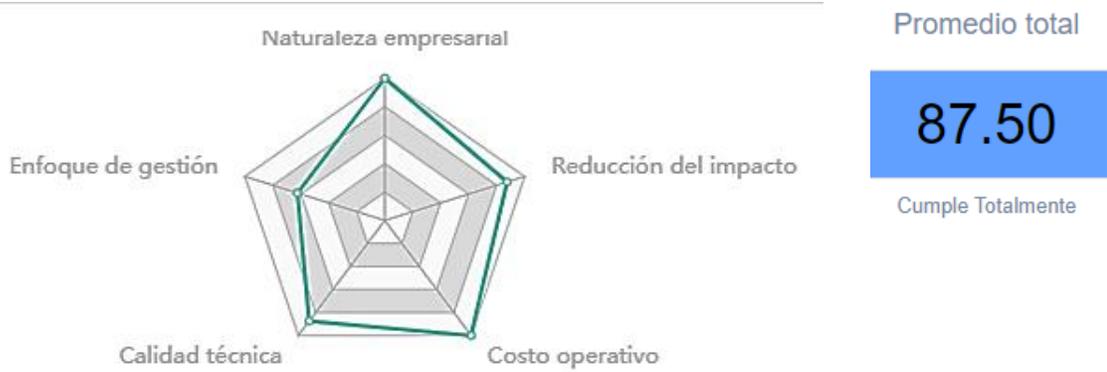


Figura A.4. Empresa 1: Riesgo legal ambiental

Tabla A.3. Empresa 1: Notas y status planificación ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Naturaleza empresarial	100	100.00	Cumple Totalmente
Enfoque de gestión	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Calidad técnica	100	87.50	Cumple Totalmente
Costo operativo	100	100.00	Cumple Totalmente
Reducción del impacto	100	87.50	Cumple Totalmente

USO DE RECURSOS



Figura A.5. Empresa 1: Uso de recursos

Tabla A.4. Empresa 1: Notas y status uso de recursos

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Optimización del agua	100	87.50	Cumple Totalmente
Eficiencia energética	100	87.50	Cumple Totalmente
Uso de productos químicos	100	100.00	Cumple Totalmente
Materiales sostenibles	100	100.00	Cumple Totalmente
Oficina Verde	100	87.50	Cumple Totalmente

GESTIÓN DE EMISIONES

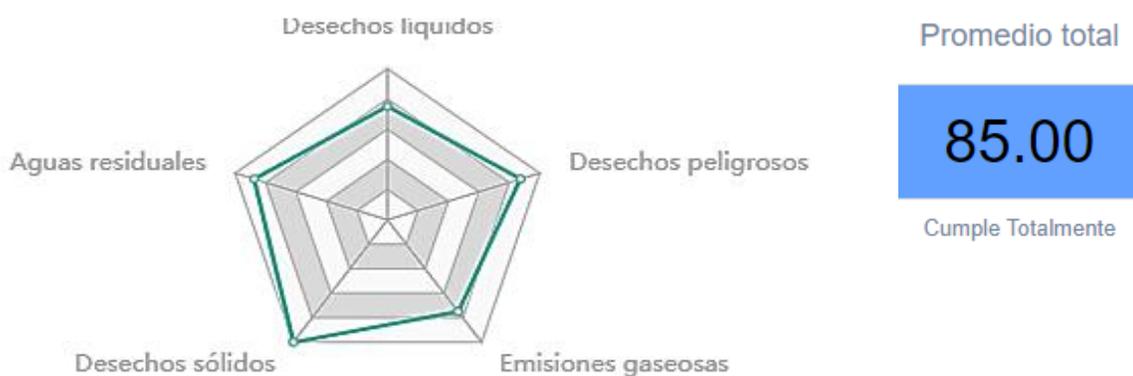


Figura A.6. Empresa 1: Gestión de emisiones

Tabla A.5. Empresa 1: Notas y status gestión de emisiones

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Desechos líquidos	100	75.00	Cumple Totalmente
Aguas residuales	100	87.50	Cumple Totalmente
Desechos sólidos	100	100.00	Cumple Totalmente
Emisiones gaseosas	100	75.00	Cumple Totalmente
Desechos peligrosos	100	87.50	Cumple Totalmente

PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA

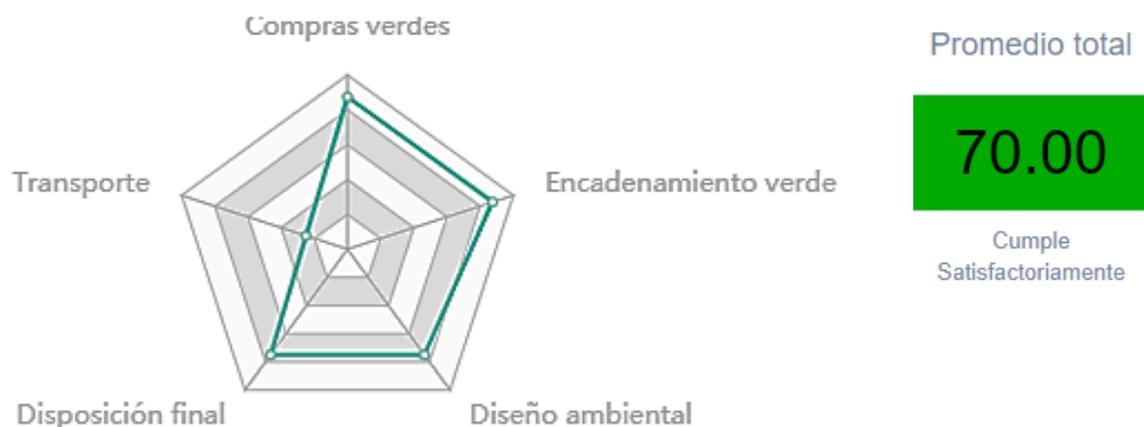


Figura A.7. Empresa 1: Perspectiva de ciclo de vida

Tabla A.6. Empresa 1: Notas y status perspectiva de ciclo de vida

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Compras verdes	100	87.50	Cumple Totalmente
Transporte	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Disposición final	100	75.00	Cumple Totalmente
Diseño ambiental	100	75.00	Cumple Totalmente
Encadenamiento verde	100	87.50	Cumple Totalmente

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

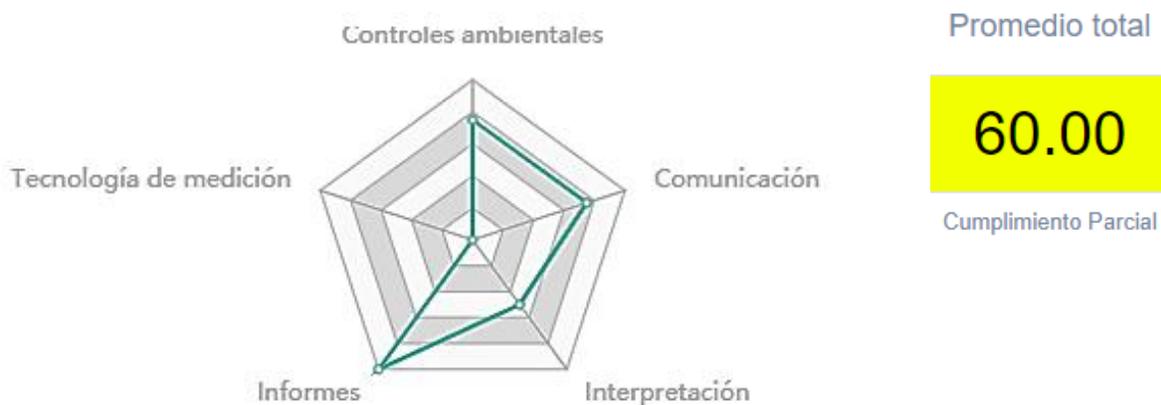


Figura A.8. Empresa 1: Gestión de la información

Tabla A.7. Empresa 1: Notas y status gestión de la información

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Controles ambientales	100	75.00	Cumple Totalmente
Tecnología de medición	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Informes	100	100.00	Cumple Totalmente
Interpretación	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Comunicación	100	75.00	Cumple Totalmente

A.2. Resultados Empresa 2

En la Figura A.9 se presenta el promedio total del diagnóstico inicial de la empresa.

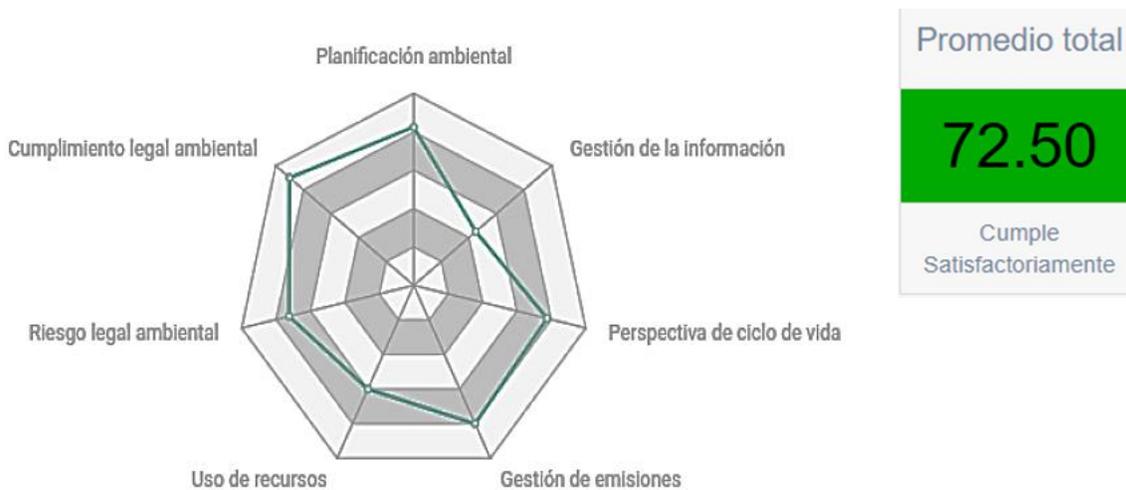


Figura A.9. Promedio total Empresa 2

Se presentarán los resultados de cada sección por aspecto evaluado.

PLANIFICACIÓN AMBIENTAL



Figura A.10. Empresa 2: Planificación ambiental

Tabla A.8. Empresa 2: Notas y status planificación ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Aspectos e impactos	100	100.00	Cumple Totalmente
Indicadores ambientales	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Objetivos y metas	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Liderazgo y Dirección	100	100.00	Cumple Totalmente
Capacidad instalada	100	100.00	Cumple Totalmente

CUMPLIMIENTO LEGAL AMBIENTAL



Figura A.11. Empresa 2: Cumplimiento legal ambiental

Tabla A.9. Empresa 2: Notas y status cumplimiento legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Evaluación legal	100	75.00	Cumple Totalmente
Instrumento legal ambiental	100	100.00	Cumple Totalmente
Evidencias de cumplimiento	100	100.00	Cumple Totalmente
Salud ocupacional	100	100.00	Cumple Totalmente
Revisión por Dirección	100	75.00	Cumple Totalmente

RIESGO LEGAL AMBIENTAL



Figura A.12. Empresa 2: Riesgo legal ambiental

Tabla A.10. Empresa 2: Notas y status riesgo legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Naturaleza empresarial	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Enfoque de gestión	100	100.00	Cumple Totalmente
Calidad técnica	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Costo operativo	100	87.50	Cumple Totalmente
Reducción del impacto	100	100.00	Cumple Totalmente

USO DE RECURSOS



Figura A.13. Empresa 2: Uso de recursos

Tabla A.11. Empresa 2: Notas y status uso de recursos

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Optimización del agua	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Eficiencia energética	100	100.00	Cumple Totalmente
Uso de productos químicos	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Materiales sostenibles	100	100.00	Cumple Totalmente
Oficina Verde	100	100.00	Cumple Totalmente

GESTIÓN DE EMISIONES

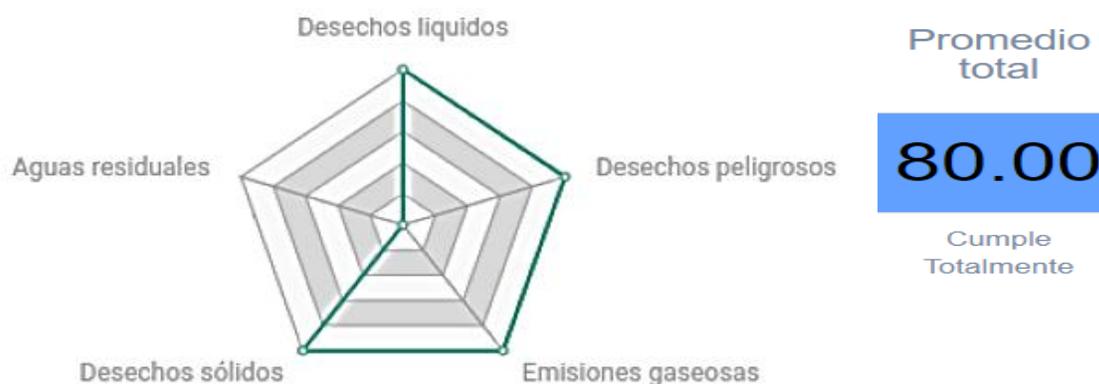


Figura A.14. Empresa 2: Gestión de emisiones

Tabla A.12. Empresa 2: Notas y status gestión de emisiones

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Desechos líquidos	100	100.00	Cumple Totalmente
Aguas residuales	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Desechos sólidos	100	100.00	Cumple Totalmente
Emisiones gaseosas	100	100.00	Cumple Totalmente
Desechos peligrosos	100	100.00	Cumple Totalmente

PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA



Figura A.15. Empresa 2: Perspectiva de vida

Tabla A.13. Empresa 2: Notas y status perspectiva de vida

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Compras verdes	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Transporte	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Disposición final	100	100.00	Cumple Totalmente
Diseño ambiental	100	100.00	Cumple Totalmente
Encadenamiento verde	100	87.50	Cumple Totalmente

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

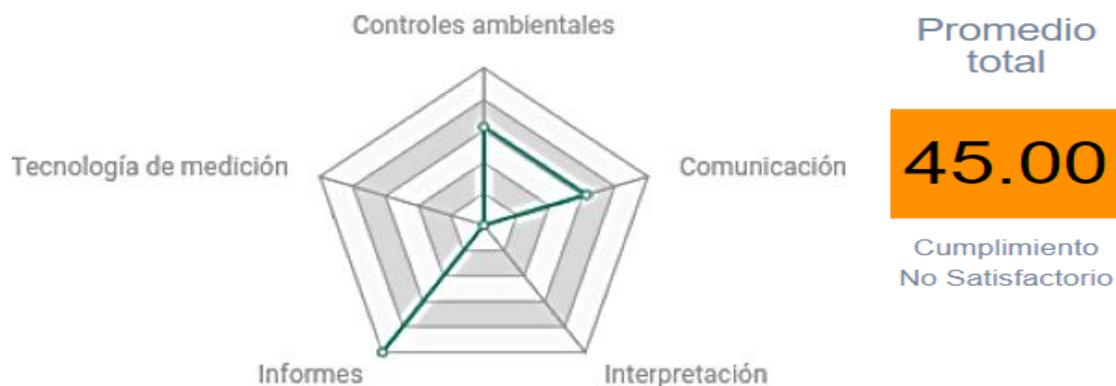


Figura A.16. Empresa 2: Gestión de la información

Tabla A.14. Empresa 2: Notas y status gestión de la información

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Controles ambientales	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Tecnología de medición	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Informes	100	100.00	Cumple Totalmente
Interpretación	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Comunicación	100	62.50	Cumplimiento Parcial

A.3. Resultados Empresa 3

En la Figura A. 17 se presenta el promedio total del diagnóstico inicial de la empresa.



Figura A.17. Promedio total Empresa 3

Se presentarán los resultados de cada sección por aspecto evaluado.

PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

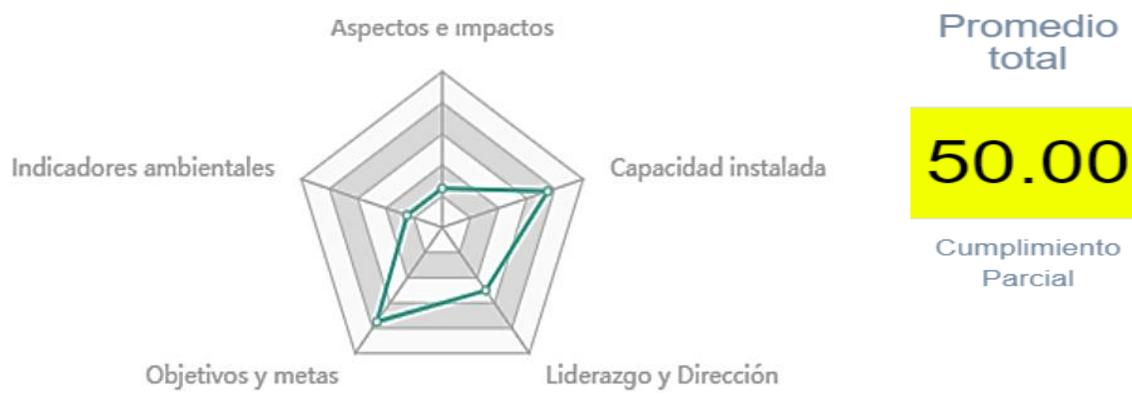


Figura A.18. Empresa 3: Planificación ambiental

Tabla A.15. Empresa 3: Notas y status planificación ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Aspectos e impactos	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Indicadores ambientales	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Objetivos y metas	100	75.00	Cumple Totalmente
Liderazgo y Dirección	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Capacidad instalada	100	75.00	Cumple Totalmente

CUMPLIMIENTO LEGAL AMBIENTAL



Figura A.19. Empresa 3: Cumplimiento legal ambiental

Tabla A.16. Empresa 3: Notas y status cumplimiento legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Evaluación legal	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Instrumento legal ambiental	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Evidencias de cumplimiento	100	12.50	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Salud ocupacional	100	75.00	Cumple Totalmente
Revisión por Dirección	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio

RIESGO LEGAL AMBIENTAL

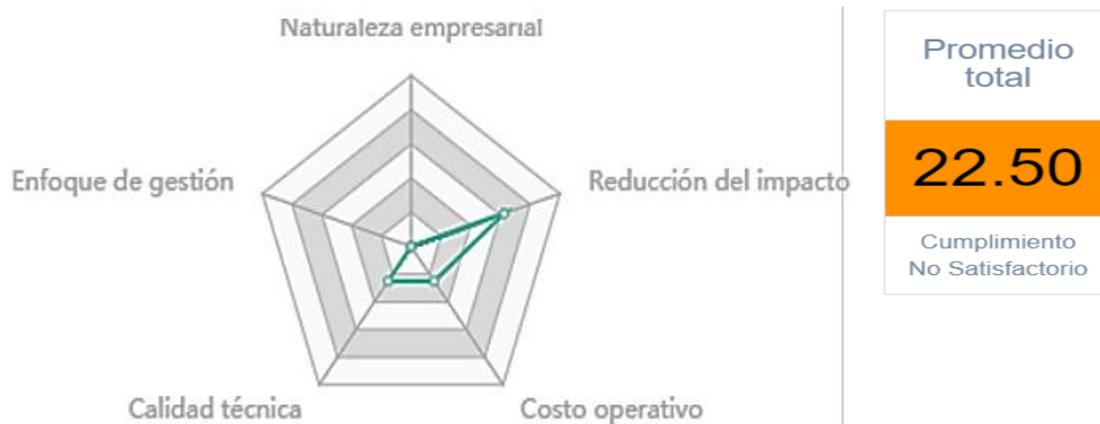


Figura A.20. Empresa 3: Riesgo legal ambiental

Tabla A.17. Empresa 3: Notas y status riesgo legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Naturaleza empresarial	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Enfoque de gestión	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Calidad técnica	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Costo operativo	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Reducción del impacto	100	62.50	Cumple Totalmente

USO DE RECURSOS



Figura A.21. Empresa 3: Uso de recursos

Tabla A.18. Empresa 3: Notas y status uso de recursos

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Optimización del agua	100	87.50	Cumple Totalmente
Eficiencia energética	100	100.00	Cumple Totalmente
Uso de productos químicos	100	75.00	Cumple Totalmente
Materiales sostenibles	100	100.00	Cumple Totalmente
Oficina Verde	100	87.50	Cumple Totalmente

GESTIÓN DE EMISIONES



Figura A.22. Empresa 3: Gestión de emisiones

Tabla A.19. Empresa 3: Notas y status gestión de emisiones

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Desechos líquidos	100	100.00	Cumple Totalmente
Aguas residuales	100	100.00	Cumple Totalmente
Desechos sólidos	100	100.00	Cumple Totalmente
Emisiones gaseosas	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Desechos peligrosos	100	87.50	Cumple Totalmente

PERSPECTIVA DEL CICLO DE VIDA

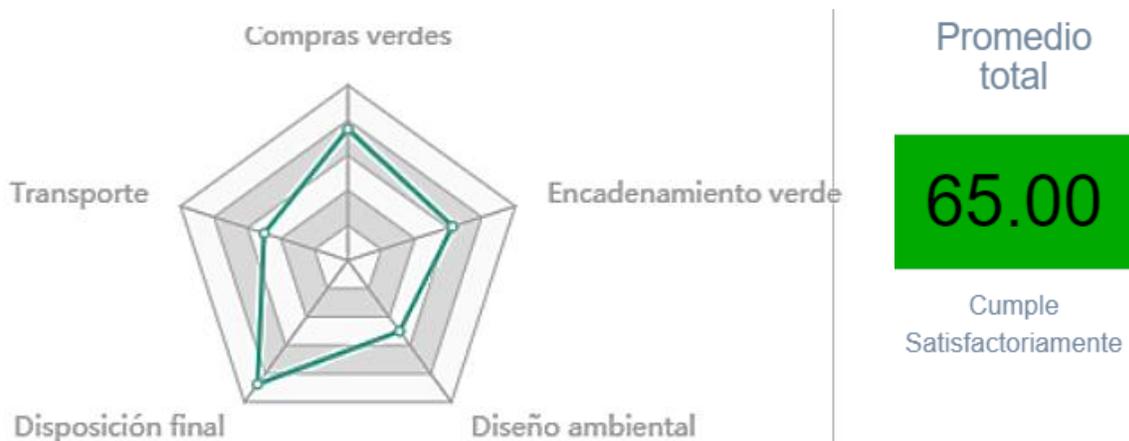


Figura A.23. Empresa 3: Perspectiva de vida

Tabla A.20. Empresa 3: Notas y status perspectiva de vida

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Compras verdes	100	75.00	Cumple Totalmente
Transporte	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Disposición final	100	87.50	Cumple Totalmente
Diseño ambiental	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Encadenamiento verde	100	62.50	Cumplimiento Parcial

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

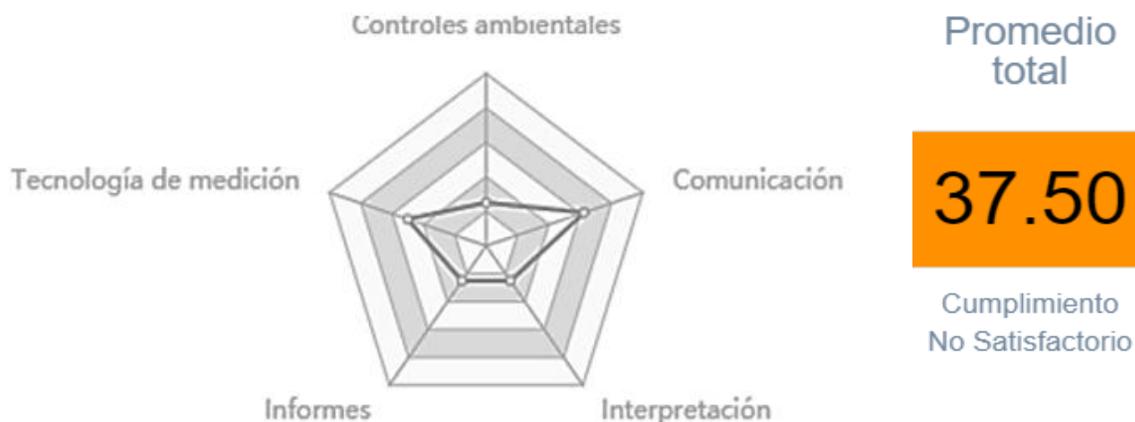


Figura A.24. Empresa 3: Gestión de la información

Tabla A.21. Empresa 3: Notas y status gestión de la información

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Controles ambientales	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Tecnología de medición	100	50.00	Cumplimiento Parcial
Informes	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Interpretación	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Comunicación	100	62.50	Cumplimiento Parcial

A.4. Resultados Empresa 4

En la Figura A.25 se presenta el promedio total del diagnóstico inicial de la empresa.



Figura A.25. Promedio total Empresa 4

Se presentarán los resultados de cada sección por aspecto evaluado.

PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

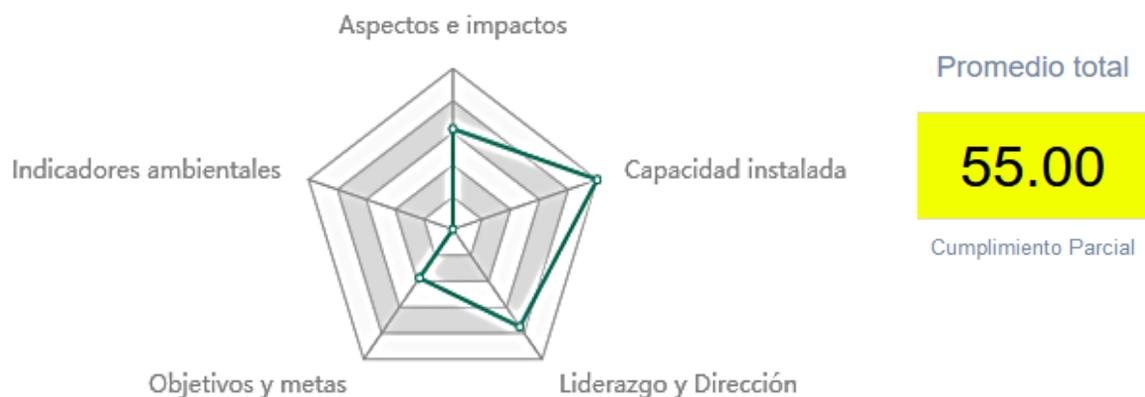


Figura A.26. Empresa 4: Planificación ambiental

Tabla A.22. Empresa 4: Notas y status planificación ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Aspectos e impactos	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Indicadores ambientales	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Objetivos y metas	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio
Liderazgo y Dirección	100	75.00	Cumple Totalmente
Capacidad instalada	100	100.00	Cumple Totalmente

CUMPLIMIENTO LEGAL AMBIENTAL

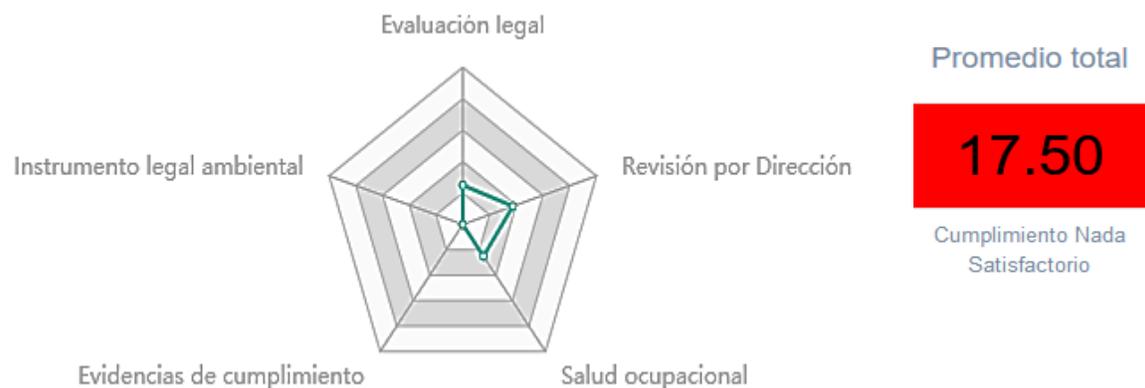


Figura A.27. Empresa 4: Cumplimiento legal ambiental

Tabla A.23. Empresa 4: Notas y status cumplimiento legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Evaluación legal	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Instrumento legal ambiental	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Evidencias de cumplimiento	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Salud ocupacional	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Revisión por Dirección	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio

RIESGO LEGAL AMBIENTAL

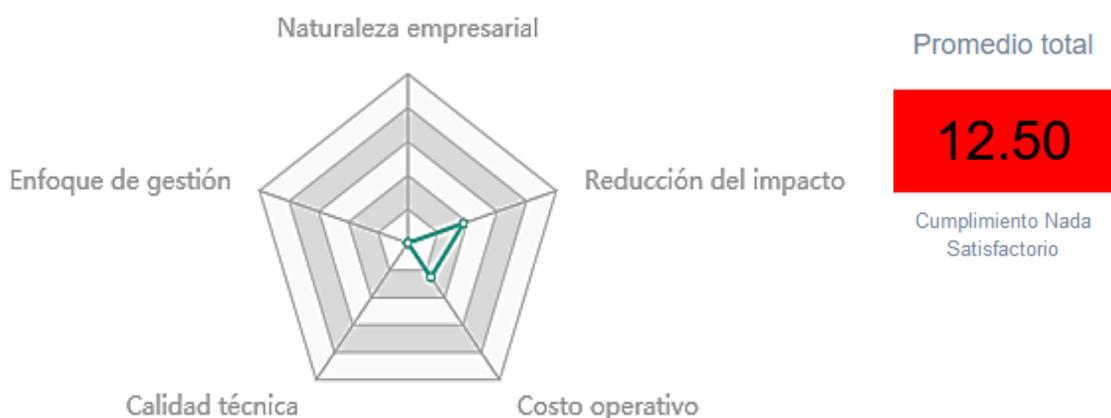


Figura A.28. Empresa 4: Riesgo legal ambiental

Tabla A.24. Empresa 4: Notas y status riesgo legal ambiental

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Naturaleza empresarial	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Enfoque de gestión	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Calidad técnica	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Costo operativo	100	25.00	Cumplimiento No Satisfactorio
Reducción del impacto	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio

USO DE RECURSOS

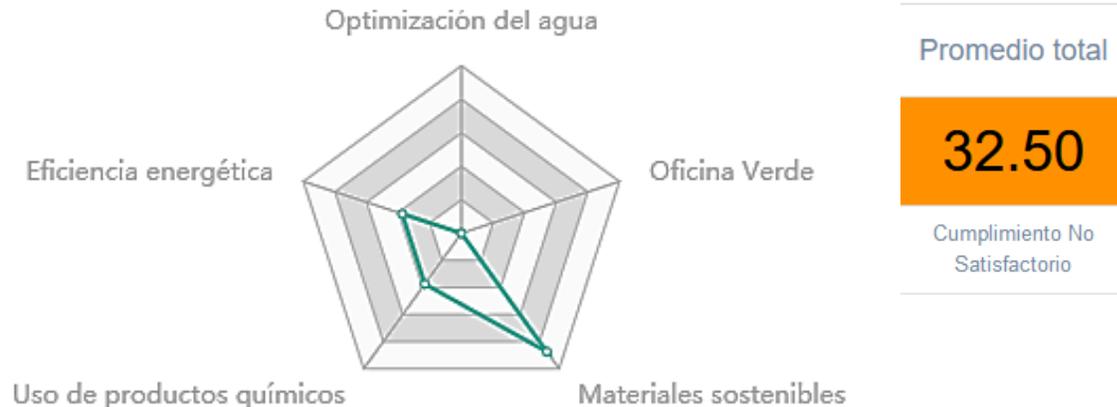


Figura A.29. Empresa 4: Uso de recursos

Tabla A.25. Empresa 4: Notas y status uso de recursos

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Optimización del agua	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Eficiencia energética	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio
Uso de productos químicos	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio
Materiales sostenibles	100	87.50	Cumple Totalmente
Oficina Verde	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio

GESTIÓN DE EMISIONES



Figura A.30. Empresa 4: Gestión de emisiones

Tabla A.26. Empresa 4: Notas y status gestión de emisiones

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Desechos líquidos	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Aguas residuales	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio
Desechos sólidos	100	100.00	Cumple Totalmente
Emisiones gaseosas	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Desechos peligrosos	100	37.50	Cumplimiento No Satisfactorio

PERSPECTIVA DEL CICLO DE VIDA

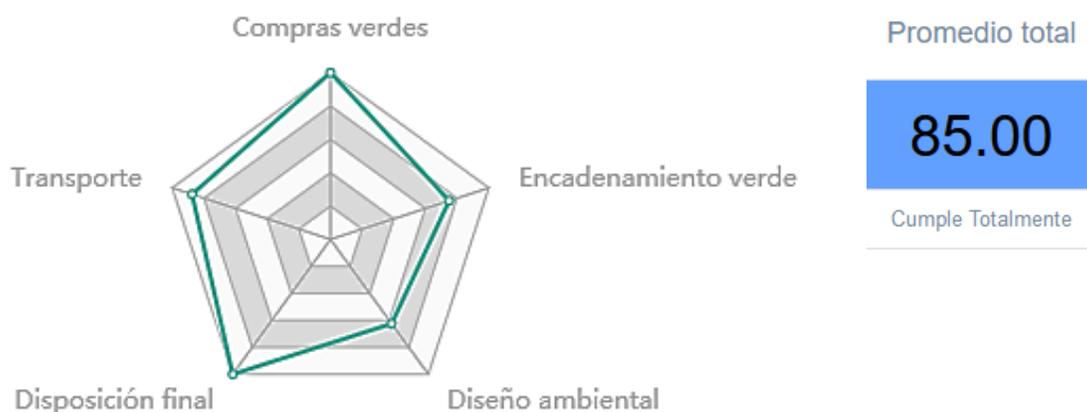


Figura A.31. Empresa 4: Perspectiva de vida

Tabla A.27. Empresa 4: Notas y status perspectiva de vida

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Compras verdes	100	100.00	Cumple Totalmente
Transporte	100	87.50	Cumple Totalmente
Disposición final	100	100.00	Cumple Totalmente
Diseño ambiental	100	62.50	Cumplimiento Parcial
Encadenamiento verde	100	75.00	Cumple Totalmente

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

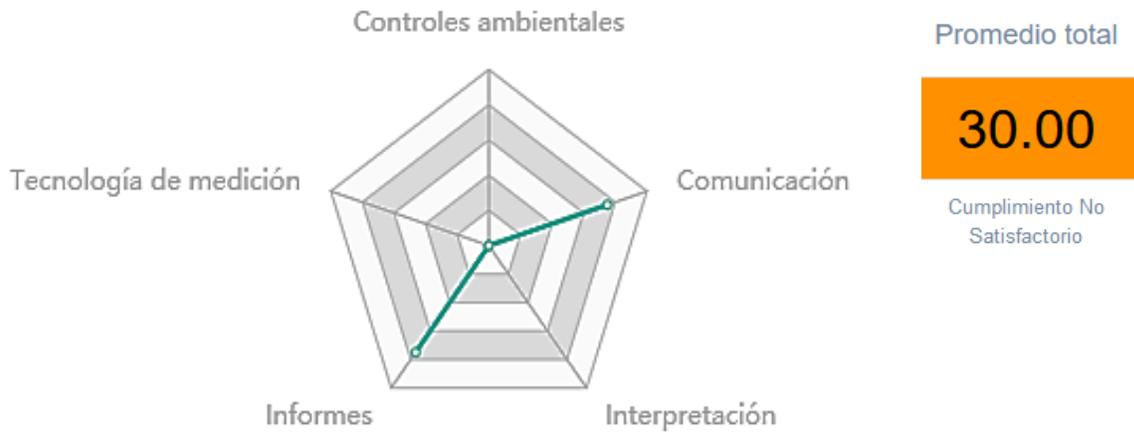


Figura A.32. Empresa 4: Gestión de la información

Tabla A.28. Empresa 4: Notas y status gestión de la información

Aspecto	Nota máxima	Nota	Status
Controles ambientales	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Tecnología de medición	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Informes	100	75.00	Cumple Totalmente
Interpretación	100	0.00	Cumplimiento Nada Satisfactorio
Comunicación	100	75.00	Cumple Totalmente

B. Anexo 2: Análisis técnico para la implementación de paneles solares (Propuesta 1)

Según la propuesta 1, se desea reducir la facturación en un 50%. Tomando de base el consumo promedio mensual cuando la empresa se encuentra operando en condiciones normales es 4662.504 kWh, por lo que se espera disminuir aproximadamente el consumo de 2331.25 kWh. En primer lugar, se debe calcular la potencia de DC de entrada. Para esto se ocupa la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia DC de entrada} = \text{Energía anual AC} / Yf$$

Dónde,

Yf: Índice de producción anual que para El Salvador tiene un valor de 16000 kWh/kWp y la energía anual en AC es el 50% de la energía que se desea producir al año.

En la Tabla B.1. se presentan los valores de reducción que se esperan para este proyecto.

Tabla B.1. Valores para reducción

Valores para reducción			
Yf anual	1600.00	Yf mensual	133.33
Demanda anual (kWh/año)	55950.05	Demanda mensual (kWh/mes)	4662.50
Consumo a reducir anual (kWh/año)	27975.02	Consumo a reducir mensual (kWh/mes)	2331.25
Potencia DC de entrada (kWp)	17.48	Potencia DC de entrada (kWp)	17.48

Con la potencia DC de entrada, se procede a diseñar el sistema fotovoltaico, para ello también necesitamos los datos meteorológicos de la ciudad de San Salvador. Estos datos meteorológicos se detallan por encima de un mapa geográfico de San Salvador en la Figura B.1.

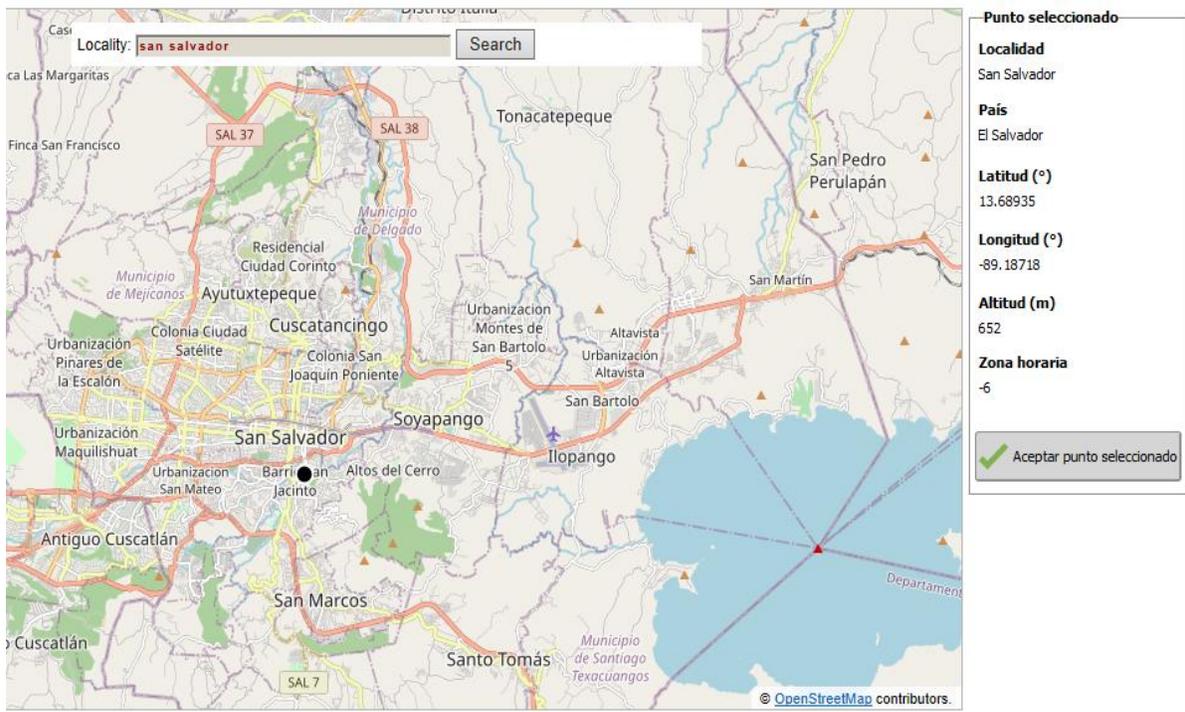


Figura B.1. Mapa meteorológico de la ciudad de San Salvador

El diseño se va a considerar con temperaturas del terreno de trabajo, máxima de 35°C y mínima de 10° C. La orientación de los paneles es de 10° de inclinación y 0° de azimut. Para este sistema se eligieron los módulos fotovoltaicos HIKU-Canadian Solar 375w y para el inversor se seleccionó el Sunny tripower-SMA 33US.

Se tomó la decisión de ese inversor ya que, este tiene que ser capaz de convertir la energía en DC que se establece para suplir el 50% de la demanda total que será generada por los módulos fotovoltaicos, además que preferiblemente la potencia no sobrepasará el 60% de la capacidad del inversor por si en algún momento se decide aumentar la generación y llegar a cubrir el 60 o hasta el 70 por ciento.

Según las especificaciones del inversor Sunny tripower-SMA 33US este tiene que tener una cierta cantidad de “cadenas” que son líneas de módulos fotovoltaicos conectados en serie. Estas series luego son conectadas al inversor en paralelo. Por lo que al analizar los de los módulos fotovoltaicos en cadena según los datos de voltaje de arranque del inversor y del voltaje máximo en DC. En la Figura B.2 se muestra un diagrama unifilar

hecho en AutoCad donde se muestra la configuración de las cadenas de MFV conectadas al inversor.

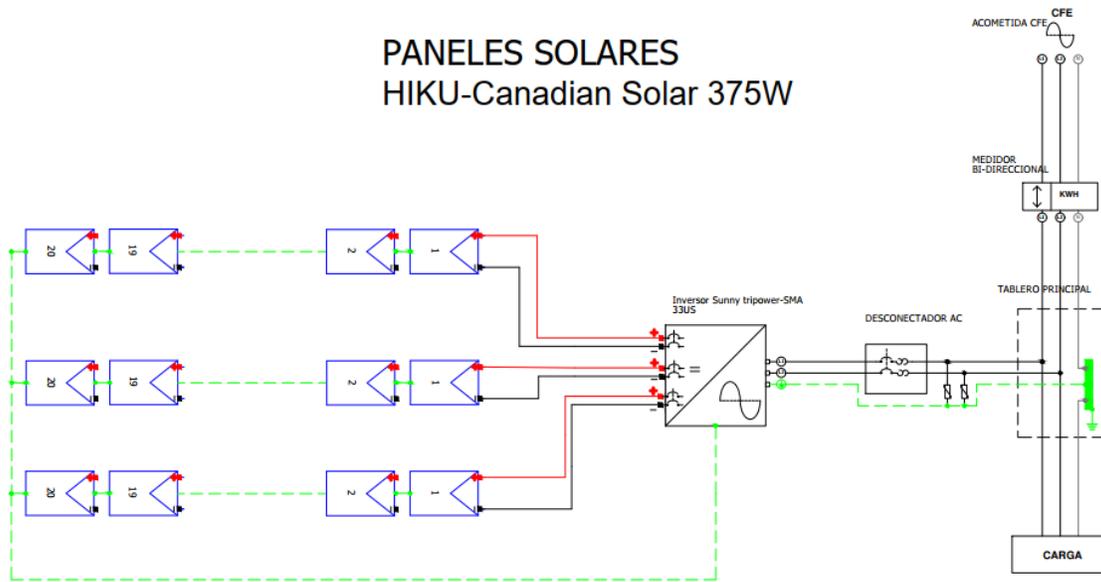


Figura B.2. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

Con la configuración ideal para este sistema se procede a calcular la producción anual de energía eléctrica. Para esto se debe calcular kWh que se producen mensualmente, por lo que será necesario detallar los datos por cada mes ya que estos cambian por la posición del sol y las condiciones meteorológicas. En la Tabla B.2 se detallan los datos de irradiancia horizontal, irradiancia a 13° (ya que el salvador se encuentra a latitud 13), temperatura máxima, factor K a 13° y potencia máxima del MFV (la potencia que brindaría el MFV para la irradiancia en ese mes).

Tabla B.2. Datos mensuales para cálculo de potencia generada

Mes	k (13°)	Irradiancia Horizontal	Irradiancia a 13°	Ta (máxima)	Tc	Potencia máx del panel
Enero	1.08	5.03	5.43	30.00	61.25	327.42
Febrero	1.05	5.52	5.80	31.00	62.25	326.11
Marzo	1.01	6.08	6.14	31.00	62.25	326.11
Abril	0.97	5.77	5.60	31.00	62.25	326.11
Mayo	0.93	5.19	4.83	30.00	61.25	327.42
Junio	0.92	5.23	4.81	29.00	60.25	328.73

Continúa...

Tabla B.2. Datos mensuales para cálculo de potencia generada (Continuación)

Julio	0.93	5.89	5.48	30.00	61.25	327.42
Agosto	0.97	5.64	5.47	29.00	60.25	328.73
Septiembre	1.02	4.87	4.97	29.00	60.25	328.73
Octubre	1.07	4.75	5.08	29.00	60.25	328.73
Noviembre	1.10	4.98	5.48	29.00	60.25	328.73
Diciembre	1.10	4.77	5.25	29.00	60.25	328.73

Con los datos de la tabla anterior es posible calcular los kWh produce el sistema fotovoltaico diariamente. En la Tabla B.3 se especifica detalladamente cuanta potencia se produce por mes y el total que se produce al año.

Tabla B.3. Producción mensual y anual del sistema fotovoltaico

Mes	Producción diaria de paneles	Producción diaria de las cadenas de MFV (kWh/día)	Producción diaria del inversor (kWh/día)	Producción mensual (kWh/mes)
Enero	1778.69	106.72	69.30	2078.98
Febrero	1890.13	113.41	73.64	2209.24
Marzo	2002.57	120.15	78.02	2340.67
Abril	1825.20	109.51	71.11	2133.35
Mayo	1580.37	94.82	61.57	1847.18
Junio	1581.74	94.90	61.63	1848.78
Julio	1793.52	107.61	69.88	2096.32
Agosto	1798.44	107.91	70.07	2102.07
Septiembre	1632.96	97.98	63.62	1908.65
Octubre	1670.79	100.25	65.10	1952.87
Noviembre	1800.81	108.05	70.16	2104.84
Diciembre	1724.87	103.49	67.20	2016.08
Producción anual (kWh/año)				24639.03
Energía promedio mensual (kWh/año)				2053.25

De la tabla anterior se puede resaltar que el sistema anualmente produce 24,639.03 kWh dato que no difiere mucho de 27,975.02 kWh/año que era la potencia meta que se deseaba producir. Es decir que se estaría produciendo el 44% de la energía eléctrica.

C. Anexo 3: Metodología de identificación de plásticos bromados

Se propone una metodología de identificación de plásticos bromados según el documento de *Manual Práctico para procesamiento de plásticos de RAEE* del EMPA o Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology.

A continuación se realiza una descripción de la metodología utilizada.

Reactivos:

- Limoneno
- Acetona pura
- Agua

Materiales:

- Martillo
- Guantes de nitrilo
- Guantes de latex
- Hidrómetro

Descripción de la metodología

Se tomara una muestra representativa de los plásticos recolectados por la empresa recicladora a estudiar. Para la identificación de plásticos bromados se usará como indicador la Tabla C.1, donde especifica que los plásticos que tienen potencial de contenido de bromo son los ABS o HIPS.

Tabla C.1. Tipos de ABS con potencial contenido de bromo

Aparato	ABS	HIPS	PP	PS	PE	ABS+PC	PVC
Pantallas TRC	X	X				X	
Pantallas planas	X	X				X	
Equipos TI	X	X				X	
Grandes electrodomésticos	X	X					
Aparatos de enfriamiento y congelación	X	X	X	X			
Aparatos electrónicos pequeños	X	X	X	X			
Cables					X		X

Nota: Se representa con una "x" color rojo para indicar aquellos que tienen potencial de elevados niveles de bromo en su composición.

A continuación se especifican los pasos a seguir para llevar a cabo la metodología:

1. Recolección de la muestra representativa
2. Realizar prueba de limoneno.¹
 - A. Reacciona (Se vuelve pegajoso el material)
 - 2.1. Realizar prueba de ruptura.²
 - a. Se dobla el material: Plástico HIPS
 - b. Se rompe el material: Plástico PS
 - 2.1.1. Realizar prueba de agua salada 1.1 kg/L.³
 - i. Se hunde: **Plástico HIPS con contenido de Bromo**
 - ii. Flota: Plástico HIPS libre de Bromo
 - B. No reacciona
 - 2.2. Realizar prueba de acetona.⁴
 - a. Reacciona poniendo el material pegajoso sin deposito blanco: Plástico ABS
 - b. Otro resultado de la prueba: Otro tipo de plástico
 - 2.2.1. Realizar prueba de agua salada 1.1 kg/L³
 - i. Se hunde: **Plástico ABS con contenido de Bromo**
 - ii. Flota: Plástico ABS libre de Bromo

¹Prueba de limoneno

Agregar 3 gotas de limoneno a la muestra, esperar de 2-3 segundos y esperar la reacción en el material.

²Prueba de ruptura

Colocar la muestra sobre una superficie plana y estable, golpear suavemente el material con un martillo o con una herramienta de manera que el material responda a la fuerza.

³Prueba de agua salada 1.1 kg/L

La cantidad de agua salada dependerá del tamaño de los plásticos con los que se realicen las pruebas. Por cada litro de agua agregar 150g de NaCl (sal de mesa).

⁴Prueba de acetona

Agregar 3 gotas de acetona a la muestra, esperar de 2-3 segundos y esperar la reacción en el material. Para identificar plástico ABS es necesario que el material se ponga pegajoso sin que genere un depósito blanco.

Resultados del análisis de las pruebas preliminares de la metodología de identificación de plásticos

Durante el desarrollo del trabajo de investigación se realizó una prueba de efectividad de la metodología presentada anteriormente.

Se tomó una muestra representativa de 2kg de plásticos provenientes del desensamblaje de RAEE de una empresa recicladora de El Salvador. La muestra se caracterizó según la Tabla C.2.

Tabla C.2. Caracterización de muestras utilizadas en la metodología

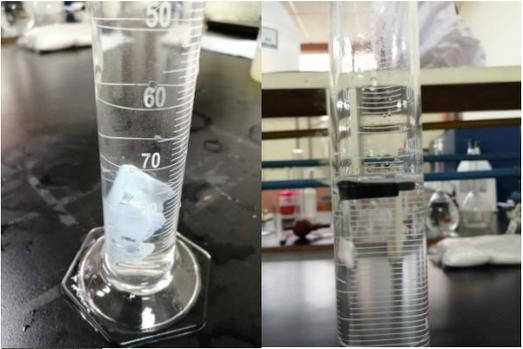
N°	Etiqueta ISO	Color	RAEE del que proviene
1	> ABS- FR(17) <	Blanco	Fotocopiadora
2	>ABS<	Negro	Impresora
3	>PC+ABS<	Negro	Dispositivo POS
4	>ABS-FR(17)<	Blanco	Fotocopiadora
5	>PC+ABS<	Negro	Impresora
6	>PC FR (65) K <	Transparente / Celeste	Fotocopiadora
7	> PC+ABS - (TD+MD) 5FR(40)<	Celeste	Fotocopiadora
8	>PS-HI < AEA	Negro	Impresora
9	>PS-HI <	Blanco	Impresora

A continuación, se presenta un resumen del análisis de resultados:

Es de recordar que según se mencionó en el capítulo 3, la etiqueta ISO de los plásticos menciona información importante de los mismos, en este caso, el tipo de plástico y en el caso de presentar el término “FR” se indica la presencia de plástico con retardante de llama. Sin embargo, a pesar de tener las etiquetas ISO de los plásticos se decidió realizar la metodología para comprobar la efectividad de la misma.

De las pruebas de identificación realizadas en la Tabla se presentan los comentarios y valoraciones:

Tabla C.3. Valoraciones de pruebas para identificación de plásticos

Prueba	Comentarios	
<p>Prueba de limoneno</p>	<p>Según la metodología se debía de utilizar el reactivo limoneno para estas pruebas, sin embargo, no se logró conseguir el reactivo (lo cual ya presenta un punto en desventaja para esta prueba), por lo que se utilizó como sustituto “jugo de limón” puro ya que contiene limoneno en su composición.</p>	 <p>La prueba de limoneno en este caso no dio ningún resultado concluyente, ya que ningún plástico tuvo reacción con el limoneno o al menos no se pudo observar.</p>
<p>Prueba de acetona</p>	<p>En el caso de la acetona se decidió realizar la prueba con 2 tipos diferentes: acetona comercial y acetona pura. En el caso de la acetona comercial (plástico de la derecha) no se pudo observar ningún tipo de reacción en los plásticos, mientras que con la acetona pura si se obtuvieron los resultados esperados. La desventaja de esta prueba es que para utilizar acetona pura se necesita de un permiso especial para su manejo, lo cual requeriría un proceso adicional para las empresas recicladoras.</p>	 <p>Prueba de acetona en 2 plásticos del mismo RAEE, a la izquierda reacciona con la acetona pura resultando un depósito blanco en la superficie.</p>
<p>Prueba de ruptura</p>	<p>Las pruebas de ruptura resultaron ser muy valiosas en la investigación, ya que se pudo hacer fácilmente una identificación cualitativa según el plástico se “doblaba” o “quebraba”.</p>	
<p>Prueba de densidad (agua salada)</p>	<p>La prueba consistía en realizar una salmuera de densidad 1.1 kg/L, se estimó que para 500ml se ocupó aproximadamente 91g de sal común. Para obtener la densidad de la salmuera se utilizó un hidrómetro.</p> <p>La desventaja de esta prueba podría ser la exactitud de la densidad que debe tener la salmuera, ya que por una pequeña diferencia de densidad del agua puede alterar la prueba significativamente. En ese sentido, la empresa debería tener personal calificado para realizar las pruebas de densidad correspondientes y que además se tenga un buen uso del hidrómetro.</p> 	

Según los resultados de la metodología y con la ayuda de las etiquetas ISO para identificación de plásticos se obtuvieron los datos presentados en las Tablas C.4. – C.

En la Tabla C.4 se observa el porcentaje con retardante de llama que se encontró por cada tipo de plástico.

Tabla C.4. *Porcentaje de retardante de llama por tipo de plástico*

Presencia de retardante de llama según tipo de plástico	Porcentaje encontrado por cada tipo de plástico (%)
ABS	66.67
PC+ABS	33.33
PC	100.00
PS-HIPS	0.00

Otra diferenciación de relevancia se muestra en la Tabla C.5 donde se muestran los resultados de la identificación de plásticos con contenido de bromo según el color.

Tabla C.5. *Porcentaje de retardante de llama según color*

Clasificación según color	Porcentaje de RAEE que contiene retardante de llama
Negro	0.00
Blanco	66.67
Otro	100.00

En general, el porcentaje de plásticos con retardante de llama fue de aproximadamente 44.4%, lo que supone casi la mitad de la muestra analizada, además se encontró que 2/3 del plástico ABS tiene contenido de bromo y que las muestras que presentan mayor tendencia a poseer retardantes de llama son las que poseen colores diferentes al negro.

En conclusión, se afirma que la metodología de identificación de plásticos resulta efectiva cuando se ocupan los reactivos necesarios, por lo que es una propuesta técnicamente factible.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 1 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

D. Anexo 4: Propuesta de guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador

1. OBJETO

La presente propuesta de guía técnica pretende ser herramienta de orientación para todo tipo de empresas y/o personas naturales que se dediquen a la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), además de presentar alternativas de producción más limpia para sus procesos, ya sea para el inicio o continuidad de una correcta gestión, tomando en cuenta el aspecto ambiental y técnico.

2. ALCANCE

Esta propuesta de guía técnica va dirigida a profesionales, personal técnico especializado en el área, investigadores, personal vinculado al sector, estudiantes y público en general que esté interesado en la gestión de RAEE.

3. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de residuos en El Salvador es un área de suma importancia y del cual dependen muchas personas participantes en la gestión de los mismos. La industria del reciclaje ha ido creciendo considerablemente en la última década y por supuesto que la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) que ha tenido un crecimiento por los avances tecnológicos, ha contribuido que surjan más personas y empresas interesadas en el reciclaje de RAEE.

Como cualquier proceso industrial, la gestión de RAEE conlleva a beneficios (de orden económico y ambiental) así como algunos aspectos peligrosos para la salud y el medio ambiente en caso que no se gestionen de manera adecuada.

Es de hacer notar que se tuvo mayor énfasis en aquellas empresas cuya cantidad de residuos es mayor, ya que, como se verá en esta guía, son estas empresas las que generan mayor impacto ambiental. Sin embargo, este documento constituye una base para los principales gesto-

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 2 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

res de RAEE en El Salvador, desde los pequeños recolectores hasta las empresas recicladoras que procesan cantidades considerables de estos residuos.

4. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

Almacenamiento temporal: acción de resguardar temporalmente RAEE, en bodegas autorizadas, para su posterior aprovechamiento mediante gestores autorizados.

Aparatos Eléctricos y Electrónicos: son aquellos aparatos que necesitan para funcionar corriente eléctrica o campos electromagnéticos destinados a ser utilizados con una tensión nominal en corriente alterna o continua, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir esas corrientes y campos.

Aprovechamiento: todo proceso industrial y/o manual, cuyo objetivo sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los RAEE, garantizando el bienestar de las personas y el medio ambiente.

Disposición final: es la operación final controlada y ambientalmente adecuada de los desechos, según su naturaleza.

Exportación: proceso mediante el cual los RAEE son enviados fuera del territorio nacional, bajo las autorizaciones correspondientes.

Gestión integral: conjunto de operaciones y procesos encaminados a la reducción de la generación, segregación en la fuente y de todas las etapas de la gestión de los desechos y residuos, hasta su disposición final.

Gestor: persona natural o jurídica, pública o privada, encargada de la gestión total o parcial de los RAEE, y autorizada conforme a lo establecido en las leyes y sus reglamentos.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 3 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Gestor de residuos: persona natural o jurídica, pública o privada que realiza cualquiera de las operaciones de manejo de residuos propios o de terceros y que se encuentra autorizada de conformidad a la normativa vigente.

Generador de residuos: persona natural o jurídica, pública o privada, que produce todo tipo de residuos derivados de sus actividades. Los consumidores también son generadores de residuos como resultado del consumo de bienes.

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos: Aparatos que ya no puedan ser usados para el fin que han sido creados; por obsolescencia o recambio tecnológico; cuando su poseedor toma la decisión de descartarlo, dejarlo o sufrir daños de cualquier tipo.

Reciclaje: proceso que sufre un material o producto para ser incorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.

Residuo: es todo tipo de material, orgánico o inorgánico, sólido, líquido o gaseoso, que el generador abandona, rechaza o entrega y que puede ser o no susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien.

Residuo peligroso: son aquellos en estado sólido, líquido o gaseoso que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contienen agentes biológicos infecciosos que les confieran peligrosidad.

AEE: Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

COP: Compuestos Orgánicos Persistentes.

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

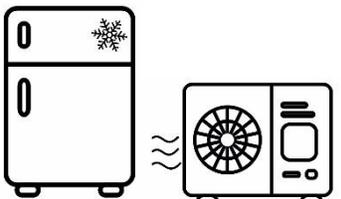
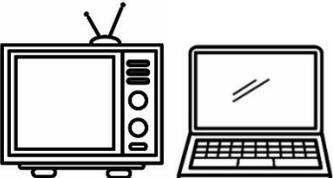
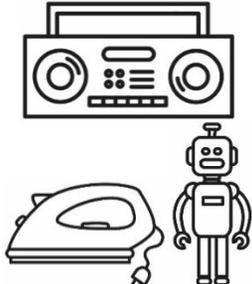
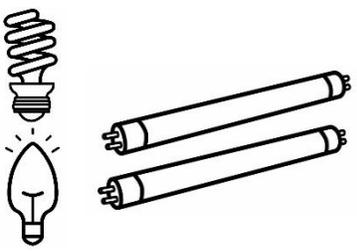
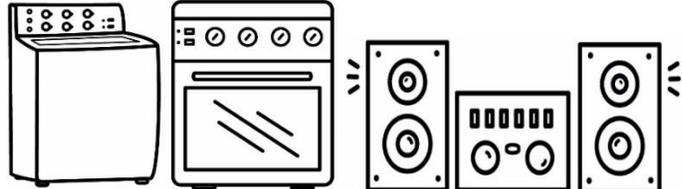
UE: Unión Europea.

5. ANTECEDENTES

Según el MARN, el término de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), se refiere a los aparatos y equipos dañados, descartados, obsoletos o en desuso que utilizan electricidad o una fuente de energía para su funcionamiento.

En el año 2012 la UE propuso la categorización actualizada, (la cual se utilizará en esta guía técnica) que se muestra en la Tabla I, esta caracterización se realizó considerando su naturaleza, tamaño y volumen; además busca facilitar la recolección y separación de fracciones de RAEE en etapas futuras del proceso de gestión.

Tabla I. Clasificación de tipos de RAEE en recicladoras, según UE

1. Aparatos de intercambio de temperatura		4b. Paneles solares	
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ²		5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)	
3. Lámparas		6. Aparatos de informática y telecomunicación pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm)			

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 5 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

6. POLÍTICAS Y CUMPLIMIENTO LEGAL AMBIENTAL PARA EMPRESAS EN EL SALVADOR

Actualmente las acciones para el correcto manejo de RAEE se realizan bajo algunas normas internacionales, estas normas o convenios están enfocados al tratamiento y gestión de sustancias peligrosas como son: Basilea, Estocolmo y Rotterdam, todos ratificados por El Salvador. Sin embargo, El Salvador aún no cuenta como tal con una política que regule los RAEE propiamente, sin embargo, se tienen un conjunto de leyes relacionadas con esta temática, y con la gestión de residuos en general, como se observa en la Tabla II.

Tabla II. Normativa salvadoreña relacionada con gestión de RAEE

Normativa	Artículos / Capítulos aplicables a RAEE
Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente	En su título IV: Art.64 Art.74
Ley Integral de Gestión de Residuos y fomento al Reciclaje	Art. 6 Art. 9 Art.10 Art. 28 Art. 29
Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos	Capítulo IV: Art. 23

En cuanto al cumplimiento legal, para que una empresa recicladora pueda establecerse debidamente en El Salvador debe cumplir con cierta documentación para dar inicio a sus operaciones. En el ANEXO I se lista la documentación que necesita según la *Guía técnica para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en El Salvador*.

Además, el documento de *Lineamientos técnicos para el adecuado manejo de los Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)* posee un conjunto de normativas para el inicio de operaciones y mantenimiento del sistema de gestión de RAEE, junto con especificaciones técnicas para las instalaciones, personal que labora en las empresas recicladoras, entre otros lineamientos técnicos de interés, por lo que el ANEXO II consta de una lista resumen de estos requerimientos básicos de operación.

7. CUANTIFICACIÓN DE RAEE GESTIONADOS

Para iniciar la correcta gestión en una empresa recicladora, se es necesario establecer una línea base de RAEE que se reciben en las instalaciones de la empresa, así como cuantificar el tipo y naturaleza de dichos materiales procesados. En la Figura I se muestra la caracterización preliminar de los RAEE procesados en El Salvador para el año 2019:

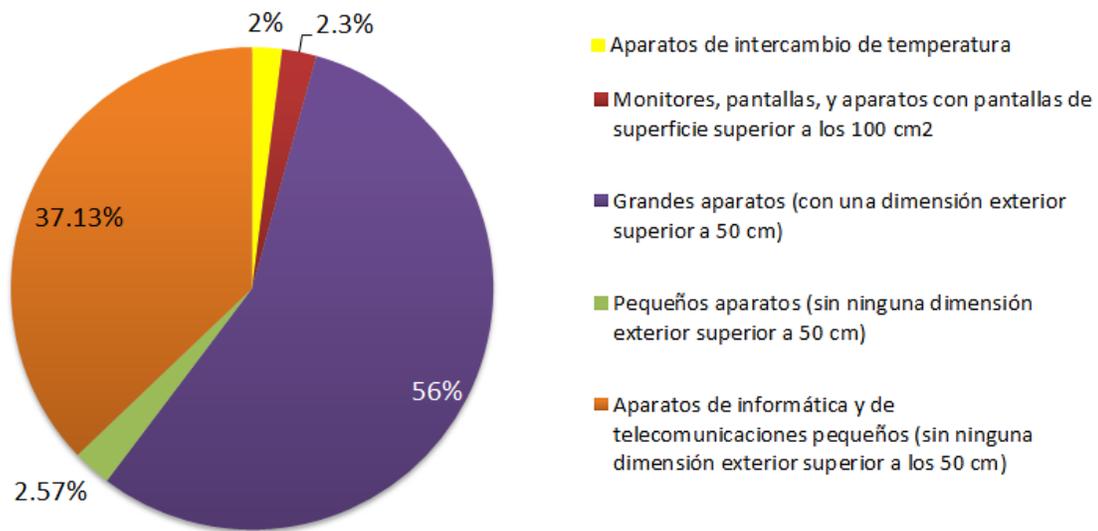


Figura I. Tipos de RAEE procesados 2019

Como se observa en el gráfico, de las 6 categorías presentadas anteriormente, la categoría de “lámparas” no es procesada en las recicladoras de El Salvador hasta la fecha.

Las proyecciones realizadas por el Centro de Producción más Limpia (CNPML) para el año 2019 estiman que la generación de RAEE generado para el año 2019 fueron de aproximadamente 34mil ton/año. En la Tabla III se presenta la estimación de la cantidad de RAEE gestionado por las grandes empresas recicladoras, así como el índice de recogida con respecto a la cantidad anual de RAEE generada por la población salvadoreña.

Tabla III. Estimaciones de índice de recogida de RAEE en El Salvador

País	RAEE generados (ton)	RAEE recogidos y reciclados formalmente (ton)	Índice de recogida (%)
El Salvador	34,354.3	518.36	1.51

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 7 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Es por ello, que surge la importancia que toda empresa gestora de RAEE tenga el control (cualitativo y cuantitativo) de los residuos que manejan, ya sean pequeñas o grandes cantidades, además de tener un registro de los materiales recuperados y los desechados en dicho proceso. Además, se lograría definir el impacto ambiental y socioeconómico que generan este tipo de residuos en la sociedad salvadoreña.

El ANEXO III muestra un formato para dicha cuantificación y clasificación de los datos. En general, este formato es una guía para que las empresas tengan un control interno y estadístico del volumen total de RAEE recibido por año, además del destino de ellos para su posterior gestión y/o disposición final de los mismos. A la vez permite describir la categorización de los RAEEs recibidos y que operaciones se realizan para su correcta gestión dentro de la empresa.

8. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE ETAPAS DE TRABAJO ACTUAL

En todo proceso productivo es importante identificar las etapas que lo rigen, así como el flujo de materiales que se manejan. Es por ello que se ha diseñado un modelo de flujo de trabajo con todas las etapas posibles que pueden darse en una empresa recicladora de RAEE en El Salvador.

Se debe tomar en cuenta que, no es necesario que se realicen todas las etapas del proceso descrito a continuación, sino que las etapas que se tengan dependerán del enfoque y metas de la empresa, así como también será de vital importancia el permiso ambiental bajo el cual se tengan registradas las actividades realizadas.

En caso de que sea una empresa informal, esta descripción de trabajo también puede servir de base para la búsqueda de la mejora continua de su proceso y sobretodo para identificar si se están gestionando los RAEE recibidos de manera adecuada y sin riesgo ambiental o riesgos relacionados a la salud humana.

En la Figura II el proceso de gestión inicia desde la recepción de los RAEE, siguiendo con su clasificación y posterior desensamble de piezas (está etapa no es fija, como se explicó ante-

riormente), se concluye el proceso con su disposición final, ya sea, reciclaje, tratamiento interno o exportación.

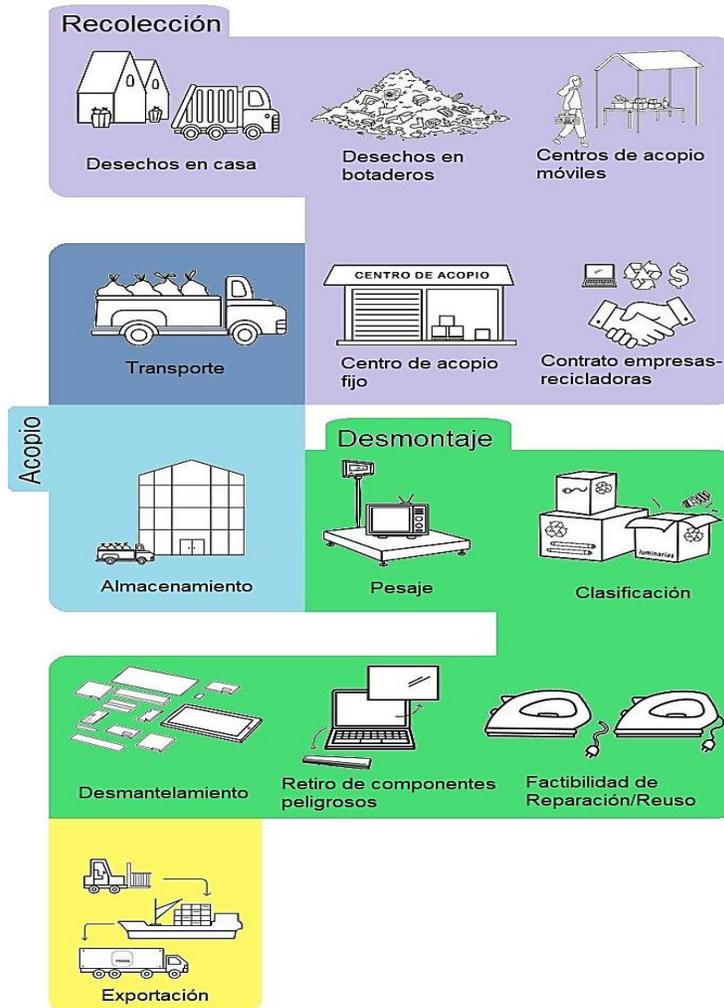


Figura II. Etapas de proceso de gestión de RAEE.

9. IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

De acuerdo a la metodología de PML se es de vital importancia conocer los aspectos e impactos principales de las actividades desarrolladas en el proceso, en este caso del proceso de gestión de RAEE realizado por las recicladoras.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 9 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

En ese sentido y con la información presentada referente a las etapas del proceso de gestión de RAEE, se han logrado identificar los impactos ambientales. Se tomaron de base para la gestión de RAEE 8 etapas principales de gestión, las cuáles son:

- Recolección
- Transporte
- Almacenamiento
- Pesaje
- Clasificación
- Desmantelamiento
- Exportación
- Disposición final

Estas etapas están relacionadas directamente según se describió en la Figura II que se presentó anteriormente. Se consideraron de esa manera debido a que describen en líneas generales el funcionamiento básico de cualquier empresa gestora de RAEE en El Salvador, ya sea del sector formal o informal.

Se presenta la Figura III donde se han descrito las causas (aspectos significativos) de los posibles impactos al medio ambiente y/o salud humana que se tiene por actividad.

Como se puede observar en la Figura III, las empresas que no contemplan el desmantelamiento de RAEE disminuyen considerablemente sus impactos ambientales, sin embargo siempre se tiene riesgo de contaminación de suelo y agua, bioacumulación de componentes COP, entre otros.

En la etapa de desmantelamiento, la cual realizan la mayoría de empresas del sector informal se adicionan impactos ambientales como contaminación por desechos peligrosos, es decir, aquellos residuos que no pueden recuperarse y/o reciclarse.

En general, estos residuos peligrosos no pueden tratarse directamente en El Salvador y además en su mayoría, no pueden ser exportados hacia países que puedan gestionarlos de manera adecuada por lo que están siendo únicamente almacenados.

Por último, se debe tomar en cuenta el grave impacto al ser humano, tanto a los trabajadores de las empresas gestoras como a aquellos recolectores informales que están en contacto directo con los componentes peligrosos mencionados.

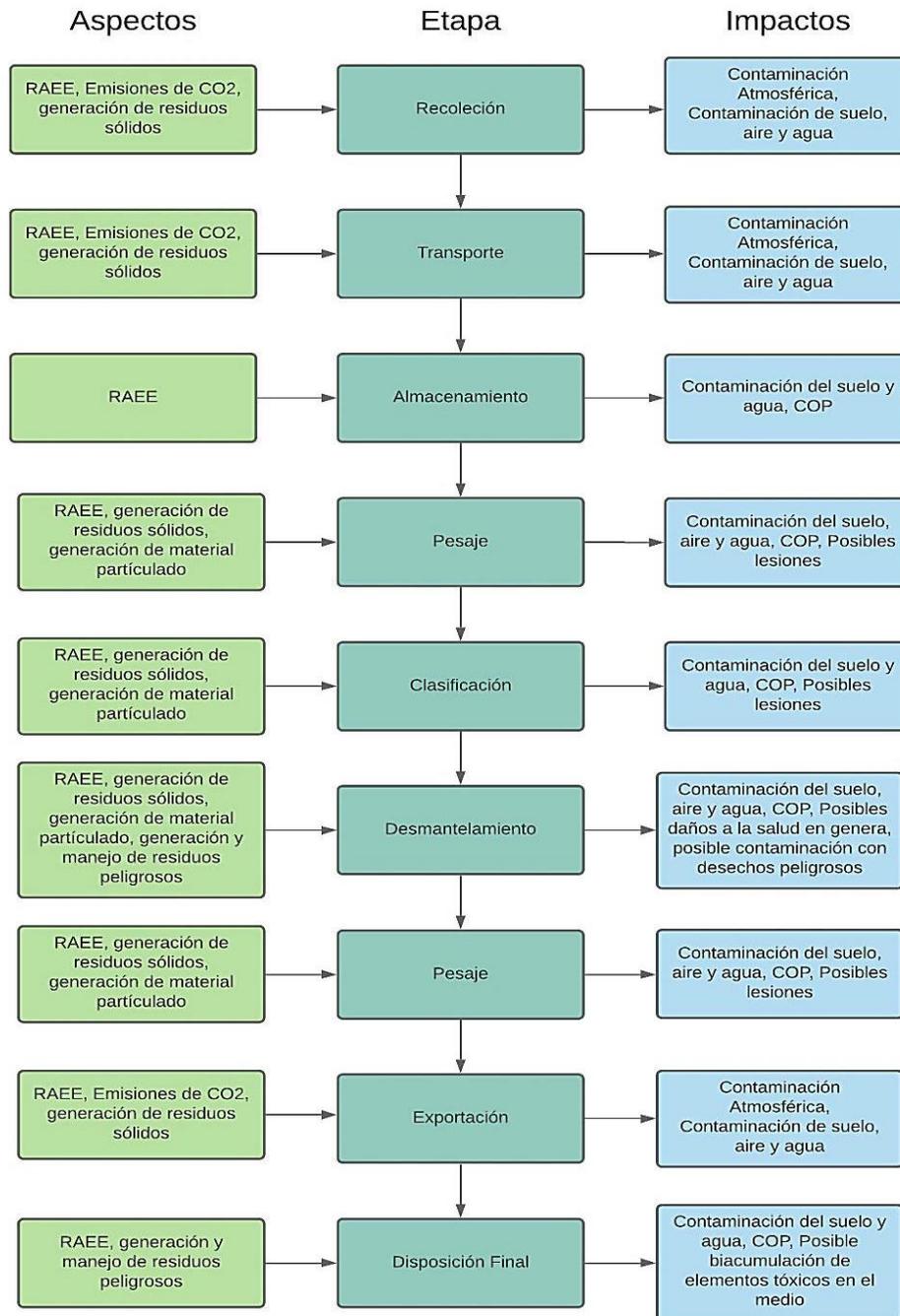


Figura III. Identificación de aspectos e impactos del proceso de reciclaje de RAEE

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 11 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

10. OPCIONES DE PML PARA EMPRESAS RECICLADORAS

Según los resultados de la investigación realizada, las principales oportunidades de mejora de una empresa recicladora promedio en El Salvador son:

10.1. Identificación de fracciones de RAEE (plásticos) que pueden contener COP

Los plásticos COP son productos químicos que poseen ciertas propiedades tóxicas y que son resistentes a la degradación. Los COP, tal como se describió en la sección anterior de esta guía, son uno de los principales aspectos que afectan al medio ambiente con respecto a la gestión de RAEE, ya que estos afectan en mayor medida al medio ambiente y además presentan un factor de bioacumulación alto, el cuál a mediano y largo plazo puede presentar efectos negativos en la salud humana.

Debido a ello, es necesaria una identificación cualitativa de estos plásticos. Como recomendación general, es necesario resaltar que esta identificación cualitativa puede hacerse rápidamente mediante la lectura de su viñeta de los plásticos.

De acuerdo con la norma ISO 11469, las partes de plástico que pesen más de 100 gramos deberían estar marcadas de forma visual. Estas marcaciones a veces son difíciles de encontrar e interpretar, pero pueden proporcionar información útil. Una marcación completa consta de 4 términos que indican el tipo de plástico, los materiales de relleno (cargas), plastificantes y retardantes de llama.

Sin embargo, para los alcances de esta guía, se tomará principal importancia únicamente al tipo de plástico y si contiene retardantes de llama (plásticos bromados). Para ello de manera simplificada se entenderá que cualquier etiqueta que indique el término “FR” se identificará como plástico con contenido de COP.

En la Figura IV se muestra la viñeta de un plástico con contenido de COP, la fotografía fue tomada directamente de un conjunto de RAEE de una recicladora.



Figura IV. Viñeta plástico de RAEE

Para la identificación del tipo de plástico, en la siguiente Tabla III se muestran las abreviaturas utilizadas para los principales tipos de plásticos:

Tabla IV. Tipos de plásticos y abreviaturas

Abreviatura	Tipo de plástico
HIPS	Poliestireno de alto impacto
PS	Poliestireno
PC	Polycarbonato
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PVC	Policloruro de vinilo

*Algunos plásticos pueden ser combinaciones de 2 o más tipos.

Por otra parte, se sabe que no todos los plásticos procesados van a tener la etiqueta ISO, por lo que se necesita una opción para realizar una identificación cualitativa. Para ello, se ha descrito un proceso básico, el cuál debe ser incorporado en los procesos de gestión de RAEE para minimizar el impacto que generan.

En la siguiente Figura V se muestran algunas pruebas que deben ser realizadas para la identificación de plásticos bromados.

La metodología completa se encuentra en el ANEXO IV, así como la descripción de las pruebas para identificación cualitativa de los plásticos bromados (que sólo pueden ser de tipo HIPS o ABS).

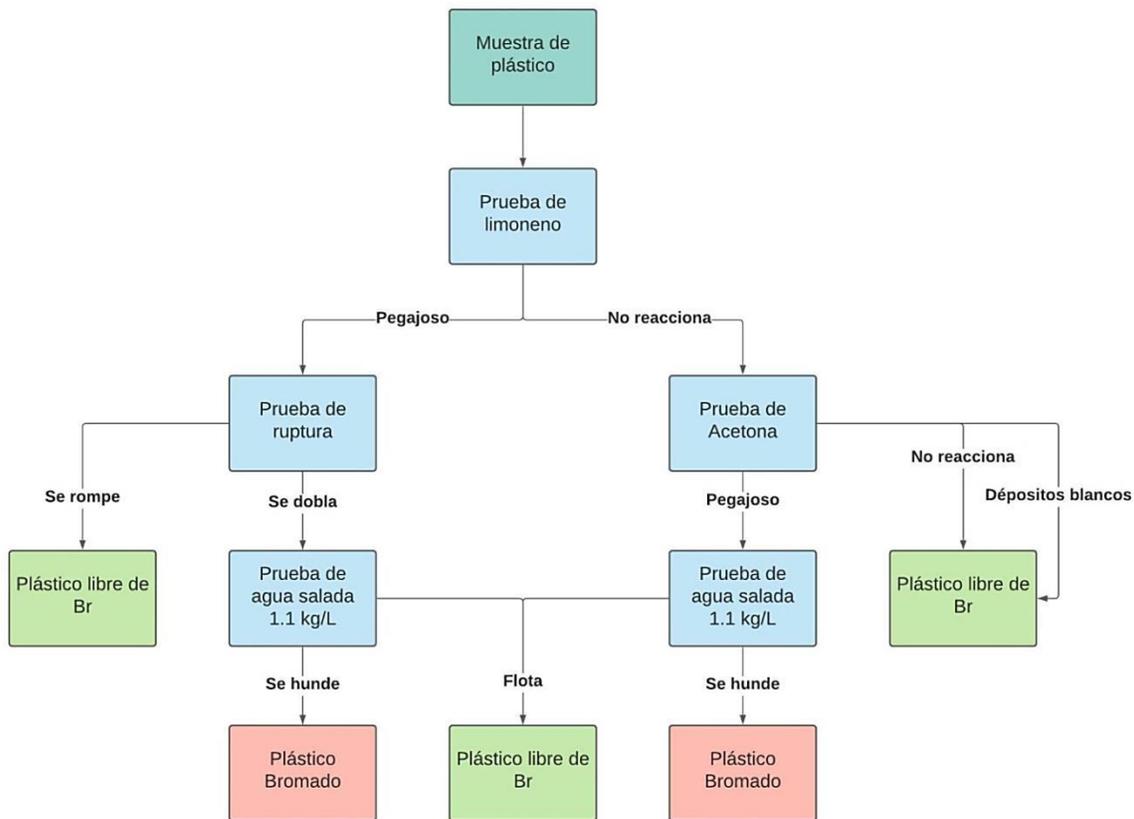


Figura V. Metodología para identificación de plásticos bromados

10.2. Implementación de máquina pelletizadora

Según la información brindada por algunas recicladoras, se sabe que los plásticos provenientes de RAEE se reciclan en “pacas” y únicamente clasificándolos ya sea por tipo de RAEE o por color.

La propuesta de la máquina pelletizadora de plásticos debe ir en conjunto con la identificación de plásticos bromados, ya que, no es posible hasta el momento reciclar o tener un aprovechamiento económico de los plásticos bromados.

Para implementar una máquina peletizadora sería necesario en primer lugar, separar correctamente todos los plásticos gestionados, luego excluir del proceso a los plásticos con contenido

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 14 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

de COP y finalmente aquellos plásticos que tengan valor en el mercado serán dispuestos a pelletizar para tener una valoración económica más rentable.

El tipo de maquina pelletizadora a implementarse en cada recicladora deberá ser evaluada dependiendo de la cantidad de plásticos gestionados para determinar si es factible o no, además de poder determinar el dimensionamiento adecuado de la máquina.

Nuevamente se resalta la importancia de la cuantificación de los tipos de RAEE procesados, así como el porcentaje de componentes o tipo de materiales gestionados en el proceso de reciclaje.

10.3. Separación de materiales ferrosos aprovechables

Actualmente en El Salvador, se aprovecha sólo el material ferroso y no ferroso contenido en cantidades considerables en las partes de carcasas de los RAEE, sin embargo, existen pequeñas cantidades de estos materiales aprovechables que no son gestionadas debido a que no se tiene la metodología adecuada para realizar dichas actividades.

10.4. Capacitación del personal

Es importante resaltar que las propuestas de PML presentadas anteriormente en este apartado deben estar acompañadas directamente con la capacitación del personal a cargo de realizar las actividades dentro de las empresas recicladoras.

En términos generales esta propuesta está implícita si se desea implementar cualquiera de las anteriores, sin olvidar considerar la capacitación de los lineamientos de seguridad ocupacional que deben tener los empleados en cuestión.

10.5. Medidas de ecoeficiencia en instalaciones

Como toda actividad industrial y administrativa, se tiene un impacto medioambiental directo proveniente del uso de los recursos naturales como energía, agua y generación de residuos por lo que, cada empresa recicladora debe implementar medidas de ecoeficiencia en sus políticas ambientales.

11. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE RAEE

Como se ha ido mencionando a lo largo de toda la guía técnica, la gestión de RAEE comprende una gran variedad de procesos entre los cuales las empresas recicladoras van aprovechando ciertos componentes que tienen valor en el mercado mientras que otros componentes son almacenados o dispuestos como desechos en los vertederos municipales.

A continuación, se muestran las alternativas de gestión en general para los RAEE junto con la priorización de su implementación, iniciando con la reparación y reuso como primera opción.



Siguiendo esta línea y ya que se cuentan con datos preliminares de los principales RAEE generados en El Salvador, en la Tabla se proponen a continuación algunas alternativas de tratamiento diferentes para algunos tipos de RAEE identificados.

Tabla V. Alternativas de gestión para RAEE (sin contenido de COP)

RAEE	Alternativa
Computadoras	i. Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano). ii. Reacondicionamiento iii. Almacenamiento de equipos en Los desuso en los hogares. iv. Desensamble manual completo. Reciclaje, recuperación y/o exportación de residuos.
Periféricos de las TIC	i. Reacondicionamiento ii. Almacenamiento de equipos en Los desuso en los hogares.
Impresoras	
Pantallas planas	

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 16 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Por otra parte, la mayoría de componentes no aprovechables son a la vez de difícil reciclaje o disposición final debido a que la mayoría poseen elementos de difícil manejo, lo que supone un riesgo ambiental y a la salud humana.

Es por ello que en las Tabla VI- se proponen las siguientes alternativas de gestión para los compuestos de RAEE no aprovechables más comunes en El Salvador:

Tabla VI. *Alternativas de gestión para plásticos con contenido de COP*

Alternativa	Descripción
Reciclaje mecánico (Plásticos en general)	Trituración de los plásticos y posterior calentamiento para la peletización.
Incineración con recuperación energética (Plásticos en general)	<p>Es el proceso que mediante combustión controlada, aprovecha el alto contenido energético de los residuos plásticos como combustible alternativo.</p> <p>Aunque algunos plásticos puedan reciclarse, con ventajas para el medio ambiente, podría haber residuos del proceso de reciclaje que no puedan ser reciclados.</p> <p>En caso de que el reciclaje no pueda justificarse, la recuperación energética tal vez sea una forma eficaz en función de los costos de recuperar un valor intrínseco de los residuos plásticos.</p> <p>En este caso, la planta debe estar dotada con controles adecuados de emisiones y debe dar cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.</p>

Tabla VII. *Alternativas de gestión para pantallas de cristal líquido (LCD)*

Alternativa	Descripción
Almacenamiento adecuado	Para prevenir el riesgo de contacto con materiales peligrosos, se debe empacar las pantallas LCD de manera independiente (por ejemplo en bolsas de plástico) previo a su almacenamiento en contenedores para evitar el contacto entre las mismas.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 17 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Tabla VIII. *Alternativas de gestión para componentes con mercurio y tubos fluorescentes*

Alternativa	Descripción
Relleno de seguridad	Disposición de los tubos fluorescentes en celdas de un relleno de seguridad, donde dependiendo del relleno se debe cumplir con ciertos estándares en cuanto a empaque y calidad.

Tabla IX. *Alternativas de gestión para pilas y baterías*

Alternativa	Descripción
Almacenamiento adecuado	Para prevenir el riesgo de inflamación, las baterías Ni-Cd y Litio Ion se deben empacar de manera independiente (por ejemplo en bolsas de plástico) previo a su almacenamiento en contenedores para evitar el contacto entre las mismas.

12. CONCLUSIONES

- I. Al observar que las acciones de gestión y manejo de RAEE que se emplean y siguen en el Salvador proceden directamente de normativas o convenios internacionales, se concluye que en El Salvador es necesaria urgentemente una política ambiental y técnica que regule apropiadamente este tipo de residuos.
- II. Como se pudo analizar en la guía técnica, una adecuada gestión de una empresa recicladora dependerá de las cuantificaciones que se hacen de los RAEE a procesar por lo que sería necesaria realizar la caracterización y clasificación de RAEE de preferencia según la UE, ya que, ayuda de gran manera a llevar un control eficiente de los tipos de residuos generados y procesados, incidiendo directamente en una mejor gestión.
- III. Se concluye que las empresas recicladoras de El Salvador necesitan definir las etapas de trabajo de operaciones de gestión, por lo que, en la guía se facilitó una descripción genérica del flujo de gestión detallado y definido, con lo cual las empresas pueden basarse e identificar sus procesos.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador	Página 18 de 26
	<i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Código:01-2021
		Versión: 01

- IV. Al identificar los aspectos e impactos ambientales de las etapas de trabajo de las plantas recicladoras de RAEE en El Salvador se puede concluir que se debe ser consciente que cualquier actividad industrial que se realice representa un riesgo o daño para el medio ambiente o para la salud humana.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. MARN (2015). "**Lineamientos Técnicos para el Adecuado Manejo de lo Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
2. MARN (2017). "**Guía técnica para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de El Salvador**". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Salvador.
3. MINIAMBIENTE (2010) "**Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**". Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia. Consultado el 05 de enero del 2022 <http://documentacion.ideam.gov.co>. Colombia.
4. MINAM (2015) "**Guía de manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**". Ministerio del Ambiente de Perú. Consultado el 05 de enero del 2022 <https://sinia.minam.gob.pe>. Perú
5. MMA (2019) "**Guía informativa responsabilidad extendida del productor (REP) y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)**". Ministerio del Medio Ambiente. Consultado el 05 de enero del 2022 <https://mma.gob.cl/>. Chile.
6. MSCR (2016) "**Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos**". Ministerio de Salud de Costa Rica. Consultado el 05 de enero del 2022. www.ministeriodesalud.go.cr. Costa Rica
7. Bill, A., Gasser, M., Haarman, A., y Böni, H. (2019). "**Procesamiento de plásticos de RAEE Manual práctico**". Instituto Ciencia y Tecnología de Materiales (EMPA) y Foro de Recursos Mundiales (WRF). Consultado el 05 de enero del 2022. www.step-initiative.org/ Suiza.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador	Página 19 de 26
	<i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Código:01-2021
		Versión: 01

Anexos de la Propuesta de Guía Técnica

Anexo I. Requerimientos mínimos para el establecimiento de recicladoras de RAEE en El Salvador

Se necesitan algunos requerimientos básicos para que las empresas puedan llevar a cabo operaciones permanentes. Aclarar que se entiende como operaciones permanentes de los RAEE las siguientes: recepción en puntos verdes, acopio, almacenamiento, desmontaje y aprovechamiento.

La documentación a presentar para el inicio y/o continuidad del funcionamiento de estas operaciones son:

- i. Autorizaciones municipales
- ii. Certificación de establecimientos para industria (cuerpo de bomberos)
- iii. Documentación y registros del sistema de gestión de prevención de riesgos en lugares de trabajo (según reglamento de prevención de riesgos en los lugares de trabajo Decreto 86)
- iv. Documentación y registros del sistema de gestión de riesgos ambientales
- v. Documentación y registro de capacitaciones
- vi. Permiso Ambiental
- vii. Trazabilidad (procedimiento y registros)

De estos últimos puntos en la documentación, se necesita información más específica debido a la actividad de gestión de RAEE. En la Tabla A se presentan los pasos para el permiso ambiental.

Tabla I. A. Pasos para solicitar permiso ambiental

Paso	Actividades
1	La persona natural o jurídica interesada debe de presentar, según la Ley del Medio Ambiente, el formulario del Permiso Ambiental.
2	Revisión del formulario de permiso ambiental: Se determina el cumplimiento o no de los requisitos formales establecidos para su recepción.
3	Cuando cumple con estos requisitos pasa al proceso de Evaluación Ambiental y se le otorga un número de expediente de proyecto.
4	Se realiza la inspección al sitio donde se quiere realizar la actividad, obra o proyecto con el fin de verificar la información presentada en el formulario ambiental.
5	El MARN realiza la categorización de la actividad con el fin de identificar si la actividad, obra o proyecto requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 21 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

En la Tabla B se presentan algunos requisitos mínimos de la trazabilidad, para mantener las operaciones de gestión de RAEE.

Tabla I.B. *Requerimientos mínimos de registros de trazabilidad*

Requisito	Actividades
Etapas que deben llevar trazabilidad	<ul style="list-style-type: none"> viii. Recolección ix. Acopio x. Transporte xi. Desmontaje xii. Disposición final
Datos mínimos para el registro de trazabilidad	<ul style="list-style-type: none"> xiii. Fecha de entrega xiv. Nombre del gestor que entrega xv. Nombre del gestor que recibe xvi. ¿Quién entrega? xvii. ¿Quién recibe? xviii. Tipo de RAEE xix. Cantidad entregada por cada tipo de RAEE xx. Número de placa del transporte
Archivos de registros de trazabilidad	Archivar un periodo de cinco años. Estos registros también servirán para elaborar el informe anual, que es la presentación del total de las cantidades procesadas y trasladadas en un año. El informe será presentado al MARN anualmente.
Buenas prácticas de llenado de registros	<ul style="list-style-type: none"> i. No completar el formato a lápiz ii. No hacer tachones en los campos de información, brindar toda la información del formato iii. Archivar de forma ordenada los registros iv. Hacer verificaciones y validaciones de la información regularmente.

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 22 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Anexo II. Requerimientos básicos de operación para gestión de RAEE en El Salvador

A continuación, en la Tabla II.A., se listan los principales requerimientos en las instalaciones de las empresas recicladoras de RAEE en El Salvador.

Tabla II.A. Requerimientos para empresas recicladoras

Tipo	Requerimiento
Características de acceso	Se debe contar con acceso de vehículos evitando el uso de aceras, drenajes, hombros de calle, superficies de rodaje de las vías públicas, etc., y de igual forma para las áreas de parqueo, maniobra, carga, acopios y básculas. Todo ello con el fin de garantizar la continuidad de las vías y espacios públicos.
	Señalización adecuada de las zonas de carga y tránsito peatonal.
Características de entorno	Las instalaciones deberán ser construidas en lugares fuera de zonas de inundación, contar con sitios techados para resguardar los materiales de la lluvia.
	La colindancia mínima debe ser de 500 metros de centros escolares, viviendas, iglesias, etc. o a núcleos poblacionales en crecimiento o de cualquier otro tipo.
	Debe existir un muro perimetral para evitar el ingreso a personas ajenas a la actividad.
Instalación / Infraestructura	No debe estar ubicado cerca de ríos, quebradas, manantiales, laderas o en sitios con vulnerabilidad media a alta.
	Techo para la conservación de los equipos electrónicos en desuso. Los RAEE no deben exponerse a humedad ni a la luz solar directa o a temperaturas altas, en particular cuando los equipos van a ser reacondicionados o reutilizados.
	Extractores para la evacuación de emisiones.
	Piso de concreto o piso industrial que facilite la limpieza de polvo o cualquier sustancia derramada.
	Rampas de acceso para carga y descarga de los equipos en desuso y materiales.
	Detectores de humo y extintores, para velar por la seguridad del personal operativo, equipos electrónicos en desuso y las instalaciones de la planta, así como para prevenir el daño al medio ambiente en caso de presentarse cualquier eventualidad.
	Los almacenes deben ser adecuados para llevar a cabo el inventario de material procesado y sin procesar. Se debe contar con balanzas de pesaje adecuadas.
Las instalaciones que utilizan calor para ablandar la soldadura o que trituran varios componentes de los RAEE, necesitan diseñar sus operaciones para controlar emisiones atmosféricas.	

Continúa...

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 23 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Tabla II.A. Requerimientos para empresas recicladoras (Continuación)

Tipo	Requerimiento
Iluminación	Se requiere certificación de las instalaciones por parte del Cuerpo de Bomberos de El Salvador.
	500lux en puntos de inspección
	220 lux en áreas de proceso
	Lugar para identificar, manejar y almacenar correctamente los componentes peligrosos que se extraen de algunos RAEE en desuso durante el desensamble.
	Ventilación adecuada del área.
	Alarmas de seguridad.
	Rutas de evacuación y señalización de espacios
Equipo de protección personal	Guantes resistentes a los cortes: la persona que trabaja en el desensamble de los componentes y partes electrónicas, debe protegerse contra cortaduras y astillas.
	Lentes de seguridad: cuando se trabaja en el triturado de partes o simplemente en el proceso de desensamble, es muy importante que la persona operaria utilice lentes de protección para evitar que cualquier partícula entre en sus ojos.
	Máscaras o respiradores: serán necesarios cuando exista exposición al polvo de los RAEE. Durante la trituración de residuos electrónicos es inevitable la generación de polvo con contenido de metales; el personal podría correr el riesgo de inhalarlos.
	Protectores de oídos: en caso de que los sonidos emitidos por una máquina o por simple aplicación mecánica (como golpes con martillos) superen el nivel establecido en las normas de seguridad.
	Overoles de material grueso que les identifique como personal de la empresa.
	Casco para protegerse de la caída de material que pueda estar mal asegurado.
	Uniforme o ropa de trabajo, destinada únicamente para su fin.
Registros	Cada planta debe tener registro de las cantidades de RAEE que se envían para reciclaje y disposición a cada destinatario (el balance de cada planta de desensamble debe coincidir con el de cada receptor).

Anexo III. Formato para caracterización y cuantificación de RAEE en empresas recicladoras

Año: _____

1.0 DATOS GENERALES		
Nombre de la empresa:		
Nombre de persona que reporta:		DUI:
Cargo:	E-mail:	Teléfono(s):
1.1 DIRECCIÓN DE INSTALACIONES DE MANEJO DE RAEE:		
Departamento:		Municipio:
2.0 DETALLES DE RESIDUOS		
Volumen total de RAEE recibido en año anterior(TM):		
Cantidad en almacenamiento(TM):		
3.0 RESULTADOS		
Destino de RAEE	Cantidad (TM)	
Tratado en el país		
Enviado al Exterior		
Destruído		
4.0 TIPOS DE LOS RAEE		
Categoría	Cantidad recibida (TM)	
Aparatos de intercambio de temperatura		
Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100cm ² .		
Lámparas		
Grandes aparatos		
Paneles fotovoltaicos		
Pequeños aparatos		
Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños		
5.0 OPERACIÓN DE RAEE		
		Cantidad (TM)
Reciclado		
Recuperación de componentes		
Reutilizado		
Separación de residuos peligrosos		
Disposición de plásticos bromados		

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 25 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Anexo IV. Metodología de identificación cualitativa de plásticos bromados

A. Muestra

Se necesita una muestra representativa de plásticos provenientes de RAEE.

B. Reactivos y Materiales

Con el objetivo de identificar los plásticos bromados, se necesita la realización de análisis acertados y eficaces sobre los RAEE que ingresan a la planta de manera que puedan indicar si existe presencia de bromo en sus componentes, con lo cual las empresas recicladoras pudiesen crear una unidad de análisis químico formada por un equipo de técnicos de materiales capacitados que determinen la presencia de plásticos bromados de forma cualitativa, al culminar el proceso de desensamblaje de carcasas mediante la correcta ejecución de la metodología propuesta para la identificación de plásticos bromados.

Por la propia naturaleza de esta caracterización cualitativa, para los productos químicos que se manipulan y las operaciones que se realizan con ellos, es necesario que el personal cuente con el equipo de protección personal mínimo para la manipulación de sustancia:

- a. Gabacha: protección contra derrames y salpicadura de reactivo.
- b. Guantes de látex: protección contra derrames y salpicaduras durante la manipulación de reactivo.
- c. Mascarilla: protección de liberación de gases nocivos o irritantes.

C. Reactivos

- a. Limoneno
- b. Acetona pura
- c. Agua
- d. Hidrómetro (calibrado y en buen estado)

D. Descripción de la metodología

La Tabla IV.A presenta la metodología basada en el *Manual Práctico: Procesamiento de plásticos de RAEE* realizado como parte del proyecto “Sustainable Recycling Industries” del EMPA (acrónimo alemán del laboratorio suizo de materiales, ciencia y tecnología).

	Elaboración de una guía técnica para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador <i>Propuesta de Guía técnica para la gestión de RAEE basada en la metodología de producción más limpia aplicada a empresas recicladoras de El Salvador</i>	Página 26 de 26
		Código:01-2021
		Versión: 01

Metodología de identificación de plásticos	
1	Realizar prueba de limoneno. ¹
Reacciona a prueba de limoneno	
1.1.	Realizar prueba de ruptura. ²
	Se dobla el material: Plástico HIPS
	Se rompe el material: Plástico PS
Si es Plástico HIPS	
1.1.1.	Realizar prueba de agua salada 1.1 kg/L. ³
	Se hunde: Plástico HIPS con contenido de Bromo
	Flota: Plástico HIPS libre de Bromo
No reacciona a prueba de limoneno	
1.2	Realizar prueba de acetona. ⁴
	Reacciona poniendo el material pegajoso sin deposito blanco: Plástico ABS
	Otro resultado de la prueba: Otro tipo de plástico
Si es Plástico ABS	
1.2.1	Realizar prueba de agua salada 1.1 kg/L. ³
	Se hunde: Plástico ABS con contenido de Bromo
	Flota: Plástico ABS libre de Bromo

¹Prueba de limoneno

Agregar 3 gotas de limoneno a la muestra, esperar de 2-3 segundos y esperar la reacción en el material.

²Prueba de ruptura

Colocar la muestra sobre una superficie plana y estable, golpear suavemente el material con un martillo o con una herramienta de manera que el material responda a la fuerza.

³Prueba de agua salada 1.1 kg/L

La cantidad de agua salada dependerá del tamaño de los plásticos con los que se realicen las pruebas. Por cada litro de agua agregar 150g de NaCl (sal de mesa).

⁴Prueba de acetona

Agregar 3 gotas de acetona a la muestra, esperar de 2-3 segundos y esperar la reacción en el material. Para identificar plástico ABS es necesario que el material se ponga pegajoso sin que genere un depósito blanco.