

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**ADAPTACIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN LA
GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL
SALVADOR**

PRESENTADO POR:

WILBER EDUARDO AGUIRRE MENÉNDEZ

JOSÉ ROBERTO PINEDA LEÓN

KIMBERLY GUADALUPE ZAMORA REBOLLO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

M.Eng. Ing. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de investigación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título :

**ADAPTACIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN LA GESTIÓN
DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL SALVADOR**

Presentado por :

WILBER EDUARDO AGUIRRE MENÉNDEZ

JOSÉ ROBERTO PINEDA LEÓN

KIMBERLY GUADALUPE ZAMORA REBOLLO

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docentes Asesores :

Ing. Edwin Santiago Escobar Rivas

**Ing. Iván de Jesús Osorio
(Asesor Externo)**

San Salvador, agosto de 2025

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docentes Asesores :

Ing. Edwin Santiago Escobar Rivas

Ing. Iván de Jesús Osorio
(Asesor Externo)

AGRADECIMIENTOS

Aun puedo recordar el primer día, cuando comenzó todo este turbulento viaje, ese en el cual el final se veía tan lejano, ese día cuando sin lugar a duda no era consiente de todo por lo que estaba a punto de pasar, días de alegría, noches de desvelo, decepciones y derrotas, mirando hacia atrás no puedo hacer otra cosa más que detenerme y darle las gracias a Dios, por regalarme la vida, por darme fortaleza cuando sentía que ya no podía más, y por recordarme cada día que los sueños y las metas, aunque pesen, se logran con fe y constancia, mucha fe y sobre todo, mucha constancia.

Este trabajo no es solo el resultado de horas frente a una computadora, libros y cálculos; es también el reflejo de cada palabra de aliento, cada silencio respetuoso, cada gesto de confianza que recibí en el camino.

Quiero darles las gracias a mis padres, sin lugar a duda han sido mi raíz y mi motor. Gracias por enseñarme, con el ejemplo, lo que significa el sacrificio, el amor incondicional y la verdadera perseverancia. Esta meta es tan mía como de ustedes

A mi abuelita, que, sin la menor de las dudas, allá donde quiera que este, sé que me está viendo y se siente muy orgullosa de mí, gracias por haberme enseñado que el esfuerzo y el trabajo duro siempre trae recompensa, sin todos esos consejos no estaría redactando estas líneas, esta meta también es suya.

A mis amigos, compañeros de carrera y hermanos de otras madres, los de siempre, sin lugar a duda, sin ustedes todo este camino no habría sido el mismo, por sus bromas en los días grises, por las charlas que me devolvieron el ánimo y por recordarme que no estaba solo en este camino, muchas gracias, Alda, Roberto, Guillermo, Adri, Kimberly, sin lugar a duda, hicieron este camino mucho mejor de lo que podría haber sido.

A mis compañeros de facultad que también fueron parte de esto. Nuestra ruta estuvo llena de retos, pero también de momentos que guardaré siempre con cariño.

Roberto, Kimberly, quiero hacerles un agradecimiento especial, por haberme acogido en esta última etapa, sin ustedes, todo esto no hubiera sido posible, gracias por demostrarme su amistad aun cuando ya no querían (jaja) fueron los mejores compañeros de tesis que pude tener, gracias amigos.

Y por último, pero no menos importante, quiero agradecerle a esa versión de mí, que no se rindió, incluso cuando las fuerzas flaquearon y que creyó en sí mismo. Este logro es también un acto de amor propio, de resistencia y de fe.

Gracias a todos, de corazón.

Wilber Eduardo Aguirre Menéndez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para afrontar cada uno de los retos en esta etapa, su guía y su misericordia han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A mi madre, María Esperanza León González, por su amor y apoyo incondicional, a lo largo de todo este proceso. Gracias por cada sacrificio, por cada palabra de aliento y por ser uno de mis mayores impulsos en los momentos difíciles. Este logro también te pertenece.

A la memoria de mi abuela Coralía León viuda de González, por su amor y apoyo incondicional, gracias por cada palabra, cada gesto y ser uno de mis mayores impulsos para lograr mis sueños aún en los momentos difíciles.

A la memoria de mi abuelo Aquilino González Guerra y de mi padre Roberto Pineda Ayala. Aunque ya no estén físicamente, su recuerdo, enseñanzas y ejemplo de vida han sido mi fuente de inspiración constante para no rendirme y continuar.

A mi hermana menor, Fátima Daniela Pineda León, por ser una motivación firme a lo largo del camino. Gracias por estar presente, tu apoyo y por recordarme siempre el valor de seguir adelante.

A esa persona especial que estuvo a mi lado en el tramo final de esta etapa, por su compañía, comprensión y apoyo constante, que significaron más de lo que las palabras pueden expresar.

A mis amigos, quienes no solo compartieron este proceso académico, sino también vivencias que me acompañarán por siempre. Gracias por las desveladas, por las risas, por las conversaciones sinceras y por estar presentes cuando más lo necesité. La amistad que construimos en estos años ha sido un regalo valioso.

Y finalmente, a quienes me guiaron desde las aulas, y a todos aquellos que aportaron a mi formación con paciencia y dedicación. Gracias por formar parte de este camino que hoy culmina con gratitud

José Roberto Pineda León

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Llegar hasta aquí ha sido un camino lleno de esfuerzo, caídas, pequeños triunfos, noches largas y aprendizajes que van mucho más allá de lo académico. Este logro, aunque lleve mi nombre, pertenece también a quienes me sostuvieron con amor y paciencia.

Primeramente a Dios, por haberme dado la fuerza, la salud y la sabiduría para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Al Espíritu Santo, por derramar sabiduría, claridad y entendimiento en los momentos clave; por inspirar mis pensamientos, iluminar mis decisiones y acompañarme en cada reto. A la Virgen María, por llevar mis oraciones, por cubrirme con su manto en los días oscuros, y por interceder por mí con tanto amor.

A mi mamá, Marimina Rebollo junto a mi abuela Miriam Monterrosa, las dos mujeres más importantes de mi vida, mis raíces, mis guías, mi refugio. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba de todo, por enseñarme a ser fuerte, pero también sensible, por enseñarme a luchar con el corazón, a resistir con dignidad, y a caminar con humildad. Ustedes han sido luz, ejemplo y motivo. Este título no es solo mío, es suyo también. Todo lo que soy y todo lo que he logrado, tiene un pedacito de ustedes.

A mis tíos Nestor Rebollo, Carlos Alvarado y a mi querido hermano Jairo Cardoza, gracias por su apoyo constante, por celebrar cada pequeño avance conmigo y

por demostrarme que los logros saben mejor cuando se comparten con quienes uno ama.

A mi papá, Álvaro Zamora (Q.E.P.D.), gracias por todo lo que sembraste en mí. Sé que, donde estés, estás orgulloso de tu niña.

A los amigos que encontré en la universidad y en el camino, gracias por su risa, apoyo y compañía sincera. Por estar cuando los necesité, escuchar sin juzgar y recordarme quién soy en los momentos de duda. Por las madrugadas de estudio, los desvelos, además de las mañanas de diversión. Es una alegría poder convertirme en profesional junto a ustedes. Muchas veces no habría podido seguir sin ustedes. Gracias por compartir, apoyar y convertir el estrés en un anécdota por contar.

Y a mis fieles compañeros de cuatro patas: mi perro Yoki, y mis gatitos Bugu, Chelito y Pichi (Q.E.P.D.), esos seres leales que no hablan con palabras, pero lo dicen todo con su mirada y su compañía, gracias por acompañarme en silencio, por su ternura infinita en madrugadas de estudio, y por ese amor que cura sin decir una palabra.

Gracias totales.

Kimberly Guadalupe Zamora Rebollo

RESUMEN

El presente Trabajo de Graduación tiene como objetivo plantear una estrategia sostenible para la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en El Salvador, considerando los impactos ambientales, sociales y económicos derivados de su manejo inadecuado.

Actualmente, la mayoría de estos residuos provienen del sector informal, lo que ha favorecido prácticas inadecuadas como la disposición en botaderos clandestinos, por lo que, se analiza el marco legal vigente y las competencias institucionales, identificando limitantes normativas y operativas que obstaculizan una gestión eficiente; adicionalmente, se hará un análisis de experiencias internacionales exitosas en países como México, Chile y Colombia, se identificarán buenas prácticas y lecciones aprendidas que permitan adaptar una propuesta técnica al contexto salvadoreño.

La estrategia a desarrollar plantea tres fases: planificación, implementación y disposición final, incluyendo medidas como la separación en la fuente, instalación de centros de acopio, utilización de herramientas digitales para el monitoreo, y el fortalecimiento de la economía circular mediante el reciclaje, la reutilización y la valorización de materiales.

La propuesta contribuiría a reducir impactos negativos, mejorar el uso de recursos y avanzar hacia una gestión de los RCD más eficiente, responsable y alineada con los principios de sostenibilidad económica y ambiental.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	XI
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 ALCANCES	6
1.5 LIMITACIONES	6
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.	10

2.1.1	Generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)	10
2.1.2	Estrategias de Gestión Efectiva para los RCD	11
2.1.3	Impacto Ambiental y Regulaciones.....	13
2.2	GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR	24
2.2.1	Marco Legal que rige la Gestión de Residuos	24
2.2.2	Generación de Residuos Sólidos a Nivel Nacional.....	35
2.2.3	Generación de Residuos Sólidos de la Construcción a nivel del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)	38
2.2.4	Tratamiento de RCD en El Salvador.....	48
2.2.3	Competencias Institucionales en la Gestión de Residuos	55
2.3	IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DE LAS PRÁCTICAS ACTUALES.....	58
2.3.1	Impacto Social	58
2.3.2	Impacto ambiental	61
2.4	LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN	66
2.4.1	Conceptos Básicos De Economía Circular.	68
2.4.2	Relevancia de la Aplicabilidad en la Gestión de los RCD.	71
2.4.3	Beneficios de la Aplicabilidad de la Economía Circular.	72
2.4.4	Aplicabilidad de la Economía Circular para la Gestión de RCD.....	75
CAPÍTULO 3: GESTIÓN DE RESIDUOS DE RCD EN OTROS PAÍSES.		78

3.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ENFOQUES DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	79
3.2 INICIATIVAS EXITOSAS Y POLÍTICAS GUBERNAMENTALES QUE CONTRIBUYERON AL MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE LOS RCD. 91	
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE PROPUESTA SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN DE RCD EN EL SALVADOR.....	100
4.1 OBJETIVOS DE LA ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE RCD.....	102
4.2 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL PLAN DE ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE RCD.....	103
4.2.1 Fase de Planificación.....	103
4.2.2 Fase de Implementación de la Propuesta.....	107
4.2.3 Disposición Final y Tratamiento De Residuos	115
4.3 INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	121
4.4 ACTUALIZACIÓN DE NORMATIVA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EL SALVADOR.....	123
5.1 OBJETIVOS DE LA METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LA PROPUESTA	123

5.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	124
5.2.1 Eficiencia Ambiental.....	125
5.2.2 Viabilidad Técnica y Operativa	127
5.2.3 Factibilidad Económica	129
5.2.4 Impacto Social Y Participación De Entidades	130
5.2.5 Cumplimiento Normativo y Adaptabilidad	131
5.3 ANÁLISIS DETALLADO DE LA PROPUESTA.....	133
5.3.1 Diseño Modular y Organización.....	133
5.3.2 Capacitación y Sensibilización.....	137
5.3.3 Herramientas de Monitoreo y Control	139
5.3.4 Integración de la Economía Circular	142
5.3.5 Adaptabilidad y Viabilidad Contextual.....	143
5.4 EJEMPLO PRÁCTICO: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA.....	145
5.4.1 Estimación de Volúmenes de RCD.....	145
5.4.2 Desglose de Costos en la Gestión de los RCD	150
5.4.3 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RCD.	164
5.5 COMPARATIVA CON MÉTODOS TRADICIONALES.....	166
5.5.1 Proceso y Desarrollo.....	167
5.5.2 Impacto Económico y Eficiencia Operativa	168

5.5.3 Análisis de viabilidad económica	169
5.6 PROPUESTA DE INCENTIVOS FINANCIEROS	170
5.6.1 Beneficios Tributarios	170
5.6.2 Subsidios y Apoyo Directo	171
5.6.3 Créditos y Financiamiento	171
5.6.4 Bonificaciones y Recompensas	172
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
6.1 CONCLUSIONES	174
6.2 RECOMENDACIONES	177
BIBLIOGRAFÍA	179

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Demolición de Casa Habitacional	10
Figura 2: Enfoque Sistemático de varias Etapas	13
Figura 3. Gráfica de Composición de RCD	15
Figura 4. Actividad de Excavación en Terracería.....	16
Figura 5 Demolición de viviendas dañadas por lluvias	17
Figura 6. Acopio de Material de Demolición	19
Figura 7 Desechos de Materiales Tóxicos	20
Figura 8 Residuos causados por la DANA.....	22
Figura 9. Acopio de Postes Eléctricos en Planta de Holcim	52
Figura 10. Residuos de Demolición	53
Figura 11. Acopio de Material Triturado para ser Reutilizado	54
Figura 12. Botadero Ilegal en riberas del Rio Las Cañas.....	59
Figura 13. Botadero Ilegal en Rio Colón	60
Figura 14. Acopio no autorizado de material fresado.....	61
Figura 15. Botadero ilegal dañino para la salud de las comunidades aledañas	62
Figura 16. Imagen satelital Municipio de Colón, departamento de La Libertad	63
Figura 17. Imagen satelital Municipio San Matías, departamento de La Libertad	65
Figura 18. Economía Circular	66
Figura 19. Esquema de diferencia entre "Economía Lineal" con "Economía Circular"	69

Figura 20. Centro Integral de Reciclaje (CIREC-MH), México	79
Figura 21. Recolección de RCD.....	81
Figura 22. Planta de Valorización de RCD	84
Figura 23. Planta de acopio de RCD, Colombia	86
Figura 24. Esquema de estimación de costos asociados al plan de gestión de RCD	106
Figura 25. Ejemplo de separación de desechos en obra	109
Figura 26. Ejes estratégicos de la evaluación de la propuesta	124
Figura 27. Ejemplo de cuadro de mando KPIs en propuesta.....	136
Figura 28. Cuadro comparativo de porcentaje de ahorro, aplicabilidad de KPIs en propuesta.....	136
Figura 29. Resultados obtenidos de KPIs aplicados en propuest.....	137
Figura 30 Esquema en elevación e isométrico de separación de RCD en obra	149
Figura 31 Acopio de residuos de concreto demolido en planta CDM, Holcim	152
Figura 32 Planta recicladora de chatarra, Corinca	153
Figura 33. Constancia de destrucción y disposición final de desechos especiales	166
Figura 34 Análisis gráfico: Inversión inicial - Beneficio por reciclaje.	169
Figura 35 Análisis gráfico: ROI (Retorno sobre la Inversión) sobre proyectos A, B y C.	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación de Residuos Sólidos según su Clasificación	36
Tabla 2. Tipos de gestores en manejo de residuos a diciembre de 2021	37
Tabla 3. Porcentaje de Residuos generados según grupo de estudio.....	38
Tabla 4. Resumen de porcentaje de residuos generados según grupo de estudio	41
Tabla 5. Categorización de Residuos en reciclables y/o reutilizables.....	42
Tabla 6. Cantidad de RCD generados en m ³ /m ² de construcción o demolición	43
Tabla 7. Producción generada de RCD en m ² -Ton/m ³	44
Tabla 8. Cantidad producida y proyectada de residuos clasificados en inertes, peligrosos o no peligrosos	46
Tabla 9. Cantidad producida y proyectada de residuos clasificados en reutilizables, reciclables y disposición final en toneladas.....	47
Tabla 10. Infraestructura existente al 2021 de apoyo para la Gestión de Residuos	48
Tabla 11. Residuos de manejo especial depositados en rellenos sanitarios	48
Tabla 12. Competencias institucionales según marco legal de residuos municipales.....	55
Tabla 13. Beneficios de la Economía Circular	72
Tabla 14. Clasificación de residuos en obra	110
Tabla 15. Dashboard o planilla de registro de gestión de residuos.....	140

Tabla 16 Indicadores de Desempeño KPIs aplicables en la gestión de RCD .	140
Tabla 17. Estimación de volumen de RCD para Proyecto A.....	146
Tabla 18. Estimación de volumen RCD para Proyecto B.....	147
Tabla 19. Estimación de volumen de RCD para Proyecto C	147
Tabla 20. Categorización de residuos reciclables y/o reutilizables	148
Tabla 21. Análisis por tipo de RCD generados en Proyectos A, B y C	148
Tabla 22. Costo de espacio para separación de RCD, condición sin lluvia. ...	150
Tabla 23. Costo de espacio para separación de RCD, condición con lluvia...	151
Tabla 24 Costo de traslado de RCD a planta Holcim.....	153
Tabla 25 Costo de traslado de RCD a planta Corinca	154
Tabla 26. Acero en Proyecto A	156
Tabla 27. Costo de traslado de RCD a Corinca (Proyecto A)	157
Tabla 28. Costo de traslado de RCD a Planta Holcim (Proyecto A)	158
Tabla 29. Acero en Proyecto B	159
Tabla 30. Costo de traslado de RCD a Corinca (Proyecto B)	159
Tabla 31. Costo de traslado de RCD a planta Holcim (Proyecto B).....	160
Tabla 32. Acero en Proyecto C	161
Tabla 33. Costo de traslado de RCD a Corinca (Proyecto C).....	162
Tabla 34. Cantidades de desmontajes y demoliciones en Proyecto C	162
Tabla 35. Costo de traslado de RCD a planta Holcim (Proyecto C).....	164
Tabla 36. Costo de traslado de RCD desde San Salvador a MIDES.....	165

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

RCD: Residuos de Construcción y Demolición.

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

AMSS: Área Metropolitana de San Salvador.

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental).

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Método de Evaluación Medioambiental del Establecimiento de Investigación de la Construcción).

MINED: Ministerio de Educación.

MINSAL: Ministerio de Salud.

CDM: Construction Demolition Material (Materiales de Construcción y Demolición).

KPI: Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño).

CIREC-MH: Centro Integral de Reciclaje de la Secretaría de Medio Ambiente de México.

ROI: Return On Investment (Retorno Sobre la inversión).

INTRODUCCIÓN

La gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) es esencial para el desarrollo sostenible, ya que el sector de la construcción, aunque impulsa el crecimiento urbano, también representa una de las principales fuentes de generación de residuos que impactan indirectamente al ambiente. En El Salvador, el rápido crecimiento del sector refleja dinamismo económico, pero plantea importantes retos ambientales que exigen la aplicación de principios sostenibles en el manejo de los RCD.

Estos residuos incluyen materiales como concreto, ladrillo, madera, metal y vidrio, generados en procesos de construcción, renovación o demolición. Su gestión inadecuada puede causar contaminación ambiental, emisiones de gases de efecto invernadero y agotamiento de recursos; por tanto, comprender los fundamentos técnicos y normativos que rigen su manejo es clave para reducir su impacto y fomentar prácticas como el reciclaje, la reutilización y la economía circular.

El presente trabajo de graduación tiene como finalidad desarrollar una base teórica robusta que permita orientar la implementación de prácticas sostenibles en la gestión de RCD en El Salvador; para ello, se abordan conceptos fundamentales como la clasificación de los residuos, las técnicas de almacenamiento, los procesos de reciclaje y reutilización, y las estrategias de disposición final, incorporando además un análisis contextual que contempla el

marco normativo nacional, la infraestructura disponible y las prácticas predominantes en la industria.

Asimismo, se propone un modelo de gestión fundamentado en el diseño modular, el empleo de herramientas digitales para el monitoreo de los residuos y la incorporación de principios de economía circular. Esta propuesta será evaluada desde perspectivas técnicas, económicas y ambientales, con el propósito de determinar su viabilidad y adaptabilidad al contexto salvadoreño; por lo que, a través de este análisis, se busca no solo validar la pertinencia del modelo planteado, sino también, identificar oportunidades de mejora que contribuyan a optimizar su implementación y a fomentar una gestión más responsable y eficiente de los RCD en el país.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), más del 50 % de los escombros generados en las construcciones son sobre todo residuos de concreto, asfalto, bloques, arenas, gravas, ladrillo, tierra y barro.

Otro porcentaje, de un 20% a un 30%, suele ser madera y productos afines, como formaletas, marcos y tablas; y el restante son desperdicios misceláneos, como metales, vidrios, asbestos, materiales de aislamiento, tuberías, aluminio y partes eléctricas; bajo este contexto, en los últimos años, se ha observado un creciente interés en torno a la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en El Salvador.

Aunque anteriormente carecía de una regulación específica, el país está avanzando hacia el establecimiento de marcos legales y regulatorios para abordar este tema. Las instituciones clave involucradas en este proceso incluye a las Alcaldías Municipales y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN); sin embargo, la falta de claridad en los roles y responsabilidades de estas instituciones ha sido un desafío para una gestión efectiva de los RCD.

La acumulación de estos desechos en vertederos improvisados ha generado preocupaciones ambientales y sociales, además de representar pérdidas económicas para el país y para las empresas constructoras; por lo qué, La

necesidad de soluciones innovadoras se hace cada vez más evidente, promoviendo el reciclaje, la reutilización de materiales y la adopción de tecnologías avanzadas de gestión de residuos.

Estos desafíos resaltan la importancia de abordar la gestión de RCD en El Salvador y la necesidad de acciones coordinadas entre el gobierno, las instituciones pertinentes y las empresas del sector de la construcción formal e informal, para encontrar soluciones sostenibles y efectivas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En El Salvador, la industria de la construcción y demolición enfrenta un desafío significativo en la gestión de los residuos generados durante sus actividades.

Estos residuos, conocidos como residuos de Construcción y Demolición (RCD), incluyen una variedad de materiales como concreto, acero, otros metales, vidrio y plástico, entre otros.

La falta de una reglamentación específica ha llevado a una situación donde las instituciones pertinentes, como las Alcaldías y los Ministerios relevantes, carecen de directrices claras sobre sus roles y responsabilidades en el manejo de estos residuos. Este vacío regulatorio ha resultado en la acumulación descontrolada de RCD en vertederos improvisados, tanto en áreas públicas como en terrenos baldíos, lo que genera problemas ambientales, sociales y económicos. Las actividades de los sectores formales e informales de la construcción, responsables de generar estos residuos, carecen de una gestión adecuada, siendo el sector informal el principal contribuyente, debido a la carencia de regulación y respaldo institucional.

A pesar de que existen enfoques sostenibles de gestión de RCD implementados con éxito en otros países, aún no se ha desarrollado un modelo efectivo adaptado a la realidad salvadoreña; esto destaca la necesidad urgente de realizar un análisis exhaustivo de las actuales estrategias de gestión de residuos de construcción y demolición en El Salvador; no solo evaluando las deficiencias en

las regulaciones existentes, sino también explorando soluciones innovadoras y viables, que promuevan la sostenibilidad ambiental, social y económica en el manejo de los RCD.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Proponer una estrategia de gestión de residuos en la construcción en El Salvador, tomando como referencia lecciones aprendidas de países como México, Chile, Colombia, entre otros.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar en detalle las prácticas de gestión de residuos en diferentes países, destacando los aspectos clave que han contribuido a la sostenibilidad de estas prácticas.
- Identificar las lecciones aprendidas de los países de referencia y adaptarlas a las características específicas de El Salvador, considerando factores socioeconómicos y ambientales que puedan influir en la implementación de prácticas sostenibles.
- Proponer una estrategia de gestión de residuos de la construcción útil para las autoridades ambientales y a la sociedad civil en general con las acciones y medidas necesarias para promover un desempeño ambiental sostenible en el desarrollo de los proyectos de construcción.

1.4 ALCANCES

- Adaptación de las lecciones aprendidas a las características específicas de El Salvador, considerando los factores identificados.
- Revisión exhaustiva de las políticas y prácticas de gestión de residuos de construcción en países como México, Chile y Colombia, entre otros.
- Identificación y documentación de aspectos clave que haya contribuido a la sostenibilidad de estas prácticas en cada país.
- Propuesta de una estrategia de apoyo para gestionar de mejor forma los residuos de construcción, con énfasis en su implementación práctica en el país involucrando el sector público y privado.

1.5 LIMITACIONES

- La falta de una regulación clara y específica sobre la gestión de RCD dificulta la aplicación de políticas y procedimientos adecuados para su manejo.
- La falta de cooperación y apoyo institucional por parte de las identidades gubernamentales y privadas respecto a la recopilación de información

sobre el manejo de los RCD, debido a la reserva de esta y a políticas internas.

- No se buscará realizar una estimación numérica del volumen de residuos de construcción debido a la carencia de una cuantificación oficial en el país, ni constituye el objetivo central de esta investigación; sin embargo, en caso de requerirse, se explorarán estimaciones de referencia para enriquecer el análisis.
- Limitada información debido a la confidencialidad sobre las construcciones con certificaciones LEED y BREEAM en el país.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD) es crucial para mitigar los impactos ambientales negativos y promover la sostenibilidad de la construcción en El Salvador.

El país se enfrenta a desafíos significativos en este ámbito debido al rápido crecimiento urbano, la expansión de la industria de la construcción y la falta de regulaciones específicas para la gestión de RCD.

La acumulación descontrolada de RCD conlleva problemas ambientales, sociales y económicos, como la contaminación del suelo y del agua; además la obstrucción de sistemas de drenaje, y la degradación de ecosistemas naturales conlleva a una amenaza para la salud pública.

La adopción de prácticas sostenibles en la gestión de RCD se presenta como una solución viable para abordar estos desafíos de manera integral; al implementar enfoques basados en la economía circular, es posible transformar los residuos en recursos, ampliando los ciclos de vida de los materiales y reduciendo la dependencia de los recursos naturales.

No obstante, en El Salvador, aún existe una falta de conciencia y acciones concretas en torno a la gestión sostenible de RCD; unido a la ausencia de regulaciones claras y específicas; así como, la limitada infraestructura y capacidad institucional, obstaculizan los esfuerzos para mejorar la situación actual.

Por lo tanto, es más que justificable, generar iniciativa para explorar y promover la adaptación de prácticas sostenibles en la gestión de RCD en El Salvador.

Para revisar experiencias y casos de estudio de otros países, se buscará identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas aplicables localmente; además, se pretende involucrar a diversos actores, incluidas las empresas constructoras, las autoridades gubernamentales y la sociedad civil, para impulsar un cambio hacia un modelo de construcción más sostenible y resiliente.

En resumen, con la presente investigación, se buscará contribuir al desarrollo de una estrategia con soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión de RCD en El Salvador, que promueva la protección del medio ambiente, mejore la calidad de vida de las comunidades y fomente un desarrollo más sostenible en la construcción.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.

2.1.1 Generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

La generación de residuos de construcción y demolición (RCD) es un fenómeno que está presente en las actividades del sector de la construcción, esto incluye la construcción de nuevas estructuras, la demolición de antiguas y las renovaciones o remodelaciones de infraestructuras existentes. Estos residuos abarcan una amplia gama de materiales, que van desde componentes inertes como lo son el concreto fraguado y endurecido y sobrantes y partes de ladrillos, hasta elementos orgánicos y metálicos, que se encuentran presente en los suelos producto de las excavaciones.



Figura 1. Demolición de Casa Habitacional

Nota: A diario, el sector de la construcción produce residuos que generalmente no son gestionados de forma apropiada al final de su ciclo. (Fotografía tomada de Comunidad Madrid).

La falta de una gestión adecuada de estos residuos puede llevar a la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas; así como, a la pérdida de materiales potencialmente reciclables, es por esto que, la generación de RCD se convierte en una preocupación global debido a su impacto en el medio ambiente, la salud pública y la economía; por tanto, para minimizar estos efectos adversos es crucial entender las causas de la generación de los RCD para desarrollar estrategias de gestión efectivas y promover prácticas de construcción sostenibles.

Estas prácticas y estrategias deben centrarse en la recuperación de materiales para reincorporarlos al ciclo económico de manera ambientalmente eficiente, mediante técnicas como la reutilización, el reciclaje y la revalorización; no obstante, también se debe de sopesar descartar adecuadamente el material inservible, si lo hay.

2.1.2 Estrategias de Gestión Efectiva para los RCD

La gestión efectiva de los RCD involucra un enfoque sistemático que incluye varias etapas clave: la reducción en la fuente, la recolección, el almacenamiento, el reciclaje y la disposición final; cada una de estas etapas debe ser cuidadosamente planificada e implementada para minimizar el impacto ambiental y maximizar la reutilización de materiales.

- **Reducción en la Fuente:** La reducción en la fuente es un principio fundamental en la gestión de los RCD. Implica la optimización de los procesos constructivos para minimizar la cantidad de residuos generados

desde el inicio; esto puede lograrse, a través, de prácticas como el diseño modular, la planificación eficiente del uso de materiales y la selección de métodos constructivos que generen menos residuos.

- **Recolección y Almacenamiento:** Una recolección eficiente y un almacenamiento adecuado de los RCD son cruciales para evitar la contaminación y facilitar su tratamiento posterior. Los métodos de recolección deben ser diseñados para manejar los diferentes tipos de residuos generados, mientras que el almacenamiento debe prevenir la degradación y la contaminación de los materiales.
- **Reciclaje y Reutilización:** El reciclaje y la reutilización de materiales son técnicas clave en la gestión de RCD. El reciclaje implica procesar los residuos para transformarlos en nuevos productos, que permita a su vez, el empleo en nuevos proyectos. Estas prácticas no solo reducen la cantidad de residuos que son enviados a vertederos o botaderos, sino que también disminuyen la explotación de materias primas vírgenes, con la consecuente disminución del impacto ambiental.
- **Disposición Final:** A pesar de los esfuerzos para reducir, reciclar y reutilizar, algunos residuos pueden necesitar ser dispuestos de manera segura. La disposición final debe realizarse bajo condiciones que minimicen los impactos ambientales negativos y asegurar que los residuos sean tratados de manera adecuada.

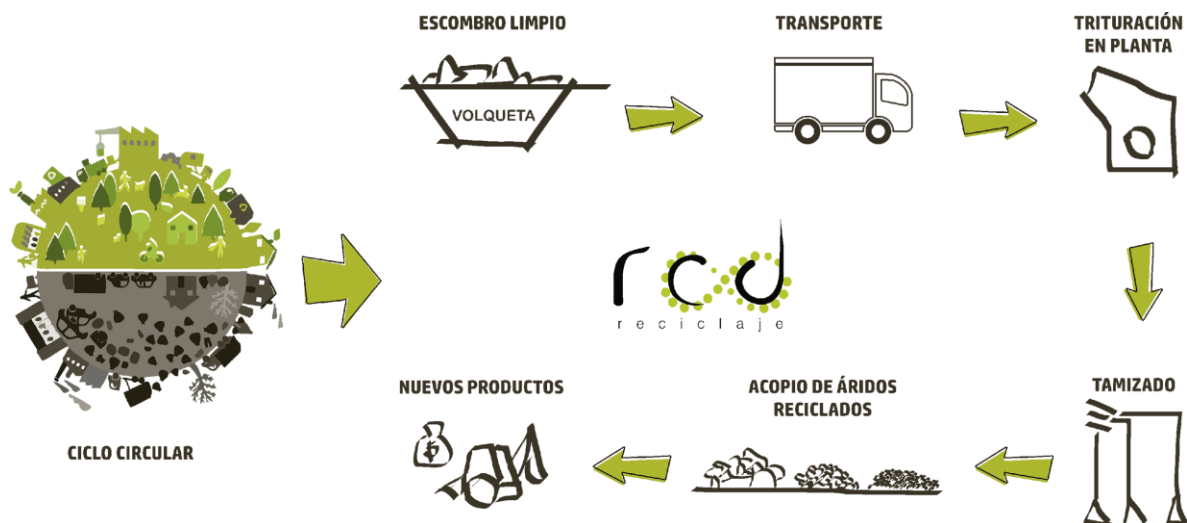


Figura 2: Enfoque Sistemático de varias Etapas

Fuente: <https://www.rcdreciclaje.com/> - /home

La disposición final de los RCD sin ningún control, implica impactos medioambientales negativos.

2.1.3 Impacto Ambiental y Regulaciones

La gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD) tiene un impacto directo en la reducción de la contaminación ambiental y la conservación de los recursos naturales; la incorporación de regulaciones locales y la normativa general sobre residuos sólidos, combinada con la adopción de prácticas internacionales exitosas en la gestión de los RCD, es fundamental para promover prácticas sostenibles.

Estas regulaciones y prácticas proporcionan pautas claras para generar una propuesta sobre el manejo, tratamiento y disposición de los RCD, garantizando la implementación de buenas prácticas sobre el tema.

Para una mejor comprensión de los Residuos de Construcción de Demolición y Construcción (RCD), a continuación, se abordará su definición y su clasificación:

Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Se denomina Residuos de la Construcción y Demolición (RCD), a aquellos sobrantes o residuos que se producen como consecuencia de las actividades de la construcción, remodelación y demolición de edificios o también de pavimentos, u otras estructuras a base de concreto, acero, mampostería, madera y otros.

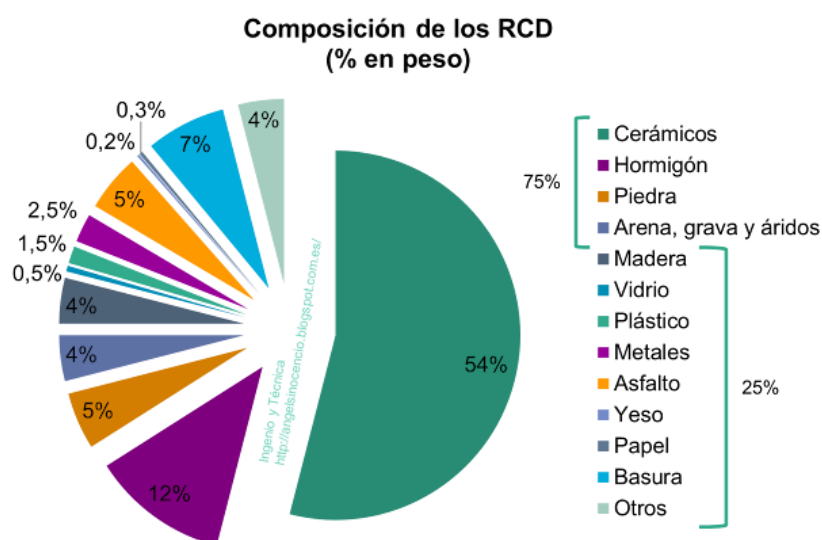


Figura 3. Composición de los RCD (%)

Fuente: <https://angelsinocencio.com/rcd-residuos-de-construccion-y-demolicion/>

La gestión adecuada de los (RCD) está evolucionando hacia un modelo de reciclaje más amplio y eficiente. Este enfoque se centra en clasificar los RCD de acuerdo con su origen, naturaleza y peligrosidad, lo que facilita una gestión más sostenible y efectiva.

A continuación, se presenta una clasificación integral basada en estos criterios:

Clasificación de los RCD según el Origen:

a) Residuos debido a proyectos de Construcción

Los proyectos de construcción, son una fuente importante de RCD, los cuales incluyen, residuos generados durante la preparación del sitio, destacando los trabajos de excavación que preceden a la construcción, siendo el ejemplo típico la remoción del suelo y arcilla, actividad comúnmente conocida como descapote, que se genera durante la creación de cimientos para un edificio, también se puede incluir el exceso de materiales y desperdicios de materiales generados durante el proceso de construcción propiamente dicho; Aquí se incluyen los sobrantes de madera, clavos y recortes de yeso que quedan después de la construcción de una obra.

La falta de un manejo adecuado de estos residuos puede llevar a una acumulación considerable de desechos en los sitios de construcción.



Figura 4. Actividad de Excavación en Terracería

*Nota: Excavación con pala mecánica, para construcción de Soleras de Fundación.
Fuente: Investigación propia*

b) Residuos provenientes de las Demoliciones y Remodelaciones

Las actividades de demolición y remodelación generan una gran cantidad de RCD, por lo que, las demoliciones de estructuras obsoletas implican la remoción de todos los materiales existentes, mientras que las remodelaciones producen residuos debido a la sustitución de componentes antiguos por nuevos. Estos residuos incluyen concreto, ladrillos, madera, metal y otros materiales que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto ambiental significativo.

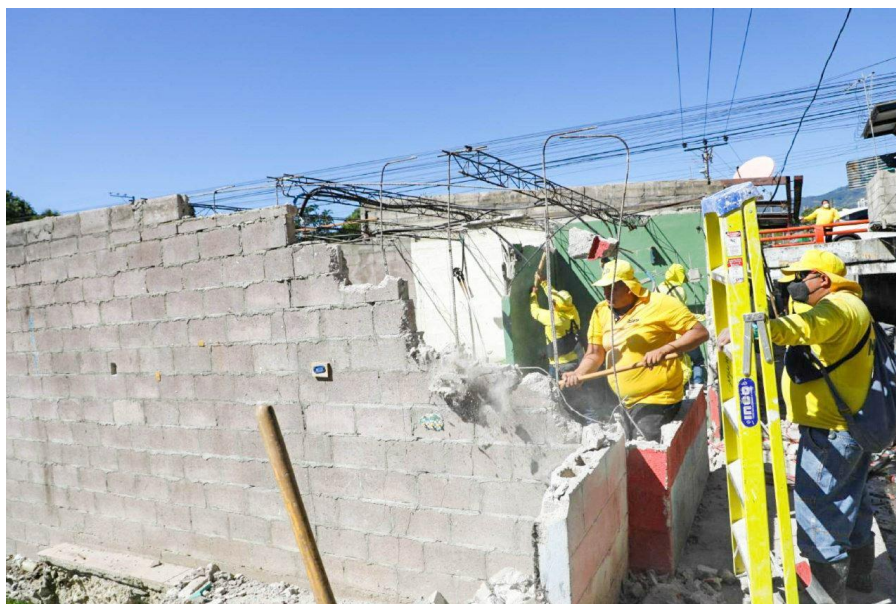


Figura 5 Demolición de viviendas dañadas por lluvias

Fuente: <https://www.presidencia.gob.sv/tag/construccion-de-viviendas/>

Se estima que una casa de 80m² puede llegar a generar 53.10 m³ de escombros

c) Residuos debido a Planificación Deficiente o Malas Técnicas Constructivas

La planificación deficiente y las malas técnicas constructivas son factores significativos que contribuyen a la generación excesiva de RCD. Cuando los proyectos de construcción no están bien planificados, es común que se produzcan errores en las etapas de diseño y ejecución, lo que puede llevar a la generación de grandes cantidades de residuos. Ejemplos de esto incluyen:

- **Errores de diseño:** Falta de coordinación entre arquitectos e ingenieros que resulta en modificaciones durante la construcción.
- **Sobre aprovisionamiento de materiales:** Compra excesiva de materiales debido a estimaciones incorrectas.
- **Falta de capacitación de la mano de obra:** Técnicas de construcción ineficientes o incorrectas que provocan la necesidad de rehacer los trabajos.

Estas situaciones no solo generan más residuos, sino que también aumentan los costos y el tiempo de los proyectos.

Clasificación según la Naturaleza del RCD:

a) Residuos inertes no peligrosos:

Constituyen la mayoría de los RCD e incluyen concreto, ladrillos, tejas, vidrio y diversos tipos de tierra y materiales como madera, ciertos plásticos, papel, yeso, textiles y la mayoría de los metales. La separación selectiva de estos materiales se justifica principalmente por razones económicas, debido a su valor de reventa y a la demanda de materiales reciclables como ladrillos y tejas. Estos residuos pueden ser reciclados o reutilizados sin representar un riesgo significativo para la salud o el medio ambiente.



Figura 6. Acopio de Material de Demolición

Fuente: REGEMAC <https://regemac.cl/gestion-de-residuos-inertes-como-reconocerlos-y-tratarlos/>

El principal objetivo de cualquier tratamiento de residuos es su recuperación, valoración o eliminación, reduciendo las posibles sustancias tóxicas que contenga.

b) Residuos peligrosos y tóxicos:

Comprenden materiales como pinturas, disolventes, plomo, amianto y sus derivados, así como residuos radiactivos; la peligrosidad de estos residuos puede deberse a su composición original, a la interacción con agentes químicos a lo largo del tiempo, o a la contaminación accidental con otros materiales peligrosos.

Para manejar adecuadamente los RCD peligrosos, es esencial seguir la legislación vigente, minimizando los riesgos para la salud pública y el medio ambiente; además, el tipo de edificación y la época de construcción son factores cruciales para determinar la presencia y tipo de residuos peligrosos.



Figura 7 Desechos de Materiales Tóxicos

Nota: Es importante manejar adecuadamente los RCD, especialmente aquellos cuyas afectaciones a la salud son mayores.

Fuente: <https://www.centroscomunitariosdeaprendizaje.org.mx/>

Residuos generados por Procesos de Construcción del Sector Informal

El sector informal de la construcción también genera una cantidad considerable de RCD. Este sector, es caracterizado por la falta de regulaciones y estándares, a menudo se utilizan materiales de baja calidad y técnicas constructivas deficientes, llevando a cabo construcciones y pequeñas ampliaciones o remodelaciones, sin permisos ni supervisión, que resultan en la generación de escombros y desperdicios que a menudo son tirados en basureros clandestinos o espacios no autorizados; la ausencia de prácticas adecuadas de gestión de residuos de este sector agrava el problema, contribuyendo a la acumulación de desechos en áreas urbanas, ríos, lotes baldíos u otros lugares inapropiados, aumentando la contaminación ambiental y afectando la salud pública.

Residuos generados por Fenómenos Naturales

Los residuos generados por el impacto de fenómenos naturales como, terremotos, deslizamientos de tierra, lluvias severas, huracanes, etc., pueden causar la generación masiva de RCD en cortos períodos. Estos fenómenos pueden afectar a la infraestructura en general y su entorno dejando grandes cantidades de escombros y daños en las edificaciones que en ocasiones requieren ser parcial o totalmente demolidas. Los principales desafíos en la gestión de RCD tras desastres ambientales incluyen:

- **Volumen elevado de residuos:** La gran cantidad de escombros puede saturar rápidamente las capacidades locales de manejo de residuos.
- **Contaminación:** Los materiales pueden estar contaminados por sustancias peligrosas, lo que complica su manejo y disposición segura.
- **Necesidad de respuestas rápidas:** Es crucial limpiar y remover los residuos de manera eficiente para facilitar la reconstrucción y reducir el riesgo de salud pública en un corto plazo.



Figura 8 Residuos causados por la DANA en España

Fuente: <https://www.ecoavant.com>

Un ejemplo clásico de este tipo de RCD, es lo ocurrido por el fenómeno meteorológico DANA en España, en el invierno 2024.

En resumen, la generación de RCD proviene en su mayoría, de diversas actividades relacionadas con la construcción, demolición, y remodelación. Estas

actividades generan una variedad de residuos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden generar impactos a la salud e impactos ambientales significativos; abordar estos desafíos requiere una combinación de planificación adecuada, implementación de mejores prácticas constructivas, desarrollo de planes de contingencia para fenómenos naturales y regulaciones específicas para el sector de la construcción, de lo cual nace la necesidad de hacer una propuesta técnica de gestión de Residuos de Demolición y Construcción que englobe todos estos aspectos.

2.2 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR

2.2.1 Marco Legal que rige la Gestión de Residuos

En El Salvador, se cuenta con políticas de gestión de residuos sólidos desde noviembre de 2001, la cual está regulada por varias leyes y normativas ambientales, siendo el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), la entidad encargada de supervisar, coordinar y regular la gestión integral de los residuos. En mayo de 2010 se generó el Plan Nacional para el Mejoramiento del Manejo de Desechos Sólidos con el que se concluyó la propuesta de la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje.

Entre los distintos instrumentos del marco legal aplicable para el manejo de los residuos en El Salvador enumeradas de manera jerárquica, se tienen:

- 1- Constitución de la República.
- 2- Ley del Medio Ambiente.
- 3- Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje.
- 4- Código Municipal
- 5- Reglamento Especial sobre el Manejo de Desechos Sólidos.

Se presentan los artículos de la legislación vigente que están relacionados con la gestión de residuos, sus riesgos, actores, responsabilidades y acciones a desarrollar.

1) Constitución de La República

El Decreto No. 38, de la Constitución de la República, destaca dos puntos claves:

El Artículo 117, prioriza la protección y aprovechamiento de los recursos naturales, declarando que el Estado debe apoyar estas actividades mediante incentivos económicos y asistencia técnica.

El Artículo 204, otorga autonomía a los municipios para que puedan gestionar recursos y establecer regulaciones locales, permitiéndoles crear o modificar tasas y decretar ordenanzas para obras específicas dentro de los límites legales.

Este decreto refuerza la sostenibilidad ambiental y la autonomía municipal en la gestión de recursos y normativas locales.

2) Ley de Medio Ambiente

La Ley de Medio Ambiente de El Salvador, a través del Decreto No. 233, establece:

Unidades Ambientales (Art. 7): Las instituciones públicas deben tener Unidades Ambientales para supervisar y coordinar la gestión de desechos sólidos, asegurando el cumplimiento de las normativas.

Disposición de Desechos Sólidos (Art. 52): El Ministerio de Medio Ambiente, en coordinación con otros organismos, debe promover la reducción, reciclaje,

reutilización y disposición adecuada de desechos sólidos. Para ello, se creará un programa nacional que gestione integralmente estos residuos.

La ley prioriza la correcta gestión de desechos sólidos, enfocándose en su reducción y disposición adecuada para minimizar el impacto ambiental.

3) Ley de Gestión Integral De Residuos y Fomento Al Reciclaje

El Decreto No. 527; vigente desde el 6 de marzo de 2020 en El Salvador, aborda la gestión integral de residuos sólidos para superar las deficiencias en su recolección y manejo. La ley propone reemplazar el reglamento anterior de 2000, enfatizando la disposición final de los residuos y prohibiendo los botaderos a cielo abierto. Se promueve un cambio hacia un modelo de economía circular, incentivando la reducción, reciclaje y valorización de residuos desde su origen.

Objeto y Aplicación (Art. 1 y 2): La ley promueve la reducción, reutilización, reciclaje y valorización de residuos, aplicándose a todas las personas y entidades en El Salvador, excluyendo aguas residuales y emisiones atmosféricas.

Competencias Institucionales (Art. 6-10):

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN): Lidera la gestión integral de residuos, incluyendo la formulación de políticas, la

elaboración de un Plan Nacional de Gestión de Residuos, y la emisión de normativas. También debe crear un sistema de información sobre residuos.

- Municipalidades: Gestionan los residuos en su jurisdicción, emiten normativas locales, y pueden contratar gestores de residuos.
- Ministerio de Educación (MINED): Integra la gestión de residuos y reciclaje en el currículo educativo.
- Ministerio de Salud (MINSAL): Inspecciona instalaciones de gestión de residuos para garantizar condiciones sanitarias adecuadas.

Instrumentos para la Gestión de Residuos (Art. 13-18):

- Diagnóstico Nacional de Residuos (Art. 13): El MARN, en conjunto con las municipalidades, debe elaborar un diagnóstico previo al Plan Nacional que incluya caracterización de residuos, generación per cápita, cobertura del servicio, análisis de instituciones, infraestructura, y marco jurídico.
- Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos (Art. 14): Este plan debe basarse en el diagnóstico e incluir estrategias generales, objetivos para prevención, reutilización, reciclaje, valorización y disposición final, manuales de gestión, y ser consultado y actualizado cada siete años.

- Manuales de Gestión de Residuos (Art. 15): Los gestores deben elaborar manuales que incluyan el contexto organizacional, objetivos, planificación, procesos, sitios para gestión, acciones de mejora, respuesta a emergencias, monitoreo, auditorías y comunicación. Estos manuales se deben actualizar cada tres años.
- Jerarquía en la Gestión Integral de Residuos (Art. 16): La jerarquía prioriza: 1) prevención de residuos, 2) preparación para reutilización, 3) reciclaje/valorización, y 4) disposición final. Los gestores pueden ajustar prioridades con autorización del MARN.
- Sistema de Gestión Integral de Residuos (SGI) (Art. 17): Las municipalidades deben implementar un SGI que contemple separación desde la fuente, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, reciclaje/valorización y disposición final.
- Sistema de Información de la Gestión Integral de Residuos (SIGIR) (Art. 18): El SIGIR, administrado por el MARN, debe manejar información sobre generadores y gestores autorizados, residuos, infraestructura, tecnologías y normativas.

Obligaciones de Generadores y Gestores (Art. 19-25):

- Generadores: Deben separar los residuos en la fuente y entregarlos a gestores autorizados.

- Gestores: Requieren autorización del MARN y deben presentar un manual de gestión. Su autorización puede ser revocada en caso de incumplimiento de las normativas.

Clasificación de Residuos (Art 27-29):

Para facilitar la separación, manejo y aprovechamiento, los residuos se clasifican en:

- Residuos Municipales (RM): Son los residuos generados en actividades domésticas, oficinas, limpieza de vías y lugares públicos, y otros establecimientos comerciales e industriales que tengan características similares a los residuos domésticos y no sean considerados RME o RP.
- Residuos de Manejo Especial (RME): Estos residuos requieren una gestión especial debido a su volumen, manejo, tamaño y composición. Se clasifican en:
 - Chatarra.
 - Desperdicios de construcción, remodelación, mantenimiento, y demolición.
 - Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
 - Llantas usadas.
 - Residuos de gran volumen como colchones y muebles.
 - Residuos de procesos industriales y agropecuarios.
 - Lodos y material de filtrado de tratamiento de aguas residuales.

- o Residuos no peligrosos pero que requieren manejo especial por su tamaño y volumen.
- Residuos Peligrosos (RP): Son residuos que en estado sólido, líquido o gaseoso poseen características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o contienen agentes biológicos infecciosos. Incluyen materiales, envases, recipientes, embalajes y suelos contaminados por residuos peligrosos.

Clasificación de Generadores (Art. 30): Se identifican los generadores de residuos en tres categorías: municipales (RM), peligrosos (RME) y de procesos (RP).

Separación y Recolección (Art. 31): Los generadores deben separar los residuos según normativa municipal, y las municipalidades deben realizar la recolección diferenciada.

Unidades de Contención (Art. 32): Los residuos deben depositarse en unidades de contención adecuadas, instaladas por las municipalidades en lugares públicos.

Recolección y Transporte (Art. 33): El MARN establece los criterios técnicos para la recolección y transporte de residuos.

Disposición Final (Art. 34): Los residuos deben ser dispuestos en rellenos sanitarios u otras instalaciones autorizadas por el MARN, cumpliendo con normas técnicas y ambientales.

Propiedad y Comercialización (Art. 35-38): Los residuos recolectados son responsabilidad de las municipalidades. Los procesadores de materiales reciclables deben reportar al MARN y contar con infraestructura adecuada. Los intermediarios comerciales deben registrarse y reportar trimestralmente al MARN.

Vigilancia e Inspección (Art. 44-47): El MARN y las municipalidades vigilarán e inspeccionarán el cumplimiento de la ley. El MARN puede actuar de oficio o por denuncia; las municipalidades deben colaborar y designar equipos técnicos. Se exigirán medidas correctivas y podrán iniciarse sanciones si no se cumplen.

Infracciones y Sanciones (Art. 48-51): Las infracciones se dividen en leves, graves y muy graves. Las municipalidades sancionarán las infracciones leves; el MARN gestionará las graves y muy graves, con multas y posibles revocaciones de permisos.

Disposiciones Generales (Art 60-63):

- Los residuos en Zonas Francas se registrarán por la Ley de Zonas Francas.
- El Ministerio de Economía y el MARN ajustarán partidas arancelarias para exportar e importar residuos valorizables.

- El MARN emitirá Reglamentos generales en 90 días y Reglamentos técnicos en un año.
- Plazos para implementación incluyen 12 meses para el Diagnóstico Nacional de Residuos, 18 meses para el Plan Nacional y 6 meses para que las municipalidades y otros presenten solicitudes y manuales.

4) Código Municipal

Competencias Municipales (Art. 4): Incluyen la prestación del servicio de aseo, barrido de calles, recolección, tratamiento y disposición final de basuras, excluyendo desechos sólidos peligrosos y bioinfecciosos.

Regulación de Servicios Públicos (Art. 6-A): Los municipios pueden regular la prestación de servicios públicos, incluyendo la gestión de residuos, mediante ordenanzas y reglamentos.

Ordenanzas Municipales (Art. 35): Normas de aplicación general sobre gestión de residuos deben elaborarse de acuerdo con asuntos de interés local y entran en vigor ocho días después de su publicación en el Diario Oficial.

5) Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de los Derechos Sólidos

Este Reglamento tiene por objeto la regulación del manejo de los desechos sólidos; el cual, bajo la entrada en vigor de la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, queda desactualizado.

Objeto y Alcance (Art. 1 y 2): Regula el manejo de desechos sólidos, incluyendo los domiciliarios, comerciales, institucionales, y similares. Aplicable en todo el territorio nacional a personas naturales y jurídicas.

Responsabilidades (Art. 4): El MARN determina criterios para sitios de transferencia, tratamiento, y disposición final de desechos, y otorga permisos ambientales.

Almacenamiento Temporal (Art. 5): Los sitios de almacenamiento deben ser de fácil limpieza, ventilados, y diseñados para evitar acceso no autorizado y facilitar la separación de materiales reciclables.

Contenedores (Art. 6): Deben estar adecuadamente ubicados, cubiertos, impermeables, y mantener una correcta identificación.

Recolección y Transporte (Arts. 7-9): Deben ajustarse a criterios ambientales, con equipos adecuados y rutas establecidas.

Estaciones de Transferencia (Art. 10): Requieren de un permiso ambiental autorizado por el MARN y deben considerar volumen de desechos, ubicación y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento y Aprovechamiento (Art. 11): Incluye compostaje, recuperación, reutilización, y reciclaje. Requiere permiso ambiental.

Disposición Final (Art. 12): Acepta rellenos sanitarios y otras tecnologías ambientalmente apropiadas.

Rellenos Sanitarios: Los Rellenos Sanitarios, pueden clasificarse en manuales, mecanizados, o mixtos según el volumen de desechos.

- Relleno sanitario manual (Art. 15): Método de disposición final para poblaciones urbanas y rurales que generan menos de 20 toneladas diarias de desechos sólidos ordinarios.
- Relleno sanitario mecanizado (Art. 16): Método de disposición final para áreas urbanas que generan más de 40 toneladas diarias de desechos sólidos.
- Relleno sanitario combinado o mixto (Art. 17): Método utilizado en poblaciones que generan entre 20 y 40 toneladas diarias, combinando los métodos manual y mecanizado, dependiendo de las condiciones locales.

Vigilancia (Art. 20): El MARN realiza inspecciones y los titulares deben presentar informes anuales con datos sobre desechos y análisis de laboratorio que incluyan los parámetros de DBO, DQO, PH, Sólidos Totales, Cr, Pb, Hg, Ni.

Infracciones y Sanciones (Art. 23): El incumplimiento se sanciona según la Ley. Además, los parámetros técnicos deben ajustarse a normas del Reglamento, desarrolladas en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

2.2.2 Generación de Residuos Sólidos a Nivel Nacional

De acuerdo con la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, los residuos se dividen en: Residuos Municipales (RM), Residuos Peligrosos (RP) y Residuos de Manejo Especial (RME), siendo los residuos de construcción y demolición categorizados como RME.

En el año 2022 el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales publicó el “Diagnostico Nacional de Residuos” en el cual se determinó una estimación de la generación de los residuos; en este sentido, la siguiente tabla muestra dicha estimación, la cual incluye Residuos Municipales (RM) que fueron objeto de investigación de campo en este diagnóstico, Residuos Peligrosos (RP) basado en datos de estudios realizados por el MARN y Residuos Especiales (RME) determinados con un factor de aproximación del 20% del total generado, basado en la disposición final reportada por los gestores que manejan este tipo de residuos, considerando el sector construcción, el cual es el responsable de generar la mayor proporción de estos y puede ser correlacionado por el consumo

de cemento, registrado en los indicadores de producción del Banco Central de Reserva.

Tabla 1. Generación de Residuos Sólidos según su Clasificación

Tipo De Residuos	Origen Del Residuo	Generación De Residuos 2020		% Por Origen Del Residuo
		(Ton/día)	(Ton/año)	
Residuo Municipal (RM)	Residuo Domiciliar Urbano	2,335.18	852,340.60	44.42%
	Residuo de Comercio	1,345.24	491,011.68	25.59%
	Residuo Domiciliar Rural	546.06	199,311.57	10.39%
Residuo Peligroso (RP)	Residuo Sector Salud	8.26	3,016.29	0.16%
	Residuo Industria Manufacturera	145.78	53,208.91	2.77%
Residuo de Manejo Especial	Residuo de todos los sectores (20% del total de los otros residuos)	876.10	319,777.81	16.67%
TOTAL		5,256.62	1,918,666.86	100.00%

Fuente: Elaborada por AMBIENTEC, S.A. de C.V., a partir de procesamiento de la información proporcionada por gestores de residuos sólidos en 2021, así como registros y estudios del MARN de 2000 a 2021 (Diagnóstico Nacional de Residuos, MARN, 2022).

➤ Gestores en manejo de Residuos

El estudio identificó los gestores encargados de servicios de aseo municipal, como también operadores de estaciones de transferencia, tratamiento y disposición final de residuos mediante rellenos sanitarios que operan. Entre los gestores identificados se encuentran los que manejan residuos de Manejo Especial y residuos Peligrosos, estos cuentan con una disposición final dentro de instalaciones de rellenos sanitarios o considerados de importancia debido a que

son únicos, como el caso de Geocycle, que realiza coprocesamiento de residuos especiales y peligrosos, para alimentar los hornos de la planta de cemento El Ronco propiedad de Holcim El Salvador, ubicada en el municipio de Metapán, departamento de Santa Ana.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de operadores o gestores de manejo de residuos que operan y suman 345 hasta el año 2022, de los cuales, 320 son de carácter público. 17 privados y 8 que son Sociedades de Economía Mixta (S.E.M.).

Tabla 2. Tipos de gestores en manejo de residuos a diciembre de 2021

No.	Tipo De Gestor De Servicio	Cantidad De Gestores Identificados	Públicos	Privados	Mixto (S.E.M.)
1	Servicio de aseo (Municipalidades)	262	262	0	0
2	Rellenos sanitarios mecanizados	8	4	0	4
3	Plantas de tratamiento de residuos bioinfecciosos	2	0	2	0
4	Empresas de transporte de residuos bioinfecciosos	9	0	9	0
5	Estaciones de transferencias	13	5	4	4
6	Rellenos sanitarios manuales	9	9	0	0
7	Composteras con o sin trinchera de descarte	40*	40	0	0

8	Tratamiento de residuos peligrosos	1	0	1	0
9	Generador de energía a partir de biomasa de residuos	1	0	1	0
TOTAL		345	320	17	8

**Total de composteras que están operando de las 51 identificadas a diciembre de 2021.*

Fuente: AMBIENTEC, S.A. de C.V. (Diagnóstico Nacional de Residuos, MARN, 2022).

2.2.3 Generación de Residuos Sólidos de la Construcción a nivel del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

La cantidad de residuos sólidos de construcción producidos en la región están directamente relacionados con la cantidad de proyectos de construcción que se desarrollan en el área.

Para el AMSS se han clasificado los residuos que se generan en tres clases: Inertes, no peligrosos y peligrosos. En la siguiente tabla se muestra los porcentajes de composición general de los residuos generados para tres grupos, construcciones nuevas, demoliciones e infraestructura vial.

Tabla 3. Porcentaje de Residuos generados según grupo de estudio

Grupo	Tipo De Residuo	Residuos	Porcentaje Generado (%)	Porcentaje Total Por Tipo De Residuo (%)
Construcciones Nuevas	Inertes	Descapote	17.00	71.00
		Tierra Contaminada mezclada con otros materiales	16.00	
		Arenas	5.00	
		Gravas	2.00	

		Restos de concreto endurecido	4.00	
		Rebabas de mezclas (morteros)	8.00	
		Restos de Bloque de Concreto o Ladrillo	12.00	
		Restos de pegamento de cerámica endurecido	3.00	
		Cerámicas y azulejos	4.00	
	No Peligrosos	Maderas	5.00	23.00
		Tubos de drenaje PVC o Agua Potable y Electricidad	3.00	
		Laminas fibrocemento, zinc, galvanizada	3.00	
		Vidrio	1.00	
		Aluminio	1.00	
		Plásticos	2.00	
		Cartón	2.00	
		Papel de Bolsas de cemento y pegamentos de cerámica	4.00	
	Tabla Roca (Yeso)	2.00		
	Peligrosos	Envases de Aditivos de Concreto	1.00	6.00
		Latas de aluminio epóxicos	1.00	
		Envases selladores	1.00	
		Cubetas de pintura dañadas	1.00	
		Brochas usadas	1.00	
Envases de combustibles y lubricantes		1.00		
Demoliciones	Inertes	Tierra Contaminada mezclada con otros materiales	16.00	76.00
		Demolición de concretos: cimentaciones, columnas, vigas y losas	33.00	

		Restos de Bloque de Concreto o Ladrillo	19.00	19.00	
		Cerámicas / azulejos / ladrillos	8.00		
	No Peligrosos	Maderas	5.00		
		Tubos de drenaje PVC/Cemento	2.00		
		Tubería de Agua Potable PVC/ Hierro fundido	2.00		
		Ducteria PVC y alambre de electricidad y accesorios	2.00		
		Ducteria de Aire Acondicionado	2.00		
		Aluminio, ventanas dañadas	1.00		
		Vidrio dañado	1.00		
		Cielo falso de Fibrocemento dañado	1.00		
		Perfilería de aluminio dañado	1.00		
		Tabla Roca (Yeso)	2.00		
	Peligrosos	Laminas Asbesto	4.00		5.00
		Lámparas y focos dañados	1.00		
Infraestructura Vial	Inertes	Sobrante de material orgánico, producto de descapote y poda	19.00	67.00	
		Tierra Contaminada mezclada con otros materiales	16.00		
		Restos de arena contaminada	5.00		
		Restos de gravas contaminadas	5.00		
		Restos de concreto endurecido	5.00		
		Restos de Bloque de Concreto o Ladrillo	12.00		
		Rebabas de mezclas (morteros)	5.00		
	No Peligrosos	Tubos de drenaje PVC/Cemento	2.00	17.00	
		Tubería de Agua Potable PVC	1.00		
		Ducteria de PVC y alambre de electricidad	1.00		

		Restos de madera	4.00	16.00
		Clavos usados	2.00	
		Restos de alambre de amarre	2.00	
		Restos de electrodos	4.00	
		Restos de geotextil	1.00	
	Peligrosos	Envases combustibles	1.00	
		Envases lubricantes	1.00	
		Llantas usadas	1.00	
		Repuestos de maquinaria	1.00	
		Cartuchos vacíos de pólvoras para demolición	1.00	
		Envases de Aditivos de Concreto	1.00	
		Envases de desencofrante	1.00	
		Cartuchos de silicones	1.00	
		Brochas usadas	1.00	
		Envases de rellenadores de juntas de dilatación	1.00	
		Cubetas de pintura dañadas	1.00	
		Restos de asfaltos	5.00	

Fuente (2019): Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México).

Tabla 4. Resumen de porcentaje de residuos generados según grupo de estudio

RESUMEN				
Tipo de Residuo	Composición en porcentajes (%)			
	Construcción nueva	Demolición	Infraestructura Vial	Porcentaje promedio
Inertes	71.00	76.00	67.00	71.33
No Peligrosos	23.00	19.00	17.00	19.67
Peligrosos	6.00	5.00	16.00	9.00

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado obtenido muestra que los residuos inertes son los más predominantes en las actividades de construcción, demolición e infraestructura vial, con un promedio del 71.33%. Los residuos no peligrosos representan el 19.67% y los peligrosos solo el 9%, aunque en infraestructura vial alcanzan un 16%.

➤ **Clasificación bajo Categorización de Residuos reciclables o reutilizables**

Adicionalmente, se realizó una clasificación complementaria para cada tipo de construcción, utilizando una categorización basada en residuos reciclables y reutilizables, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Categorización de Residuos en reciclables y/o reutilizables

Tipo De Residuo	Categorización En Porcentajes (%)			
	Construcción Nueva	Demolición	Infraestructura Vial	Porcentaje Promedio
Reutilizable	23.00	28.00	20.00	23.67
Reciclable	70.00	60.00	58.00	62.67
Vertedero/Botadero Tratamiento especial	7.00	12.00	22.00	13.67

Fuente : Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México, 2019).

El cuadro evidencia que los residuos sólidos de construcción y demolición presentan un alto potencial de reciclaje, con un promedio del 62.67%. Los

residuos reutilizables constituyen el 23.67% en promedio, predominando en actividades de demolición. Por otro lado, los residuos que requieren tratamiento especial en vertederos o botaderos representan solo el 13.67%, siendo más prevalentes en proyectos de infraestructura vial.

➤ **Cantidad de RCD que se generan en m³/m² de construcción o demolición**

Se ha estimado la cantidad de residuos sólidos de construcción y demolición que son depositados en sitios no autorizados, los cuales han proliferado en diversas zonas; sin embargo, no es posible cuantificar con precisión los impactos ambientales que generan estos residuos sobre los recursos naturales, debido a la falta de control y monitoreo en dichos sitios, lo que impide una evaluación exacta de las afectaciones.

Tabla 6. Cantidad de RCD generados en m³/m² de construcción o demolición

Tipo de Construcción	RCD Producido por m² de construcción
Urbanizaciones	0.36 m ³ / m ² construido
Edificios	0.16 m ³ / m ² construido
Viviendas	0.18 m ³ / m ² construido
Demoliciones	0.16 m ³ / m ² construido
Obras Viales: Carreteras primarias (Incluye obras de paso)	0.50 m ³ / m ² construido

Fuente: Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México, 2019).

Con los datos obtenidos, se puede calcular el Índice promedio de generación de residuos de construcción, el cual ha sido determinado tomando en cuenta las cantidades de residuos generados por metro cuadrado en los diversos tipos de construcción. Estas cantidades han sido sumadas ($0.36 + 0.16 + 0.18 + 0.16 + 0.50$), resultando en un total de $1.36 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Posteriormente, este total se divide entre los cinco tipos de construcción analizados, obteniendo así un promedio de 0.272 m^3 de residuos por metro cuadrado construido. Este cálculo proporciona una referencia útil para estimar la cantidad promedio de residuos generados en diferentes tipos de proyectos de construcción y demolición.

En ese sentido, se puede aplicar el coeficiente de generación de residuos de 0.272 a los metros cuadrados construidos durante el periodo 2016-2018, y calcular el volumen total de residuos en metros cúbicos. Este volumen puede ser convertido a toneladas para su interpretación en términos de peso, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Producción generada de RCD en m2-Ton/m3

Año	Área En M2 Construida/A Construir	Cantidad De RSCD En M3	Ton/m3	Cantidad de RSCD Producidos y Proyectados Ton/m2	
		Índice = $0.272 \text{ m}^3/\text{m}^2$	Índice = 1.16		
2016	255099.21	69386.99	80488.91	211796.40	Toneladas Producidas 2016-2018
2017	204435.08	55606.34	64503.35		
2018	211727.12	57589.78	66804.14		
2019	224219.34	60987.66	70745.69	421223.75	Toneladas que se
2020*	220969.78	60103.78	69720.38		

2021*	224126.50	60962.41	70716.40	producirán en 2019-2024
2022*	220878.29	60078.89	69691.51	
2023*	224033.69	60937.16	70687.11	
2024*	220786.82	60054.02	69662.66	

**Proyectado.*

Fuente: Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México, 2019).

A partir de estos cálculos, se realizaron proyecciones para el periodo 2019-2024, basadas en el crecimiento proyectado del sector de la construcción, y se sustentaron en datos proporcionados por el Banco Central de Reserva (BCR), el Banco Mundial (BM) y otras fuentes económicas relevantes. De este modo, se determinó el volumen de residuos en metros cúbicos y toneladas que se espera producir en los próximos años, permitiendo planificar e implementar medidas adecuadas para gestionar eficazmente el volumen proyectado de residuos.

➤ **Cantidad específica de RCD**

Con los porcentajes previamente obtenidos sobre la composición de los residuos, es posible aplicar estos valores a las toneladas generadas por año. Esto permite calcular la cantidad específica de residuos inertes, peligrosos y no peligrosos que se producirán tanto anualmente como en proyecciones futuras.

Tabla 8. Cantidad producida y proyectada de residuos clasificados en inertes, peligrosos o no peligrosos

Cantidad De Residuos Inertes O Peligrosos En Toneladas Ya Producidos (2016-2018) Y Por Producir (Proyectado)									
AÑO	Cantidad De RSCD En Ton	Inertes 71.33%	No Peligrosos 19.67%	Peligrosos 9%	Inertes	No Peligrosos	Peligrosos	Total de RCD En Toneladas	
2016	80488.90	57412.73	15832.17	7244.00	151074.37	41660.35	19061.67	211796.39	Cantidad de RSCD del 2016-2018
2017	64503.36	46010.25	12687.81	5805.30					
2018	66804.14	47651.39	13140.37	6012.37					
2019*	70745.69	50462.90	13915.68	6367.11	300458.91	82854.71	37910.15	421223.77	Cantidad de RSCD del 2019-2024
2020*	69720.39	49731.55	13714.00	6274.84					
2021*	70716.39	50442.00	13909.91	6364.48					
2022*	69691.52	49710.96	13708.32	6272.24					
2023*	70687.11	50421.12	13904.15	6361.84					
2024*	69662.66	49690.38	13702.65	6269.64					

Fuente (2019): Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México).

Asimismo, se puede calcular la cantidad de residuos reutilizables, reciclables y los destinados al vertedero, lo que permite identificar de manera precisa el volumen de residuos que puede ser reutilizado o reciclado, y cuántos deberán ser destinados a disposición final en vertederos o botaderos.

Tabla 9. Cantidad producida y proyectada de residuos clasificados en reutilizables, reciclables y disposición final en toneladas

Cantidad de residuos reutilizables, reciclable y disposición final en toneladas ya producidas (2016-2018) y por producir (Proyección 2019-2024)									
Año	Cantidad De RSCD En Ton	Reutilizables 23.67%	Reciclables 62.67%	Vertedero/ Botadero 13.66%	Reutilizables	Reciclables	Vertedero/ Botadero	Total de RCD en Toneladas	
2016	64444.44	15254.00	40387.33	8803.11	40138.98	106274.16	23164.27	169577.41	Cantidad de RSCD del 2016-2018
2017	51645.41	12224.47	32366.18	7054.76					
2018	53487.56	12660.51	33520.65	7306.40					
2019*	56643.41	13407.50	35498.43	7737.49	77918.92	206302.44	44967.15	329188.51	Cantidad de RSCD del 2019-2024
2020*	52822.49	12503.08	33103.85	7215.55					
2021*	55001.57	13018.87	34469.48	7513.21					
2022*	54180.65	12824.56	33955.01	7401.08					
2023*	54180.65	12824.56	33955.01	7401.08					
2024*	56359.74	13340.35	35320.66	7698.74					

Fuente: Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México, 2019).

Con esta información, es posible planificar de manera eficiente la gestión futura de los residuos, determinando el tipo y capacidad de los vertederos necesarios para satisfacer las demandas de almacenamiento; además, de conocer la composición y el volumen proyectado de residuos, que permitirá implementar medidas adecuadas para su manejo, optimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental.

2.2.4. Tratamiento de RCD en El Salvador

- *Rellenos Sanitarios y Sitios Autorizados*

La normativa en El Salvador establece que los RCD deben de ser llevados a sitios autorizados, como rellenos sanitarios, que cuentan con infraestructura adecuada para manejar este tipo de desechos.

De acuerdo con el Diagnóstico Nacional de Residuos elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2022), las cantidades de rellenos sanitarios en operación son:

Tabla 10. Infraestructura existente al 2021 de apoyo para la Gestión de Residuos

No.	Tipo	Cantidad
1	Relleno sanitario mecanizado	8
2	Relleno sanitario manuales	9

Se identifican 40 composteras funcionando

Fuente: Diagnóstico Nacional de Residuos, MARN, 2022 (Ver Tabla 2. Tipos de gestores en manejo de residuos a diciembre de 2021).

Para el año 2022 se registró que los residuos de manejo especial se depositan por particulares en los rellenos sanitarios, donde figuran empresas como Calvo en San Miguel, GeocycleASEMUSA en el municipio de Texixtepeque y el Club de Playa Salinitas en KALI.

Tabla 11. Residuos de manejo especial depositados en rellenos sanitarios

No.	Relleno sanitario - Ubicación	Depositado 2020 (ton/año)	Depositado 2020 (ton/día)
1	MIDES, S.E.M. de C.V. – San Salvador	97,6262.07	267.47
2	KALE, S.E.M. de C.V. - Sonsonate	2,704.57	7.41
3	PULSEM, de C.V. – La Libertad	7,404.66	20.29
4	ASEMUSA – Santa Ana	9,062.45	24.83
5	SOCINUS, S.E.M. de C.V. – Usulután	618.29	1.69

6	San Miguel	1,858.73	5.09
7	ASINORLU – Santa Rosa de Lima	163.59	0.45
8	AMUSNOR - Tejutla	0.00	0.00
TOTAL		119,438.36	327.23

Fuente: Registro del MARN sobre la base de reportes operacionales que entregan los Gestores, (Diagnostico Nacional de Residuos, MARN, 2022).

Dentro de los usuarios que registran los rellenos sanitarios que depositan residuos especiales se encuentran algunas empresas constructoras, así como la industria hotelera y empresas prestadoras del servicio de transporte, que le brindan servicio a diferentes industrias y comercio.

- *Prácticas Ilegales*

Mediante el Decreto 237 del año 2007, se prohíbe el depósito de desechos sólidos en botaderos a cielo abierto, ni en ningún otro lugar que no estuviere legalmente autorizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

a) **Botaderos a Cielo Abierto:** A pesar de la prohibición explícita de los botaderos a cielo abierto, esta práctica sigue siendo común en varias zonas del país. Estos sitios ilegales son frecuentemente utilizados para deshacerse de ripio y otros residuos de construcción cómo se ha documentado en áreas como Soyapango y alrededor de San Salvador. En estos casos, los desechos son arrojados en terrenos privados o públicos sin ningún tipo de control, lo que resulta en la contaminación de áreas urbanas y rurales.

b) **Disposición en Zonas No Autorizadas:** En algunos casos, los residuos de grandes proyectos de demolición son dispersados en

múltiples sitios no autorizados. Por ejemplo, durante la demolición de la Biblioteca Nacional, los escombros fueron depositados en diferentes puntos alrededor de la capital, como pedreras y terrenos privados, algunos de los cuales no contaban con permisos para tal actividad. Esta práctica, además de ser ilegal, presenta riesgos significativos si los residuos contienen materiales peligrosos como el asbesto.

- ***Planta Construction Demolition Material (CDM), La Libertad - Holcim El Salvador***

Holcim cuenta con una tecnología llamada ECOCycle, que se ha implementado en el país desde el año 2023, la cual permite reciclar desechos de construcción y demolición (CDM) para crear nuevas soluciones de construcción.

A través de ECOCycle se puede reutilizar entre el 10% hasta un 100% de los materiales de demoliciones en una gran variedad de aplicaciones, utilizando materias primas con bajo contenido de carbono para producir cemento ecológico y emplea agregados reciclados en la fabricación de concreto y en la construcción de carreteras, permitiendo ampliar la construcción circular, reduciendo el uso de recursos naturales y la huella ambiental.

La tecnología ECOCycle funciona a través del procesamiento, uso y reciclaje efectivo de materiales de demolición, creando nuevas soluciones de construcción. Esto ayuda a reducir la cantidad de residuos que terminan en los

vertederos, disminuye la dependencia de materias primas vírgenes y contribuye positivamente a la biodiversidad al reducir la extracción de recursos naturales.

Holcim promueve la economía circular a través de:

- La incorporación de materiales de construcción y demolición en algunos cementos y concretos.
- Incorporación de residuos como energía y materia prima alternativa de la mano de Geocycle.
- Proyectos sociales que tienen como objetivo educar en temas de circularidad, en escuelas y universidades.

En el año 2024 HOLCIM creó una alianza con la distribuidora de electricidad DEL SUR S.A. de C.V., con el fin de reciclar los postes de la red eléctrica al haber finalizado su vida útil. Este proceso, lleva a los postes desechados por daños, a ser convertidos en nuevos agregados para incorporarlos nuevamente al proceso de producción de concreto para postes nuevos u otros.

Esta iniciativa es una apuesta estratégica para impulsar la circularidad de las operaciones, tanto de Holcim como de DEL SUR, ya que el 100% de los residuos son reutilizados para la fabricación de concreto, cumpliendo la valorización de estos dándole una nueva vida a dichos recursos. Se espera que para el primer año se logren reciclar al menos 500 postes retirados.



Figura 9. Acopio de Postes Eléctricos en Planta de Holcim

.Fuente: Investigación propia.

Para el primer trimestre del 2024, se instaló y se inició con la utilización del equipo de trituración exclusivo para el tratamiento de materiales de construcción y demolición en la planta de agregados en El Salvador. La proyección que tiene la empresa es de generar al menos 10,000 toneladas de agregados reciclados para la producción de 13,000 metros cúbicos de concreto ECOPact+, este concreto es caracterizado por ser fabricado con baja huella de CO2, siendo sostenible debido al uso de materiales reciclados en su mezcla.



Figura 10. Residuos de Demolición en Planta CDM de Holcim

Fuente: Investigación propia.

Proceso de trituración de RCD en Planta CDM

El proceso de trituración de piedra comienza con la carga de rocas de entre 30 y 42 pulgadas en un triturador de mandíbulas, que produce material conocido como "piedra cuarta" de entre 4 y 9 pulgadas. Para eliminar impurezas, una criba separa la tierra y otros materiales finos antes de que la piedra sea triturada. Luego, el material se almacena en una pila pulmón y se somete a una trituración secundaria en una trituradora de cono, reduciendo su tamaño a un rango de entre 0.25 y 1.5 pulgadas, según las especificaciones requeridas para su uso en concreto.

A continuación, el material se envía a un edificio con trituradoras de impacto de eje vertical, donde dos máquinas mejoran la forma cúbica de la grava y generan arena fina. El producto final se criba para asegurar que cumpla con las curvas

granulométricas requeridas, permitiendo la producción de diferentes tipos de arena triturada.

La planta de reciclaje procesa desechos de construcción, como partes de concreto y postes de electricidad en desuso, para producir áridos reciclados. Estos materiales se incorporan en la fabricación de nuevo concreto, utilizado en proyectos como ciclovías y arriates, cumpliendo con normativas y especificaciones técnicas estrictas.



Figura 11. Acopio de Material Triturado para ser Reutilizado

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Competencias Institucionales en la Gestión de Residuos

Para la gestión integral de los residuos se tienen diferentes entidades gubernamentales en participación; aunque, si bien la gestión integral de residuos se divide en dos grandes bloques o sectores como son los residuos municipales y los residuos peligrosos, se puede presentar en el siguiente cuadro un resumen de las atribuciones de las diferentes entidades del gobierno en la gestión integral de los residuos municipales.

Tabla 12. Competencias institucionales según marco legal de residuos municipales

No.	Institución	Funciones y Responsabilidad	Base Legal
1	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)	<p>Responsable sectorial en materia de Calidad Ambiental.</p> <p>Formular y evaluar las políticas nacionales en materia de gestión integral de residuos y reciclaje.</p> <p>Elaborar, ejecutar y aprobar un Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos y la valorización de estos, basado en un diagnóstico nacional.</p>	<p>Decreto No. 233, 04/05/98: Ley del Medio Ambiente.</p> <p>Decreto No. 527, 27/02/2020: Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje.</p>
2	Ministerio de Salud (MINSAL)	<p>Otorgar permisos de funcionamiento y realizar inspecciones sanitarias en la infraestructura e instalaciones relacionadas con la Gestión Integral de Residuos.</p> <p>En caso de riesgo zoonótico o grave amenaza de este, el MINSAL declarará como zona de riesgo sanitario cualquier Porción territorial y con ella dictará las medidas que fueran</p>	<p>Decreto No. 955, Re. 11/05/98: Código de Salud.</p> <p>Decreto No. 527, 27/02/2020: Ley de Gestión Integral de</p>

		necesarias para proteger la salud de la población.	Residuos y Fomento al Reciclaje.
3	Ministerio de Educación (MINED)	Incluir en el currículo Nacional la temática de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje. Incorporar programas de capacitación para maestros, para la implementación de los planes de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje.	Decreto No. 527, 27/02/2020: Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje.
4	Municipalidades	Prestar el servicio de aseo, barrido de calles, recolección, tratamiento y disposición final de residuos. Regular la gestión Integral de residuos y reciclaje, mediante ordenanzas que incorporen la obligación que tendrán las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas sujetas a su jurisdicción, de entregar a los recolectores municipales los residuos de manera separada en que la municipalidad disponga. Diseñar y aplicar su propio Manual de Gestión Integral de Residuos a partir de los lineamientos dictados en el Plan Nacional.	Decreto No. 274, 05/02/2006: Código Municipal Decreto No. 527, 27/02/2020: Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje.
5	Ministerio de Trabajo y Previsión Social (MINTRAB)	Verifica, vigila y evalúa las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.	Código de Trabajo. Ejecución; Departamento de Seguridad e Higiene Ocupacional.

6	Ministerio de Hacienda; Dirección de Contabilidad Gubernamental	Elaborar el Manual Técnico del Sistema de Administración Financiera (SAFI) y establecer las directrices para los diseños contables institucionales.	Decreto 516, 23/11/1995 Ley Orgánica de Administración Financiera del Estado.
7	Vice Ministerio de Transporte (VMT)	Vigilancia y control de transporte pesado, controlando a los vehículos que derramen desechos en las vías públicas.	Decreto 477. 19/10/1995 Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial
8	Fiscalía General de la República (FGR) Unidad de Medio Ambiente y Salud	Establece la contaminación Ambiental agravada como delito basado en el Código Procesal Penal.	Decreto Legislativo No. 1030 del 10/06/1997: Código Procesal Penal. Ley del medio Ambiente, Art 91 y 93.
9	Policía Nacional Civil (PNC) División del Medio Ambiente.	Investiga, previene, combate los niveles de contaminación provocada por productos químicos, vertidos industriales, basura y otros residuos.	Ley del Medio Ambiente, Título III Procedimientos, Art 91: El procedimiento Administrativo sancionatorio.

Fuente: Análisis del marco legal aplicable realizado por AMBIENTEC, S.A. de C.V. (Diagnóstico Nacional de Residuos, MARN, 2022).

2.3 IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DE LAS PRÁCTICAS ACTUALES

2.3.1 Impacto Social

a) **Salud Pública:** La exposición de las comunidades a botaderos ilegales de residuos de construcción y demolición (RCD) conlleva graves riesgos para la salud pública. Uno de los mayores peligros es la presencia de asbesto, un material utilizado en la construcción por su durabilidad y resistencia al fuego, pero que, al ser pulverizado e inhalado, puede causar enfermedades respiratorias graves como asbestosis y cáncer de pulmón. La gestión inadecuada de estos residuos pone en peligro la salud de quienes viven cerca de los botaderos.

Además, la contaminación del agua con sustancias tóxicas provenientes de estos desechos puede provocar brotes de enfermedades gastrointestinales, afectando tanto el agua potable como los sistemas de riego. En áreas densamente pobladas como Soyapango y Mejicanos, la cercanía de botaderos ilegales a zonas residenciales ha agravado los problemas de salud, especialmente debido al polvo generado por el movimiento de los escombros, que puede contener materiales peligrosos como el asbesto. Este polvo afecta de manera significativa a niños y personas mayores, que son los más vulnerables.

Otro problema crítico es la escorrentía superficial, que obstruye tuberías y canaletas, causando charcos e inundaciones en calles y carreteras. Estas condiciones favorecen la proliferación de mosquitos y otros vectores de

enfermedades, como el mosquito *Aedes Aegypti*, que transmite el Dengue, Zika y Chikungunya.



Figura 12. Botadero ilegal en riberas del Rio Las Cañas

*Nota: Se estima que una casa de 80m² puede llegar a generar 53.10 m³ de escombros
Fuente: <https://www.presidencia.gob.sv/tag/construccion-de-viviendas/>*

b) Deterioro de la Calidad de Vida: La presencia de botaderos ilegales cerca de zonas residenciales degrada la calidad de vida de los habitantes, por ejemplo, en el departamento de La Libertad, el impacto de los botaderos ilegales de RCD es evidente, estos sitios no autorizados no solo generan un mal aspecto urbano, sino que también afectan la calidad de vida de las comunidades circundantes, el ruido, los malos olores y la proliferación de plagas han deteriorado las condiciones de vida, generando un ambiente insalubre y poco seguro para los residentes.



Figura 13. Botadero ilegal en Río Colón, departamento de La Libertad

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

c) Desigualdad Social: Las prácticas ilegales de disposición de RCD suelen afectar de manera desproporcionada a las comunidades más vulnerables, que a menudo carecen de los recursos para defenderse o para exigir una gestión adecuada de los residuos, como las comunidades de escasos recursos, que rodean la pedrera La Florida en Colón, son desproporcionadamente afectadas por la disposición ilegal de escombros; estas comunidades, con menos acceso a servicios básicos y recursos legales, se encuentran más expuestas a los peligros ambientales y de salud asociados con los botaderos ilegales. Esto perpetúa la desigualdad social, ya que estas poblaciones son las más afectadas por los efectos adversos de la mala gestión de los RCD.



Figura 14. Acopio no autorizado de material fresado en Comunidad de Soyapango

.Fuente: Investigación Propia

d) Conflictos Sociales: La existencia de botaderos ilegales puede generar conflictos entre las comunidades afectadas y las autoridades locales, especialmente cuando no se toman medidas efectivas para resolver el problema. Estos conflictos pueden manifestarse en forma de protestas, denuncias públicas y, en casos extremos, en enfrentamientos violentos, lo que puede desestabilizar el tejido social y generar desconfianza en las instituciones públicas.

2.3.2 Impacto ambiental

a) Contaminación del Suelo y Agua: La disposición inadecuada de los RCD en botaderos a cielo abierto o en sitios no autorizados puede provocar la contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas. Los residuos de construcción pueden contener sustancias peligrosas, como metales pesados (plomo, mercurio) y compuestos

orgánicos volátiles, que, al filtrarse en el suelo, pueden contaminar las fuentes de agua subterránea; además, la presencia de asbesto en algunos materiales de construcción puede liberar fibras cancerígenas al ambiente si no se maneja adecuadamente.



Figura 15. Botadero ilegal dañino para la salud de las comunidades en Soyapango

Fuente: <https://www.ambiente.gob.sv/inspeccionamos-botadero-ilegal-en-soyapango/>

La ciudad de Soyapango es un ejemplo destacado donde la disposición inadecuada de RCD ha causado la contaminación del suelo y cuerpos de agua. Los botaderos ilegales en esta área, donde se depositan grandes cantidades de ripio y otros materiales de construcción, han resultado en la contaminación de arroyos y quebradas locales. Estas prácticas ilegales permiten que sustancias peligrosas, como metales pesados y otros contaminantes, se filtren en el suelo y lleguen a las fuentes de agua subterránea, afectando la calidad del agua disponible para las comunidades locales.

b) Erosión y Desestabilización del Terreno: La acumulación de escombros en terrenos no aptos puede causar la erosión del suelo y la desestabilización del terreno, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Esta situación no solo afecta la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, sino que también aumenta el riesgo de deslizamientos de tierra, que pueden tener consecuencias devastadoras para las comunidades cercanas.

En Colón, departamento de La Libertad, la disposición inadecuada de escombros provenientes de la demolición del edificio viejo de la Biblioteca Nacional, en la pedrera La Florida, ha generado serias preocupaciones sobre la estabilidad del terreno. Para ilustrar esta problemática, se presenta una imagen satelital del sitio, obtenida de Google Earth.

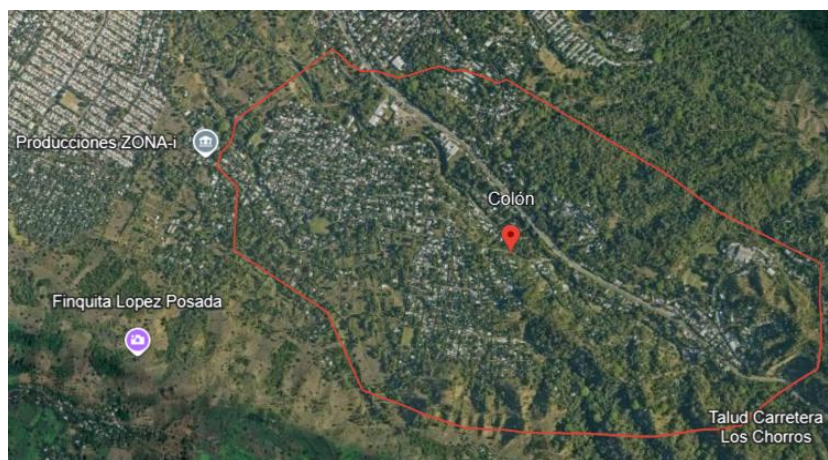


Figura 16. Imagen satelital Municipio de Colón, departamento de La Libertad

Fuente: Investigación Propia

Las coordenadas de esta área son 13.7267° N, 89.3689° W, lo que permite identificar su ubicación en el contexto regional. La falta de tratamiento y

segregación de estos residuos puede provocar erosión del suelo y desestabilización del terreno, lo que representa un riesgo considerable, especialmente en épocas de lluvia, cuando el terreno saturado podría desencadenar deslizamientos que afectarían las viviendas cercanas.

c) Degradación de Ecosistemas: Los botaderos ilegales pueden invadir áreas naturales protegidas o zonas ecológicamente sensibles, alterando los hábitats naturales y afectando la biodiversidad. La disposición inadecuada de residuos puede destruir la vegetación, contaminar cuerpos de agua y alterar el equilibrio de los ecosistemas locales, afectando tanto a la flora como a la fauna.

En San Matías, departamento de La Libertad, los residuos de construcción han sido depositados en un sitio no autorizado, lo que ha resultado en la degradación del ecosistema local.

A continuación, se presenta una imagen satelital del área afectada, obtenida de Google Earth, que ilustra la magnitud del problema.

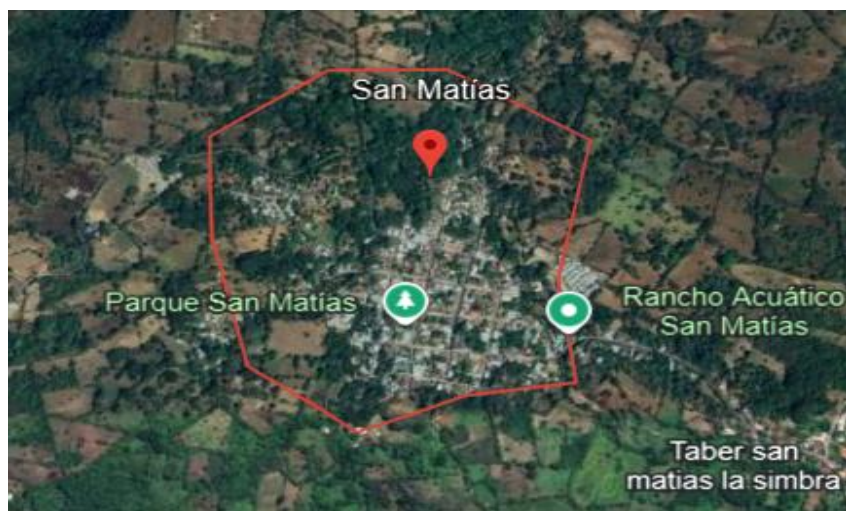


Figura 17. Imagen satelital Municipio San Matías, departamento de La Libertad

Fuente: Investigación Propia

Este sitio, anteriormente destinado a la venta de materiales de construcción, ahora alberga una acumulación de escombros que ha alterado la vegetación local y amenazado la fauna de la región. La falta de control en la disposición de estos residuos pone en riesgo la biodiversidad del área, que podría sufrir daños irreversibles si no se implementan medidas correctivas.

2.4 LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN



Figura 18. Economía Circular

Fuente: <https://eltarget.com/2018/08/27/conoces-la-economia-circular/>

La economía circular es un enfoque de producción y consumo que promueve la práctica de compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes tantas veces como sea posible para aumentar su valor. Esto resulta en una extensión del ciclo de vida de los productos.

En términos prácticos, la economía circular busca minimizar la generación de residuos. Cuando un producto alcanza el final de su vida útil, sus materiales son recuperados y reintegrados en la economía mediante el reciclaje, esto permite que se reutilice de manera productiva repetidamente, lo que genera un valor añadido.

Este enfoque contrasta con el modelo económico lineal tradicional, que se basa en el concepto de “usar y desechar”, dependiente de grandes volúmenes de materiales.

La aplicación de la economía circular en el sector de la construcción es algo sumamente importante, ya que este sector es uno de los mayores consumidores de recursos y uno de los principales generadores de residuos. En este contexto, la economía circular propone un enfoque que busca minimizar la generación de desechos y aprovechar al máximo todos los recursos, durante todas las etapas del ciclo de vida de los materiales y edificaciones. En lugar de continuar con el modelo lineal tradicional del “tomar, hacer, desechar”, la economía circular se centra en fomentar la reducción, reutilización, reciclaje, la recuperación y comercialización de materiales recuperados.

Según la Fundación Ellen MacArthur, ubicada en Reino Unido (Inglaterra), uno de los principales defensores de la economía circular, mencionan que esta práctica es una nueva forma de diseñar, hacer y usar las cosas dentro de los límites del planeta.

La economía circular reconoce que la manera en la que estamos haciendo las cosas, regidos por el sistema actual o “economía lineal”, está alcanzando sus límites de recursos y ya no funciona para la economía, medio ambiente y sociedad. Este enfoque en la construcción implica replantearse la manera en la que diseñamos, construimos y gestionamos edificaciones. La economía circular en la construcción busca:

- 1. Diseño para la reutilización y el reciclaje:** Construcción de edificios y utilización de productos de construcción con materiales que puedan ser fácilmente reutilizados o reciclados al final de su vida útil.
- 2. Uso Eficiente de los recursos:** Busca enfocarse en la optimización del uso de los materiales en todas las etapas del ciclo de vida de un edificio, esto implica no solo reducir la cantidad de recursos necesarios, sino también mejorar la eficiencia en su utilización, buscando implementar prácticas que minimicen el desperdicio durante la construcción.
- 3. Prolongar la vida útil de los edificios:** Mediante el mantenimiento, la renovación y la adaptación, se busca aprovechar por más tiempo la utilidad de las estructuras existentes.

2.4.1. Conceptos Básicos De Economía Circular.

Los siguientes conceptos proporcionan una base sólida para entender cómo la economía circular se aplica en el contexto de la construcción, promoviendo la sostenibilidad y la eficiencia de recursos en todo el ciclo de vida de los materiales y productos.

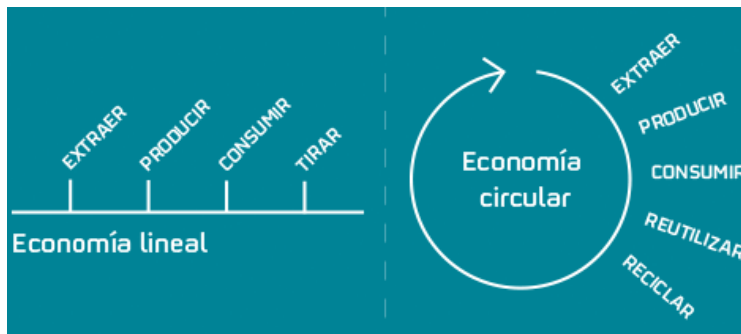


Figura 19. Esquema de diferencia entre "Economía Lineal" con "Economía Circular"

Fuente: Elaboración Propia

1. **Residuos de construcción y demolición (RCD):** Se refiere a los materiales sobrantes generados durante la construcción, renovación y demolición de edificios. En una economía circular, se busca minimizar estos residuos y reincorporar la mayor cantidad posible en nuevos proyectos.
2. **Materiales reciclados:** En la construcción, estos son materiales que han sido recuperados de residuos de construcción o demolición y reutilizados en nuevos proyectos. El uso de materiales reciclados reduce la demanda de materias primas y disminuye el impacto ambiental. Ejemplos incluyen el reciclaje de concreto, vidrio, metales y otros componentes de construcción.
3. **Ciclo de vida del producto:** Se refiere a todas las etapas que atraviesa un producto desde la extracción de sus materias primas, fabricación, uso y finalmente su reciclaje o disposición final. En la economía circular, el objetivo es extender este ciclo de vida al

máximo, minimizando la necesidad de nuevos recursos y reduciendo los residuos.

4. **Economías de servicios:** En lugar de vender productos, las empresas proporcionan servicios que permiten a los clientes acceder a los productos sin necesidad de poseerlos, como en el caso de servicios de alquiler de maquinaria y herramientas de construcción. Esto fomenta la reutilización y la eficiencia de los recursos.
5. **Certificaciones y estándares sostenibles:** En la construcción, existen varias certificaciones y estándares que promueven la economía circular, como la LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), la BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) y la Cradle to Cradle, entre otras. Estas certificaciones evalúan el impacto ambiental de los edificios y promueven prácticas de diseño y construcción sostenible.
6. **Innovación en materiales:** Implica el desarrollo de nuevos materiales que sean más sostenibles, duraderos y reciclables, como los bioplásticos, el concreto reciclado, o los materiales compuestos que se puedan descomponer y reutilizar fácilmente.
7. **Impacto ambiental y huella de carbono:** En la economía circular, se busca reducir el impacto ambiental y la huella de carbono de la

construcción mediante la optimización de recursos, la eficiencia energética y la minimización de residuos.

2.4.2. Relevancia de la Aplicabilidad en la Gestión de los RCD.

En el contexto de la economía circular, la gestión de los RCD se convierte en un componente crucial para maximizar los beneficios de este enfoque. La relevancia de aplicar los conceptos de economía circular a la gestión de RCD radica en varias dimensiones relacionadas. A continuación, se describen las principales razones que subrayan la importancia de implementar prácticas sostenibles en la gestión de los RCD.

1. Minimización de Residuos: Implementar prácticas de economía circular en la gestión de RCD permite reducir significativamente los residuos generados durante la construcción, renovación y demolición. Al reincorporar materiales reciclados en nuevos proyectos, se disminuye la necesidad de extraer y procesar nuevos recursos, lo que alinea con el principio fundamental de la economía circular de reducir la generación de residuos.

2. Ciclo de vida amplio: La aplicación de un enfoque circular en la gestión de RCD busca extender el ciclo de vida de los materiales de construcción. A través de la reutilización y el reciclaje, los materiales no solo se mantienen en circulación durante más tiempo, sino que

también se reduce el impacto ambiental asociado con la producción de nuevos materiales.

3. Eficiencia de recursos: Los principios de economía circular promueven la eficiencia en el uso de recursos al maximizar el valor de los materiales reciclados. Esto no solo ayuda a conservar recursos naturales, sino que también contribuye a la reducción de costos y al fomento de prácticas sostenibles en la industria de la construcción.

4. Beneficios ambientales y económicos: Al aplicar los conceptos de economía circular a la gestión de RCD, se logran importantes beneficios ambientales, como la reducción de la huella de carbono y la disminución del impacto ecológico de los residuos; además, la eficiencia en el uso de materiales reciclados puede generar beneficios económicos al reducir la dependencia de materiales vírgenes y al optimizar los procesos de construcción.

2.4.3 Beneficios de la Aplicabilidad de la Economía Circular.

Tabla 13. Beneficios de la Economía Circular

Innovación Desarrollo de nuevas tecnologías y practicas sostenibles en la construcción	Sostenibilidad Reducción de la dependencia de recursos finitos y minimización de residuos
Calidad de Vida Creación de entornos más limpios y saludables para las comunidades	Desarrollo Económico Fomento de nuevas oportunidades de empleo y crecimiento sostenible.

Fuente: Elaboración Propia.

La implementación de la economía circular en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) ofrece numerosos beneficios que abarcan aspectos ambientales, económicos y sociales. A continuación, se detallan los principales beneficios de aplicar la economía circular en el sector de la construcción.

1. Innovación y Mejora de Procesos:

La economía circular fomenta la innovación en el sector de la construcción:

- **Nuevas tecnologías:** La necesidad de gestionar los RCD de manera eficiente impulsa el desarrollo de nuevas tecnologías para la clasificación, procesamiento y reciclaje de materiales.
- **Diseño sostenible:** Fomenta el diseño de edificios y estructuras que faciliten la reutilización y el reciclaje de materiales, promoviendo prácticas de construcción más sostenibles y eficientes.
- **Optimización de recursos:** La implementación de tecnologías y prácticas de economía circular puede mejorar la eficiencia en el uso de recursos, optimizando los procesos de construcción y reduciendo los costos operativos.

2. Sostenibilidad a Largo Plazo:

La economía circular contribuye a la sostenibilidad a largo plazo del sector de la construcción:

- **Resiliencia:** Al reducir la dependencia de recursos finitos y minimizar los residuos, las empresas de construcción pueden volverse más resilientes frente a las fluctuaciones de los precios de los materiales y la disponibilidad de recursos.
- **Crecimiento sostenible:** Promover la economía circular permite un crecimiento económico que no compromete la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.
- **Responsabilidad social:** La adopción de prácticas de economía circular demuestra un compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social, beneficiando tanto a la sociedad como al medio ambiente.

3. Mejora de la Calidad de Vida:

La economía circular también puede tener un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades:

- **Entornos más saludables:** La reducción de residuos y la contaminación contribuye a crear entornos más limpios y saludables para las comunidades locales.
- **Desarrollo comunitario:** La creación de empleos y la promoción de prácticas sostenibles pueden fomentar el desarrollo económico y social de las comunidades.

2.4.4 Aplicabilidad de la Economía Circular para la Gestión de RCD.

La aplicabilidad de la economía circular en la gestión de los RCD se puede observar en varias áreas clave del proceso constructivo y de demolición, y su implementación efectiva requiere la integración de diversas prácticas y tecnologías. A continuación, se describen las formas en que la economía circular puede aplicarse en la gestión de RCD:

1. Minimización de residuos:

- **Selección de materiales:** Optar por materiales reciclables y de bajo impacto ambiental que faciliten su reutilización y reciclaje al final de su vida útil.
- **Planificación de ciclo de vida:** Considerar el ciclo de vida completo de los materiales y estructuras, incluyendo su demolición y potencial de reutilización.

2. Reciclaje de materiales:

- **Reciclaje de concreto:** Triturar el concreto de demolición y reutilizarlo como agregado en nuevos proyectos de construcción. Ejemplo: Plantas de reciclaje que procesen el concreto y lo vendan como material de construcción reciclado.
- **Reciclaje de metales:** Recoger metales como acero y aluminio durante la demolición y enviarlos a instalaciones de reciclaje para fundirlos y reutilizarlos. Ejemplo: Empresas especializadas en la recuperación de metales de edificios demolidos.

3. Reutilización de materiales:

- **Reutilización de componentes:** Reutilizar elementos estructurales, como vigas, puertas y ventanas, en nuevos proyectos. Ejemplo: Una empresa de demolición que almacena vigas de madera para reutilizarlas en renovaciones o nuevas construcciones.
- **Renovación y restauración:** Renovar edificios antiguos utilizando materiales recuperados de otras estructuras.

4. Ciclo de vida del producto:

- **Gestión del ciclo de vida:** Implementar un enfoque de gestión del ciclo de vida para planificar la durabilidad y reciclabilidad de los materiales. Ejemplo: Seleccionar materiales de construcción que tengan una larga vida útil y que sean fácilmente reciclables al final de su ciclo de vida.
- **Mantenimiento y reparación:** Promover prácticas de mantenimiento y reparación para extender la vida útil de los materiales y estructuras. Ejemplo: Programas de mantenimiento regular para edificios que eviten la necesidad de renovaciones extensivas.

5. Economía de servicios:

- **Modelos de alquiler de equipos:** Optar por el alquiler en lugar de la compra de maquinaria de construcción.

- **Servicios de gestión de residuos:** Utilizar servicios especializados en la gestión de residuos para la clasificación y reciclaje de RCD. Ejemplo: Contratar a una empresa que se encargue de la separación y procesamiento de materiales reciclables en el sitio de construcción.

6. **Certificaciones y estándares sostenibles:**

- **Certificaciones de sostenibilidad:** Obtener certificaciones que avalen el cumplimiento de prácticas sostenibles en la gestión de RCD. Ejemplo: Un edificio certificado LEED que implemente sistemas de reciclaje y reutilización de materiales.
- **Cumplimiento de normativas:** Asegurarse de que las prácticas de gestión de RCD cumplan con las normativas y estándares internacionales de sostenibilidad. Ejemplo: Adaptar los procesos de gestión de residuos para cumplir con los estándares BREEAM.

CAPÍTULO 3: GESTIÓN DE RESIDUOS DE RCD EN OTROS PAÍSES.

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) representa un desafío importante en el ámbito ambiental, especialmente debido a la cantidad de desechos que se generan en las actividades de construcción y demolición. En un mundo donde la sostenibilidad es cada vez más relevante, varios países han adoptado medidas innovadoras y políticas que buscan mejorar el manejo de estos residuos. Este capítulo examinará las experiencias de países como México, Chile y Colombia, enfocándose en las acciones implementadas y en los marcos normativos que sustentan sus estrategias de economía circular. También se presentarán ejemplos de iniciativas exitosas y políticas gubernamentales que han contribuido a optimizar la gestión de los RCD en estos contextos, proporcionando así un referente que puede ser útil para el desarrollo de prácticas sostenibles en la gestión de residuos en El Salvador.

3.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ENFOQUES DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

- México

Acciones prácticas:

México ha implementado una serie de iniciativas concretas para mejorar la gestión de los RCD, especialmente en áreas metropolitanas como la Ciudad de México. El Centro Integral de Reciclaje (CIREC-MH) procesa grandes volúmenes de RCD, lo que ha permitido reciclar materiales como el concreto y reutilizarlos en nuevos proyectos. Además, se han creado programas de educación y capacitación para los trabajadores de la construcción, orientados a mejorar la separación de residuos en origen, una práctica que ha reducido significativamente los volúmenes de desechos que terminan en vertederos.



Figura 20. Centro Integral de Reciclaje (CIREC-MH), México

Fuente: Portal de Gobierno de la Ciudad de México.

El Programa de Recolección de RCD 2023, lanzado por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), ha recuperado hasta octubre de 2024 más de 16,000 toneladas de RCD en colaboración con empresas especializadas y nueve alcaldías. Este programa se basa en la Norma Ambiental NACDMX-007-RNAT-2019, que promueve el uso de agregados reciclados en obras públicas y privadas como parte de un enfoque hacia el desarrollo sostenible y la reducción de emisiones de carbono.

En otros estados como Jalisco y Baja California, se han desarrollado proyectos piloto que reutilizan materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viales. Estas iniciativas, además de reducir la demanda de materiales vírgenes, impulsan la adopción de estándares de sostenibilidad como la certificación LEED, que promueve prácticas de construcción ecológica y la minimización de residuos desde la fase de diseño. Otras acciones relevantes incluyen el uso de tecnologías como el modelado 3D y los drones para optimizar la gestión en grandes obras, así como la integración de la prefabricación modular para reducir la generación de residuos.



Figura 21. Recolección de RCD por limpieza de campamentos de resguardo (2023)

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA).

A pesar de que se estima que solo al rededor del 20% de los residuos generados por demolición y construcción, son gestionados adecuadamente en sitios oficialmente autorizados, es importante destacar que el seguimiento actual de las iniciativas antes mencionadas representa un buen avance en la implementación de la gestión los RCD en México.

Políticas y normativas:

El marco normativo clave en México es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, complementada por la NOM-161-SEMARNAT-2011, que regula los residuos sólidos de manejo especial, como los RCD. A nivel local, la Ley de Residuos Sólidos de la Ciudad de México exige que las constructoras presenten planes de manejo de residuos a todos aquellos proyectos que generen más de 80 m³ de RCD, esto conlleva a que se integren principios de economía circular en sus proyectos. Estas normativas se han concentrado en las áreas metropolitanas, promoviendo la creación de infraestructuras como las plantas de reciclaje e implementar un sistema para asegurar el manejo adecuado de los RCD.

Además de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, existe un plan que dio inicio en el año 2023 el cuál se denomina: El "Plan Nacional de Manejo de RCD", que es desarrollado en conjunto por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), el cuál promueve prácticas sustentables desde la planificación hasta la disposición final. Por otro lado, el "Plan de Acción Climática de la Ciudad de México 2020-2024" integra la gestión de RCD dentro de sus estrategias para la reducción de emisiones, incentivando el reciclaje y la reutilización en proyectos de infraestructura pública.

- **Chile**

Acciones prácticas:

Chile ha desarrollado infraestructuras avanzadas para la valorización de residuos de construcción, como la Planta de Valorización de Residuos de Valparaíso, que recicla concreto, acero y plásticos, se estima que esta planta, tiene una capacidad proyectada para reciclar 120,000 toneladas de residuos en un periodo de tres años. Estas instalaciones forman parte de una red más amplia que incluye otras plantas en ciudades como Antofagasta y Concepción. Además, las empresas constructoras han establecido alianzas con recicladoras para facilitar la reutilización de materiales. La separación selectiva de los materiales, denominada también "demolición selectiva", es una técnica que se está implementando la cual permite recuperar más del 80% de los materiales usados en proyectos, reduciendo drásticamente los residuos enviados a vertederos.

A nivel nacional, la "demolición selectiva" ha permitido la reutilización de materiales en proyectos de gran relevancia, como la remodelación de edificios históricos y rehabilitación de carreteras estatales, esto facilita el acceso a materiales reciclados de calidad y a precios competitivos. Además, en la Región Metropolitana y otras zonas urbanas, se han implementado centros móviles de reciclaje que permiten gestionar los RCD más cerca del lugar donde han sido generados, esto reduce costos y emisiones asociadas al transporte.



Figura 22. Planta de Valorización de RCD en Valparaíso, Chile

Fuente: Planta de Reciclaje Antofagasta, Chile.

Políticas y Normativas:

El marco normativo que impulsa la economía circular en Chile es la Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035, cuyo objetivo principal es reducir la generación de RCD y fomentar su reciclaje y reutilización. dicho documento promueve la utilización de materiales reciclados en obras públicas, mediante la creación de incentivos fiscales para las empresas que adoptan prácticas sostenibles en sus proyectos, con esta iniciativa se tiene proyectado que para 2035, el país haya alcanzado una reducción entre 40 y 60% en la generación de RCD y un aumento del 50% en el reciclaje de materiales de la construcción.

A esto se suma la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que obliga a las empresas productoras de materiales de construcción a financiar la gestión adecuada de los residuos derivados de sus productos. La ley ha fomentado la innovación en el uso de materiales reciclados y ha incentivado la

creación de infraestructuras de reciclaje en diversas regiones del país, uno de los aspectos claves en la implementación de la Ley REP es la creación de Sistemas de Gestión autorizados por el Ministerio del Medio Ambiente, los cuales aseguran el cumplimiento de las metas establecidas en los decretos antes mencionados, permitiendo así a las empresas constructoras alcanzar de manera más sencilla los objetivos de reciclaje de RCD solicitados, mediante informes periódicos sobre su progreso alcanzado.

En resumen estas políticas han tenido avances muy buenos, ya que se estima que cerca del 80% de los residuos están teniendo una disposición final adecuada, sin embargo el otro 20% sigue siendo un problema que persiste en Chile, esto se debe a que en varias regiones aún no cuentan con sitios legales de disposición de RCD, es importante mencionar que en el año 2021 se identificaron 3,735 sitios ilegales los cuales se han convertido en un desafío prioritario para las autoridades debido a sus graves implicaciones.

- **Colombia**

Acciones prácticas:

En Colombia, la Planta de Tratamiento de RCD en Bogotá ha permitido reducir en un 30% la cantidad de residuos destinados a vertederos. Esta planta procesa grandes volúmenes de concreto y áridos, los cuales son reutilizados en proyectos de infraestructura vial y vivienda social. Además, se han implementado

tecnologías digitales como el uso de blockchain¹ para rastrear el ciclo de vida de los residuos, registrando cada etapa del manejo de los residuos, desde su generación en la obra hasta su disposición final o reciclaje, mejorando y optimizando el reciclaje.



Figura 23. Planta de acopio de RCD, soluciones integrales en Colombia

Fuente: <https://rcdproject.com/>

El Ministerio de Ambiente ha establecido como objetivo aprovechar al menos el 30% de los residuos generados por demolición y construcción, aunque actualmente solo el 20% de estos son reciclados de manera efectiva. La Ruta N en Medellín es un buen ejemplo de proyectos locales que canalizan recursos hacia la innovación y tecnología para mejorar el reciclaje y la reutilización de materiales de construcción, Es importante destacar que estas prácticas implementadas en Colombia han influido en la buena disposición de los RCD,

¹ *Tecnología de registro distribuido y descentralizado que permite la transferencia y almacenamiento de información de manera segura, transparente e inmutable.*

pero también, promueven e impulsan las construcciones con certificaciones LEED y EDGE.

Políticas y normativas:

El marco legislativo en Colombia se centra en la Ley 1672 de 2013 y el Plan Nacional de Gestión de RCD, que proporcionan una guía para la gestión de residuos en el país. Estas normativas fomentan la separación en origen, la creación de plantas de reciclaje y la educación en la gestión de residuos, con un enfoque en la sostenibilidad.

Un poco más actuales, podemos encontrar políticas como la Estrategia Nacional de Economía Circular y el CONPES 3874 de 2016 han impulsado la economía circular, enfocándose en la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, y El CONPES 3934 de 2018, el cual establece objetivos claros para la gestión integral de los residuos sólidos en Colombia, con un enfoque en mejorar la infraestructura de reciclaje, impulsar alianzas entre el sector público y privado, y generar una conciencia más profunda sobre la sostenibilidad en la gestión de RCD, toda estas políticas buscan transformar el enfoque tradicional lineal de la construcción hacia uno más circular, promoviendo la valorización de los residuos y generando nuevas oportunidades de trabajo en el sector de la construcción y minimizar, costos a mediano y largo plazo a las mismas empresas constructoras.

- **Otras experiencias internacionales sobre la gestión de residuos de construcción y demolición**

Acciones prácticas:

En Europa, la gestión de RCD ha avanzado significativamente en países como Dinamarca y Países Bajos, donde se han implementado estrategias de reciclaje que permiten alcanzar tasas de recuperación de hasta el 90%. Estas acciones incluyen la separación en origen y el uso de materiales reciclados en la construcción de nuevas infraestructuras. En estos países, el enfoque está en reintroducir los materiales de construcción al ciclo productivo, reduciendo así la demanda de recursos vírgenes y minimizando el impacto ambiental, además, en países como Alemania, se están aplicando tecnologías avanzadas para la identificación y clasificación de materiales en sitio, lo que permite un reciclaje más eficiente.

En Japón, podemos destacar el manejo de RCD ya que ha sido un componente clave de sus políticas de desarrollo urbano sostenible, en ciudades como Tokio, se ha implementado la demolición selectiva como una práctica estandarizada, permitiendo la recuperación de materiales valiosos como acero y concreto, los cuales han reutilizados en nuevas construcciones, esto ha ayudado a reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos, alineándose con las metas del país en materia de sostenibilidad, ya que es un referente a nivel mundial.

En Estados Unidos, por su parte, en estados como California y New York han adoptado innovaciones para la gestión de RCD, enfocándose en los desmontajes en lugar de la demolición, esto debido a la naturaleza de los sistemas constructivos que desarrollan, lo que permite recuperar materiales de construcción como madera y acero, y elementos prefabricados de concreto, estas prácticas han sido fundamentales para proyectos de construcción sostenible, donde los materiales recuperados se utilizan en nuevas obras, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono.

Políticas y normativas:

A nivel regulatorio, la Unión Europea se ha comprometido a reciclar al menos el 70% de los RCD bajo la Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE), superando esta meta en varias naciones, Dinamarca, Países Bajos, Francia y España han adoptado incentivos para fomentar el uso de agregados reciclados en obras públicas, mientras que otros países, como Suecia, promueven la economía circular mediante políticas que priorizan la prevención de residuos desde el diseño de los proyectos.

En Japón, La Ley de Reciclaje de Materiales de Construcción, que rige desde 2002, obliga a las empresas constructoras a separar y procesar los residuos de forma responsable, esta normativa ha permitido que Japón mantenga una tasa de reciclaje de RCD por encima del 80%, garantizando que materiales como el concreto sean reciclados y reintroducidos en el ciclo de construcción,

minimizando el uso de recursos vírgenes, hay que destacar que este país tiene más de 20 años implementando la gestión adecuada de los RCD.

En, los Estados Unidos, a nivel estatal, California está implementado normativas estrictas para la gestión de RCD, requiriendo que los proyectos de construcción y demolición reciclen al menos un 65% de los residuos generados, además, ciudades como Nueva York exigen que los proyectos de gran envergadura sigan certificaciones como LEED, promoviendo la reutilización de materiales y el uso de tecnologías limpias.

3.2 INICIATIVAS EXITOSAS Y POLÍTICAS GUBERNAMENTALES QUE CONTRIBUYERON AL MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE LOS RCD.

- **México**

Resultados:

La creación de la Planta de Reciclaje de RCD en la ciudad de México, ha sido clave para reducir en más del 70% los residuos de construcción y demolición que anteriormente se enviaban a vertederos. Este esfuerzo ha ido acompañado de programas de concientización que han impulsado a las empresas constructoras a incorporar el reciclaje como una parte fundamental de sus proyectos. Además, la infraestructura para el reciclaje de residuos se ha expandido a otros estados, como Puebla y el Estado de México, lo que ha permitido un aumento en la capacidad de gestión de los residuos en todo el país, para ser reutilizados en nuevas obras.

Otra iniciativa importante es el Programa de Recolección de RCD 2023, lanzado por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), que hasta octubre de 2024 ha logrado recuperar más de 16,000 toneladas de residuos, dicho programa ha sido fundamental en la colaboración entre empresas especializadas y las autoridades de nueve alcaldías, promoviendo el uso de agregados reciclados tanto en obras públicas como privadas, especialmente en estados como Jalisco y Baja California, donde se están llevando a cabo proyectos piloto para reutilizar estos materiales reciclados en la construcción de carreteras y otras infraestructuras viales, si bien solo un 20% de los residuos generados por la construcción y

demolición en México se gestionan adecuadamente en sitios autorizados, estos esfuerzos representan un avance importante hacia una mejor gestión de los RCD en el país.

Impacto de políticas:

La Ley de Residuos Sólidos y la NOM-161-SEMARNAT-2011² han sido fundamentales en la promoción de la economía circular en el sector de la construcción, exigiendo la creación de planes de manejo, en especial para obras de gran magnitud, las cuales generan grandes volúmenes de residuos. La ley ha incentivado la innovación y el crecimiento de la infraestructura de reciclaje en áreas metropolitanas, impulsando el uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructura pública y privada.

A nivel nacional, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, junto con la Ley de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, exige que los proyectos de construcción que generen más de 80 m³ de RCD presenten un plan de manejo, lo que ha ayudado a integrar la economía circular en los proyectos de construcción, dichas regulaciones han fomentado el desarrollo de plantas de reciclaje y han permitido establecer sistemas más robustos para la gestión adecuada de los residuos.

En 2023, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) lanzaron el "Plan

² Norma Oficial Mexicana, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo.

Nacional de Manejo de RCD", está promoviendo prácticas sustentables desde la fase de planificación hasta la disposición final de los residuos. Además, el "Plan de Acción Climática de la Ciudad de México 2020-2024" ha integrado la gestión de los RCD como parte de su estrategia para reducir las emisiones de carbono, incentivando el reciclaje y la reutilización en los proyectos de infraestructura pública.

- **Chile**

Resultados:

En Chile, la Planta de Valorización de Valparaíso juega un rol clave al reciclar más de 100,000 toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) al año, lo que ha ayudado significativamente a reducir la demanda de materias primas vírgenes, esta planta, junto con otras en el país, ha generado más de 7,000 empleos verdes y ha disminuido el uso de vertederos ilegales. Además, la innovación en el uso de materiales reciclados ha permitido que los residuos procesados se empleen en proyectos de infraestructura sostenible. Se espera que la planta de Valparaíso, con una capacidad proyectada para reciclar 120,000 toneladas en un periodo de tres años, siga contribuyendo a estos esfuerzos.

Una técnica clave que se está implementando a nivel nacional es la "demolición selectiva", que permite la recuperación de más del 80% de los materiales utilizados en obras de construcción, reduciendo drásticamente los desechos enviados a vertederos, en regiones urbanas como la Región Metropolitana, la

puesta en marcha de centros móviles ha sido un factor clave para lograr estos objetivos.

Impacto de políticas:

El desarrollo del marco normativo en Chile, particularmente la Hoja de Ruta 2035 y la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), ha impulsado notablemente la economía circular en la construcción, estas políticas han incentivado la creación de una red nacional de plantas de reciclaje y la participación activa de empresas privadas en el ciclo de reciclaje. A través de la Hoja de Ruta, el gobierno se ha comprometido a reducir entre un 40% y 60% la generación de RCD y a aumentar en un 50% el reciclaje de materiales de construcción para 2035, lo que representa un importante avance en términos de sostenibilidad.

A través de la Ley REP, se está garantizando que las empresas productoras de materiales de construcción están obligadas a financiar y gestionar adecuadamente los residuos generados por sus productos, además de estar fomentado la innovación y la creación de infraestructuras de reciclaje en diferentes regiones del país, un elemento clave en la implementación de esta ley es la creación de Sistemas de Gestión aprobados por el Ministerio del Medio Ambiente, para monitorear el cumplimiento de las metas de reciclaje a través de informes periódicos que son presentados por las empresas.

- **Colombia**

Resultados:

Específicamente en Bogotá, la Planta de Tratamiento de RCD ha logrado reducir en un 30% los residuos que van a los vertederos, esta planta recicla grandes volúmenes de RCD, los cuales han sido reutilizados en más de 100 proyectos de infraestructura vial y vivienda social, esto ha fomentado una economía más circular en el sector de la construcción, además, se están incorporando avances tecnológicos para la gestión de RCD, como el uso de blockchain, para hacer un seguimiento detallado del ciclo de vida de los residuos, este sistema permite rastrear los residuos desde su generación hasta su disposición final o reciclaje, optimizando el proceso y garantizando una gestión más eficiente.

El Ministerio de Ambiente ha establecido el objetivo de reciclar al menos el 30% de los residuos de construcción y demolición, aunque actualmente solo el 20% se recicla de manera efectiva, esto se está logrando en ciudades Medellín, a través de proyectos como Ruta N, que es un ejemplo destacado al invertir en innovación tecnológica para mejorar el reciclaje y la reutilización de materiales de construcción, estas iniciativas destacan por su sostenibilidad y eficiencia energética.

Impacto de políticas:

La Ley 1672 de 2013 ha sido fundamental para avanzar en la gestión de los RCD en Colombia. Esta normativa ha promovido la creación de alianzas entre el sector público y privado, y ha facilitado el desarrollo de plantas de reciclaje en las principales ciudades. Gracias a esta ley, se ha incentivado el uso de prácticas sostenibles en la construcción y se ha mejorado la cultura del reciclaje en el país.

Recientemente, la Estrategia Nacional de Economía Circular y el CONPES 3874 de 2016 han jugado un papel clave en la promoción de un enfoque más sostenible en la gestión de residuos, estas políticas están enfocadas en reducir, reutilizar y reciclar residuos, promoviendo la economía circular., además, el CONPES 3934 de 2018 ha establecido directrices claras para la gestión integral de residuos sólidos, con especial atención a la mejora de la infraestructura de reciclaje y la colaboración entre el sector público y privado, buscando transformar el modelo tradicional de construcción en uno más circular y amigable con el medio ambiente, lo que no solo genera nuevas oportunidades de empleo, sino que también ayuda a reducir costos a largo plazo para las empresas constructoras.

- **Otras experiencias internacionales sobre la gestión de residuos de construcción y demolición**

Resultados:

En Europa, la mayoría de sus países han avanzado significativamente en la gestión de los RCD, especialmente en Dinamarca y los Países Bajos, donde se alcanzan tasas de recuperación de hasta el 90%, esto se debe en gran medida a la implementación de sistemas que priorizan la separación en origen y la reutilización de materiales reciclados en la construcción de nuevas infraestructuras, estos esfuerzos han ayudado a reducir la demanda de recursos naturales y los ha convertido en un modelo de economía circular en el sector a nivel mundial, en Alemania, por su parte se han desarrollado tecnologías.

En Japón, la gestión de RCD se ha convertido en un componente esencial de su desarrollo urbano sostenible. En Tokio, por ejemplo, la demolición selectiva es una práctica habitual que permite recuperar materiales como el acero y el concreto, los cuales son reutilizados en nuevas construcciones, estrategia que ha contribuido significativamente a la reducción de residuos en los vertederos y se alinea con los objetivos de sostenibilidad del país.

En Estados Unidos, estados modelo como California y Nueva York están adoptando enfoques innovadores para la gestión de RCD, como el desmontaje en lugar de la demolición tradicional, esto facilita la recuperación de materiales como la madera, el acero y elementos de concreto prefabricado, que son

reutilizados en nuevos proyectos de construcción, estas prácticas contribuyen a la reducción de las emisiones de carbono en la industria de la construcción.

Impacto de políticas:

La Unión Europea ha establecido la meta de reciclar al menos el 70% de los RCD bajo la Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE), en países como Dinamarca, los Países Bajos, Francia y España han implementado incentivos que fomentan el uso de agregados reciclados en proyectos públicos, lo cual se percibe como una buena práctica, digna de ser replicable, además, Suecia ha centrado sus esfuerzos en prevenir la generación de residuos desde el diseño de los proyectos, promoviendo la economía circular.

En Japón, la Ley de Reciclaje de Materiales de Construcción, vigente desde 2002, exige a las empresas constructoras separar y procesar los residuos adecuadamente., esta normativa ha permitido que Japón mantenga una tasa de reciclaje de RCD superior al 80%, asegurando que materiales como el concreto sean reincorporados al ciclo de construcción, reduciendo así la necesidad de recursos naturales.

En Estados Unidos, las normativas varían a nivel estatal, en California, por ejemplo, se exige que los proyectos de construcción y demolición reciclen al menos el 65% de los residuos generados, mientras que, en Nueva York, las certificaciones LEED son obligatorias para proyectos de gran envergadura, lo que incentiva la reutilización de materiales y la adopción de tecnologías limpias,

avanzando hacia una construcción más sostenible y responsable con el medio ambiente, aquí podemos ver que el impacto está estrechamente relacionado, y depende de la normativa estatal.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE PROPUESTA SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN DE RCD EN EL SALVADOR

La industria de la construcción en El Salvador enfrenta un desafío importante en cuanto a la gestión adecuada de residuos de construcción y demolición (RCD), particularmente en el Área Metropolitana de San Salvador, donde se generan entre 1.9 y 2.4 toneladas diarias de este tipo de residuos, esto contribuye a la proliferación de vertederos ilegales y aumenta la presión sobre la implementación de un sistema de gestión de RCD.

Para abordar esta problemática, se propone el desarrollo de un Estrategia de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición, que ofrezca directrices para que las empresas del sector puedan gestionar de mejor manera los residuos generados durante las diferentes etapas de un proyecto, que se encuentre en sintonía con la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y a su vez se enfoque en la economía circular, minimizando la generación de los RCD, mejorando el manejo de estos y fomentando la sostenibilidad en la industria de la construcción, optimizando el uso de recursos y beneficiando tanto a las empresas de constructoras como al entorno en el que estas desarrollan su trabajo.

Para facilitar la comprensión integral de este capítulo y garantizar una transición fluida entre las secciones, se ha estructurado la propuesta en fases claras:

planificación, implementación y disposición final, cada sección está vinculada una a la otra, permitiendo identificar cómo se articula la Estrategia de Gestión de RCD en El Salvador, en donde no solo se busca exponer la metodología, sino también lograr una conexión entre la teoría y la práctica, incluyendo la aplicación de buenas prácticas internacionales.

4.1 OBJETIVOS DE LA ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE RCD

- Proporcionar acciones prácticas para la gestión adecuada de los Residuos de Construcción y Demolición, abordando distintas fases del proyecto, desde la planificación hasta la disposición final de los RCD.
- Fomentar la adopción de buenas prácticas que promuevan la prevención, separación, reutilización y reciclaje de residuos, reduciendo su volumen y optimizando los recursos disponibles.
- Impulsar una cultura de sostenibilidad dentro del sector de la construcción, aumentando la conciencia y el compromiso ambiental de las empresas y trabajadores involucrados.
- Reducir el uso de vertederos ilegales mediante estrategias que fomentan la valorización y reciclaje de RCD, con un enfoque de economía circular.
- Cumplir con las normativas vigentes en materia de gestión de residuos, asegurando que las empresas operen conforme a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Fomento al Reciclaje y otras regulaciones aplicables.
- Disminuir los costos relacionados con la mala gestión de residuos mediante una planificación más eficiente y sostenible.
- Realizar un análisis de costos sobre la implementación de la propuesta.

4.2 METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DEL PLAN DE ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE RCD.

A continuación, se definirán cada una de las fases, en las cuales se propone desarrollar la estrategia de gestión de RCD, siguiendo una estructura ordenada y detallada que garantice su comprensión y aplicación.

4.2.1 Fase de Planificación

Durante esta etapa, se hará énfasis en utilizar un enfoque de diseño modular para el proyecto, se designa al responsable del Plan de gestión, se realizan estimaciones de los volúmenes de residuos, y se analiza la logística, desde la disposición de espacios de acopio, la identificación de gestores de residuos autorizados, y se evalúan los posibles incentivos para la implementación del plan de gestión de los RCD.

Estas acciones buscan optimizar el manejo de los RCD desde su generación, integrando principios de economía circular y sostenibilidad, que no solo optimizan ejecución operativa del proyecto, sino que establece una base sólida para el seguimiento, control y mejora, asegurando que las etapas posteriores del plan se desarrollen con eficiencia y responsabilidad ambiental.

Diseño modular y organización inicial

- Diseño modular:

Es importante que el proyecto deba estructurarse desde un enfoque de diseño modular, permitiendo minimizar desperdicios de materiales ya que requiere menos recursos que las técnicas de construcción actuales, dicho enfoque, permite delimitar dimensiones específicas para cada actividad constructiva, facilitando a su vez la segregación de residuos desde su origen.

- Designación de responsable en el Plan de Gestión Integral de Residuos en Obra:

Es fundamental designar una persona encargada de supervisar la implementación, seguimiento y control de las actividades que se ejecutarán durante el plan, este responsable actuará como referente para los trabajadores en temas ambientales, asegurando una comunicación fluida y constante con todos los involucrados en la ejecución del plan.

- Capacitación y orientación del personal:

Se propone implementar un programa de capacitación dirigido a obreros, supervisores y personal técnico, entre los temas a tratar se incluyen:

- 1) **Técnicas constructivas** como la correcta aplicación del repellado y afinado para evitar la pérdida de mezcla, el corte preciso de bloques y

el manejo eficiente de materiales, que contribuyen a minimizar el desperdicio, y generación de los RCD en la construcción.

2) Procedimientos para la separación en el origen, enfatizando la importancia de clasificar cada residuo desde el momento de su generación.

Proyección de Volúmenes de Residuos y Asignación de Presupuesto

Es importante la realización de una proyección preliminar de la cantidad de RCD a generar en el proyecto, así como definir el presupuesto del Plan de Gestión.

- Estimación de Residuos:

Se propone realizar una proyección de la cantidad de RCD que se generará en cada una de sus etapas, en base al área de construcción de este y el tipo de proyecto que será ejecutado, para así poder dimensionar los espacios de acopio, coordinar el transporte y la disposición final de estos.

- Presupuesto del plan:

Se definirá un presupuesto que contemple los siguientes parámetros:

- 1) Tiempo y recursos** invertidos en la capacitación del personal.
- 2) Adecuación de espacios** de acopio, señalización y elaboración de contenedores diferenciados.
- 3) Costos asociados** a la separación, transporte y disposición final de los residuos en botaderos autorizados.



Figura 24. Esquema de estimación de costos asociados al plan de gestión de RCD

Fuente: Elaboración Propia

Para fortalecer la viabilidad y el seguimiento del plan, se recomienda incorporar un análisis detallado de costos y la definición de indicadores de desempeño (KPIs). En este sentido, se propone:

Indicadores de Desempeño (KPIs): Establecer métricas claras, tales como la reducción en toneladas de residuos, el porcentaje de materiales reciclados o reutilizados, el ahorro económico logrado y el cumplimiento de los plazos y normativas ambientales.

La implementación de un **dashboard** de seguimiento también permitiría detectar desviaciones y aplicar medidas correctivas oportunas.

Estas herramientas serán fundamentales para evaluar de forma continua la eficacia de la estrategia y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Selección y control en la obra

- Evaluación de RCD:

En esta fase se evalúan y clasifican los RCD que cumplen con las características adecuadas para ser procesados en los centros de reciclaje o ser gestionados para su disposición final.

- Registro y monitoreo:

En esta fase se utilizará una plantilla o sistema para registrar, diariamente, el tipo y la cantidad de RCD generados, facilitando así la evaluación y optimización del plan de gestión de los RCD.

4.2.2 Fase de Implementación de la Propuesta

Para la implementación de la propuesta se incluye la instalación de espacios de acopio que resulten estratégicos, facilitando a su vez el almacenamiento temporal de los RCD, su separación, reciclaje y reutilización.

Instalación de Espacios de Acopio

- Diseño e Infraestructura de los Espacios:

Los espacios de acopio deberán ubicarse en zonas estratégicas dentro de la obra y contar con los siguientes requerimientos:

1) Base: Se proponen utilizar un espacio que proporcione una base firme o estable, la cual puede ser cubierta con plástico, para crear una barrera contra la humedad natural del suelo y prevenir la contaminación por polvo de los RCD.

2) Divisiones Resistentes: Se proponen divisiones entre espacios elaboradas con estructuras de madera o metal, para delimitar claramente las áreas de cada tipo de RCD.

3) Cubiertas Provisionales (opcional): Techos de láminas acanaladas (calibre 26) que protejan los RCD acopiados de la lluvia (de ser necesario) y reduzcan la dispersión de polvo.

4) Señalización y Codificación por Colores:

Se adoptará un sistema de codificación visual para facilitar la identificación y clasificación de residuos, por ejemplo:

- a) Zona de acopio de Inertes.
- b) Zona de acopio de Acero.
- c) Zona de acopio de Concreto.
- d) Zona de acopio para RCD No Peligrosos.
- e) Zona de acopio para RCD Peligrosos.

Cada espacio de acopio deberá estar señalizado según corresponda su RCD, si bien actualmente en El Salvador no se cuenta con una Ley que defina específicamente que colores utilizar para los materiales a reciclar, se proponen los siguientes colores para identificar los distintos tipos de materiales.

- a) Color Amarillo: Inertes.
- b) Color Azul: Acero.
- c) Color Verde: Concreto.
- d) Color Naranja: RCD No Peligros.
- e) Color Rojo: RCD Peligrosos.



Figura 25. Ejemplo de separación de desechos RCD en obra

Fuente: Diario Sustentable, Santiago de Chile, 2022.

Separación de Residuos en la Fuente

Para facilitar la clasificación de los RCD se implementará un sistema de separación en obra basado en la clasificación de los residuos y la asignación de colores específicos, lo que permitirá su identificación rápida y un manejo eficiente.

La clasificación de estos dentro de obra se agrupa en tres grupos:

Tabla 14. Clasificación de residuos en obra

Residuos Inertes	Residuos No peligrosos	Residuos Peligrosos
Concreto, Bloques de Concreto, Ladrillos, Vidrios, Cerámicas	Acero, Madera, Papel, Cartón, Tabla yeso, PVC	Fibras de asbestos, lamina de zinc, yeso, asfalto, suelo contaminado.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Residuos Inertes:**

Los residuos inertes, que incluyen concreto, bloques de concreto, ladrillos, vidrios y cerámicas, serán identificados y depositados en el contenedor asignado con su nombre y el color amarillo; dentro de esta categoría, los residuos de vidrio y cerámica se almacenarán por separado en empaques de cartón o plástico para evitar su mezcla, ya que requieren distintos procesos de reciclaje; además, se clasificarán según su tipo, diferenciando entre envases de botellas y frascos, ventanas, vidrio templado o laminado, lo que facilitará su posterior tratamiento, para evitar daños adicionales, se evitará el apilamiento excesivo que pueda provocar nuevas fracturas.

- **Residuos de Acero:**

Los Residuos de acero estructural serán identificados y depositados en el contenedor asignado con su nombre y con el color azul y se manejarán de manera organizada para facilitar su reutilización o reciclaje, es conveniente que estos residuos se clasificarán según su tamaño y tipo, asegurándose de que estén libres de restos de pintura, adhesivos o contaminación excesiva, ya que el material que se encuentre mezclado con concreto u otros elementos, ya que en ese caso, no podrá ser reutilizado

directamente, por lo que será trasladado a la categoría de residuos no peligrosos para su disposición adecuada; para optimizar su almacenamiento y facilitar su transporte, se recomienda no acumular demasiadas toneladas de este tipo de RCD.

- **Residuos de Concreto:**

Los Residuos de concreto, serán identificados y depositados en el contenedor asignado con su nombre y con el color verde, se almacenará únicamente si cumple con las especificaciones exigidas por su gestor propuesto, garantizando que esté libre de contaminación con otros materiales, es decir, solo serán aceptados los residuos de concreto limpios y sin impurezas para su posible reutilización, evitando aquellos que contengan restos de varilla, pintura, adhesivos o cualquier otro contaminante; todos aquellos residuos de concreto que no cumplan con estas condiciones serán descartados en el contenedor de residuos inertes, asegurando que el material reciclado sea de la mejor calidad.

- **Residuos No Peligrosos:**

Los residuos no peligrosos serán identificados y depositados en el contenedor asignado con su nombre y con el color naranja, estos abarcarán materiales como plásticos, aluminio, papel, cartón y madera.

Los plásticos se clasificarán según su composición, diferenciando entre PVC, polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno y otros; además,

se recomienda separarlos por color y lavarlos para eliminar cualquier residuo adherido que pueda afectar su reciclaje. Para el caso específico del aluminio, se clasificará por tipo, distinguiendo entre láminas, perfiles, piezas estructurales o latas, y se asegurará su limpieza antes del almacenamiento, por otro lado el papel y el cartón, debido a su volumen, serán compactados y agrupados en paquetes para facilitar su recolección y traslado; la madera, por su parte, se apilarán una sobre otra para evitar deformaciones y fomentar su reutilización en futuros proyectos, en esta misma categoría se incluirán los residuos de acero que estén contaminados con concreto u otros materiales, ya que su nivel de impurezas dificulta su reciclaje inmediato.

- **Residuos Peligrosos:**

Los residuos peligrosos serán identificados y depositados en el contenedor asignado con su nombre y con el color rojo, serán tratados con especial cuidado, ya que representan un riesgo para la salud y el medio ambiente, dentro de esta clasificación se encuentran los materiales contaminados con sustancias tóxicas, como pinturas, solventes y adhesivos, así como fibras de asbesto, lámina de zinc, yeso contaminado, asfalto. Debido a su peligrosidad, estos residuos deberán ser manipulados con precaución y almacenados en recipientes específicos que eviten filtraciones o dispersión de partículas.

Para garantizar la seguridad del personal en la manipulación de los RCD en general, se exigirá el uso medidas de Seguridad y Salud Ocupacional (SSO) y su respectivo equipo de protección personal, incluyendo guantes gruesos, gafas de seguridad, mascarillas con filtro y botas con punta de acero, promoviendo buenas prácticas ambientales, reutilización y el reciclaje dentro de la obra.

Gestión del Retiro de Residuos

- **Coordinación del Retiro:**

El encargado del Plan de gestión tendrá la responsabilidad de organizar de manera eficiente la logística para la extracción de los RCD generados en la obra, para ello, deberá establecer un cronograma de actividades que contemple la frecuencia del retiro, ajustándola en función del volumen de residuos producidos y de la capacidad de almacenamiento temporal de los sitios de acopio, además, se debe procurar la selección de horarios y días estratégicos, con el objetivo de optimizar los tiempos de transporte y reducir el impacto en la circulación de la obra principal, garantizando que la recolección y disposición de los RCD cumplan con la normativa ambiental vigente.

- **Documentación y Certificación:**

Para garantizar un adecuado seguimiento de la gestión de los RCD, se propone implementar un sistema de control basado en fichas de registro y planillas de monitoreo, estos documentos contendrán información detallada sobre el tipo de

RCD generado, su volumen estimado y la fecha de retiro, asegurando así un control sobre el flujo de RCD. Es importante que cada retiro de RCD sea debidamente documentado con la finalidad de verificar su correcta disposición y cumplimiento con la normativa ambiental vigente, al finalizar cada ciclo de gestión de RCD, se obtendrá un certificado oficial que avale el destino final de los residuos, el cual podrá ser presentado ante las autoridades competentes como evidencia del cumplimiento del Plan de gestión, dicho certificado no solo contribuirá a la transparencia del proceso, sino que también servirá como requisito para acceder a incentivos fiscales u otros beneficios establecidos para los Planes de Gestión de los RCD.

- **Análisis de Costos:**

Para evaluar la viabilidad económica del plan de gestión de los RCD, se realizará un análisis de los costos asociados a cada etapa del plan, esto incluirá los gastos derivados del transporte, la manipulación y la disposición final de los RCD, en instalaciones especializadas, como la planta **Holcim** para el procesamiento de concreto y **Corinca** para el reciclaje de acero, este análisis no solo considerará los costos directos, sino también los beneficios económicos y ambientales derivados de la correcta gestión de los residuos. Podrán tomarse en cuenta posibles incentivos fiscales, ahorros en materia prima, gracias al reciclaje y en especial, la reducción de costos asociados a sanciones y multas por inadecuada disposición.

El resultado de este análisis permitirá tomar decisiones informadas sobre la rentabilidad del Plan de gestión, asegurando un equilibrio entre la inversión requerida y los beneficios tanto económicos como ambientales.

4.2.3 Disposición Final y Tratamiento De Residuos

La fase final de la propuesta abarca la disposición de los RCD en instalaciones autorizadas, asegurando el cumplimiento de los estándares técnicos y ambientales establecidos para proteger el medio ambiente. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), las municipalidades son gestores de residuos por Ley y pueden gestionar los RCD en su jurisdicción, sin necesidad de autorización adicional del MARN; sin embargo, deben crear y presentar su *Manual de Gestión de Residuos* para su aprobación, tal como lo establece la Legislación vigente.

Tratamiento de Residuos No Peligrosos

Selección y Preparación del Sitio

Los sitios destinados a la disposición de los RCD deben cumplir con ciertos requisitos técnicos y ambientales, tales como:

- **Superficies impermeabilizadas:**

Uso de geo sintéticos para evitar la filtración de sustancias contaminantes como el sílice del concreto o componentes del yeso hacia los mantos acuíferos.

- **Infraestructura y equipamiento:**

Implementación de maquinaria para la compactación y organización de los residuos en capas, reduciendo la exposición de materiales y optimizando el espacio disponible.

- **Análisis Ambiental:**

Se deberán hacer los análisis y estudios ambientales necesarios del sitio, para cumplir con las Normativas ambientales, principalmente con la LMA.

Lugares Autorizados para la Disposición de RCD

Actualmente En El Salvador, la gestión de RCD es, hasta cierto punto, responsabilidad de las municipalidades, ya que deben de operar sitios de disposición final con un Manual de Gestión de Residuos, aprobado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN); sin embargo, existen entidades privadas autorizadas, entre ellas:

- **MIDES (Manejo Integral de Desechos Sólidos):**

MIDES es una empresa con capacidad de tratamiento y disposición final de residuos sólidos, incluyendo los RCD.

- **Geocycle El Salvador:**

Es una empresa especializada en el coprocesamiento de residuos industriales y convencionales, ofreciendo soluciones para la eliminación sostenible de algunos tipos de RCD, mediante hornos cementeros.

- **Plantas de Holcim y Corinca:**

Holcim reutiliza el concreto demolido, en la producción de nuevos materiales, mientras que Corinca recicla el acero proveniente de estructuras metálicas.

- **Listado de Entidades Autorizadas del MARN:**

Este listado es publicado periódicamente con empresas e instalaciones que cumplen con las normativas para la disposición final de residuos, según el MARN.

A continuación, se presentan algunas de las entidades con mayor relevancia en el manejo de residuos de construcción en el área metropolitana de San Salvador:

- **MIDES S.E.M. de C.V.**

Ubicación: Nejapa, San Salvador.

Especialización: Disposición final de residuos sólidos, especiales, peligrosos y de construcción, a través de un relleno sanitario certificado y con procesos técnicamente controlados.

Servicios: Transporte, tratamiento y disposición de residuos industriales y de obras civiles.

- **RECTEX de El Salvador, S.A. de C.V.**

Ubicación: San Salvador, San Salvador.

Especialización: Recuperación y reciclaje de residuos como tarimas, cartón y plásticos generados en actividades logísticas y de obra.

- **Centro de Reciclaje ECOSÓLIDOS**

Ubicación: Soyapango, San Salvador.

Especialización: Gestión integral y disposición final de materiales reciclables como aluminio, cobre, acero y cartón.

Tratamiento de Residuos Peligrosos

Procesos Especializados

Los residuos peligrosos generados en la construcción, como pinturas con plomo, disolventes y aceites requieren un tratamiento diferenciado o especial, por tanto, se propone llevar a cabo mediante:

- **Incineración:**

El uso de métodos térmicos utilizados en plantas especializadas para la eliminación segura de sustancias nocivas.

- **Tratamiento químico:**

El proceso de neutralización es adecuado para reducir la toxicidad de ciertos residuos antes de su disposición final.

Actualmente en El Salvador, existen empresas privadas que realizan este proceso a través del coprocesamiento en hornos cementeros, garantizando una gestión segura y eficiente.

Protocolos de Tratamiento y Control

En este sentido, toda instalación, proyecto o empresa que maneje residuos peligrosos deberá cumplir con:

- **Certificaciones ambientales y de seguridad.**
- **Sistemas de trazabilidad y control.**

Esto con el fin de garantizar el seguimiento de los RCD desde su generación hasta su disposición final.

Costos y Tarifas

El costo asociado a la disposición final de RCD en El Salvador, varía según la municipalidad y las instalaciones utilizadas; no obstante, la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje establece que:

- Los generadores de residuos deben asumir los costos asociados a la gestión, recolección y disposición final.
- Las municipalidades pueden establecer tarifas específicas basadas en criterios de volumen, tipo de residuo y distancia de transporte.
- Las empresas privadas como Geocycle y Holcim ofrecen esquemas tarifarios basados en el tipo de procesamiento aplicado que se desee contratar.

Posibles Incentivos para la buena Gestión de RCD.

Se propone que el marco legal salvadoreño debe contemplar incentivos para fomentar la reducción y el aprovechamiento de RCD mediante la Ley de Gestión

Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, o la creación de una ley específica para los RCD, que proponga:

- **Requerimiento de un Plan de gestión de RCD:**

Exigir que las constructoras presenten planes de manejo de residuos de todos aquellos proyectos que generen más de 100 m³ de RCD, esto facilitará que se integren principios de economía circular en los proyectos.

- **Beneficios fiscales:**

Esto implica la reducción o eliminación de impuestos para las empresas que implementen de manera correcta su Plan de Gestión de los RCD. Podría aplicarse en la compra de equipo nuevo para trabajar con los RCD

- **Certificaciones ambientales:**

Esto implicaría dar un reconocimiento oficial a las empresas que cumplan con altos estándares en el manejo de RCD y aparte de certificarlas, ubicarlas en un listado de privilegios económicos y fiscales.

4.3 INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Con el fin de promover un modelo regenerativo en la gestión de los RCD, se incorporaría la filosofía de la ***Economía Circular***, esta propuesta consistiría en:

Reintegración de Materiales: Establecer un ciclo completo para cada tipo de residuo, en el que los materiales se recuperen, reciclen o reutilicen, reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

Estudios de Caso y Ejemplos Internacionales: Analizar experiencias exitosas en otros países que han implementado estrategias basadas en la economía circular, adaptándolas a la realidad local.

Nuevos Modelos de Negocio e Innovación: Identificar oportunidades que impulsen la innovación en el sector de la construcción, incentivando la creación de alianzas público-privadas y el uso de tecnologías que faciliten el cierre del ciclo de vida de los materiales.

Esta integración no solo contribuirá a la sostenibilidad ambiental, sino que también generará beneficios económicos y sociales, al fomentar prácticas responsables en toda la cadena de valor.

4.4 ACTUALIZACIÓN DE NORMATIVA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Es fundamental que la propuesta se sustente en la Normativa vigente y en las últimas investigaciones en materia de gestión de RCD, por lo que, es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Incluir Referencias Actualizadas: Incorporar estudios recientes, artículos científicos y Normativas que respalden los métodos y estrategias presentados, asegurando que la propuesta refleje el estado actual del conocimiento y las regulaciones en El Salvador y a nivel internacional.

Revisión del Marco Legal: Verificar y actualizar las referencias al Marco Normativo (como la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje y otros instrumentos legales) para que estén en concordancia con las últimas modificaciones y políticas ambientales.

Bibliografía Selecta: Elaborar una bibliografía que incluya fuentes de alto impacto y relevancia, facilitando así la validación académica y práctica de la propuesta.

La actualización normativa y bibliográfica no solo refuerza la credibilidad del trabajo, sino que también ofrece una visión integral que integra la teoría y la práctica en el campo de la gestión de residuos de construcción.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EL SALVADOR

5.1 OBJETIVOS DE LA METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LA PROPUESTA

- Abordar cada uno de los componentes que integran la propuesta de gestión de RCD, identificando sus fortalezas y limitaciones
- Evaluar la viabilidad técnica y operativa del diseño modular, la estructura organizacional, y la incorporación de herramientas de monitoreo digital.
- Analizar la factibilidad económica a través de un análisis minucioso de la inversión inicial, los costos operativos y los potenciales retornos de inversión, comparando el sistema propuesto con el manejo convencional.
- Determinar los aspectos ambientales y sociales de la propuesta, haciendo especial énfasis en la implementación de la economía circular y la capacitación de los actores involucrados.
- Diseñar directrices para que las empresas cumplan con las Normativas vigentes en materia de gestión de residuos, y que operen conforme a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Fomento al Reciclaje y otras regulaciones aplicables.
- Disminuir los costos relacionados con la mala o inexistente gestión de residuos, mediante una planificación más eficiente y sostenible.

- Realizar un análisis de costos sobre la implementación de la propuesta.

5.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.

El propósito de este apartado es definir un Marco evaluativo que permita medir la eficacia, viabilidad y sostenibilidad de la estrategia propuesta para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en El Salvador. Este análisis se fundamenta en la integración de criterios que responden tanto a la estructura operativa presentada en el capítulo 4 como al cumplimiento de los objetivos propuestos.

La evaluación se organizará en cinco ejes estratégicos, los cuales se detallan a continuación:

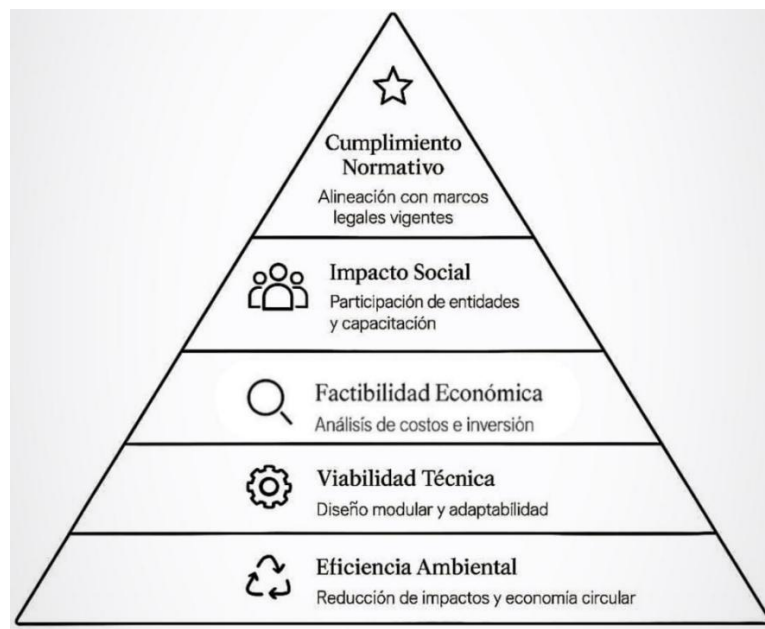


Figura 26. Ejes estratégicos de la evaluación de la propuesta

Fuente: Planta de Reciclaje Antofagasta, Chile

5.2.1 Eficiencia Ambiental

Reducción de Impactos Ambientales

La propuesta se orienta a mitigar la contaminación del suelo, agua y aire, al tiempo que se previene la generación de vertederos ilegales. Para evaluar este aspecto se consideran:

- **Separación en Origen y Clasificación:** Basándose en el diseño modular expuesto en la fase de planificación, se medirá la efectividad de la implementación de puntos de acopio que permitan separar los distintos tipos de RCD (inertes, no peligrosos y peligrosos), con ello se garantiza que cada categoría tenga su tratamiento adecuado.
- **Monitoreo Ambiental:** Se implementarán protocolos de medición periódicas para evaluar la disminución de contaminantes (por ejemplo, lixiviados y emisiones derivadas de la disposición final).
- **Optimización de Tratamientos:** Se verificará la eficiencia de los procesos de reciclaje y tratamiento, evaluando la reducción del impacto ambiental y el porcentaje de residuos valorizados comparado con métodos convencionales de tratamiento.

Economía Circular

La reincorporación de materiales reciclados en nuevos procesos productivos es un pilar fundamental para extender el ciclo de vida de los materiales y disminuir la dependencia de recursos vírgenes. Para ello se analizarán estos aspectos:

- **Revalorización de Materiales:** El porcentaje de RCD que es transformado y reintegrado a la cadena de producción de nuevos materiales de construcción, apoyado en las estrategias de economía circular presentadas en el trabajo.
- **Impacto en la Extracción de Recursos:** La reducción en el uso de materias primas se relacionará con la mejora en la sostenibilidad del sector tanto en beneficios ambientales como económicos, medidos a través de indicadores de consumo de insumos de obra.

5.2.2 Viabilidad Técnica y Operativa

Diseño Modular y Adaptabilidad Operativa

El capítulo 4 del presente Trabajo, destaca la importancia de un diseño modular, que permite segmentar el proceso en fases (planificación, implementación y disposición final). En este sentido, se evaluará:

- **La Flexibilidad del Sistema:** La capacidad del modelo para adaptarse a diferentes escalas de obra y a variaciones en la generación de residuos, verificando que el enfoque modular facilite la implementación gradual y escalable.
- **La Integración de Fases:** Se analizará cómo cada fase (por ejemplo, la estimación de volúmenes y asignación de presupuesto en la planificación, y la instalación de espacios de acopio en la implementación) puede garantizar un flujo eficiente y sin interrupciones, con ello se podrá analizar la eficacia de la logística implementada.

Infraestructura y Equipamiento

La evaluación de las condiciones de los espacios de acopio en las áreas destinadas para el almacenamiento temporal de los residuos en la obra, cumpliendo normativas de seguridad con el fin de evitar riesgos laborales para los encargados y los trabajadores; además, de la evaluación de los equipos necesarios (contenedores separadores de residuos, señalización adecuada, etc.).

Herramientas de Monitoreo y Control

La incorporación de sistemas de seguimiento en tiempo real es esencial para garantizar la trazabilidad y la optimización del proceso. Los criterios evaluativos incluirán:

- **Implementación de Dashboards y KPIs:** La existencia y funcionalidad de plataformas digitales que permitan registrar, visualizar y analizar datos (por ejemplo, cantidad de residuos separados, tiempos de operación y cumplimiento de normativas).
- **Sistema de Registro y Auditorías:** La periodicidad y calidad de los informes de seguimiento, que faciliten la detección temprana de desviaciones y la aplicación de medidas correctivas.

5.2.3 Factibilidad Económica

Análisis de Costos e Inversión

La viabilidad financiera se determinará mediante un análisis detallado de los costos directos (infraestructura, tecnología, capacitación) y costos indirectos (operativos y administrativos). Se incluirá:

- **Desglose Presupuestario:** La asignación de recursos en cada fase del plan, tal como se expone en la planificación del capítulo 4, y la comparación con modelos tradicionales de gestión de residuos.
- **Eficiencia en el Uso de Recursos:** La identificación de oportunidades para reducir costos mediante la reutilización y el reciclaje, lo que podría traducirse en menores gastos en la disposición final de residuos.

Retorno de Inversión (ROI)

Se calcularán indicadores financieros que permitan evaluar la rentabilidad de la propuesta:

- **Periodo de Recuperación:** Se estimará el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial, considerando los ahorros generados por la optimización de procesos en ahorros operativos derivados de la reducción en transporte y la disminución en el manejo de vertederos.

- **Beneficios Económicos Derivados de la Economía Circular:** Se cuantificarán los ingresos potenciales provenientes de la valorización y comercialización de materiales reciclados, es decir en la disminución de compras de materiales nuevos con la reutilización de residuos valorizables como son el acero y el concreto.

5.2.4 Impacto Social Y Participación De Entidades

Capacitación y Sensibilización de Actores

El éxito del sistema depende en gran medida de la formación técnica y la concientización de los actores involucrados, tanto en el sector formal como informal. Para evaluar este aspecto se analizará:

- **Cobertura de Programas Formativos:** La extensión y calidad de las capacitaciones impartidas a obreros, supervisores y gestores, asegurando que se comprenden y aplican las buenas prácticas en la separación y manejo de RCD.
- **Cambio Cultural:** La percepción y compromiso de la comunidad y de los actores involucrados respecto a la gestión ambiental, lo que se medirá a través de encuestas y estudios de seguimiento.

Participación Interinstitucional y Comunitaria

La colaboración entre entidades públicas, privadas y la sociedad civil es crucial para la sostenibilidad del proyecto. Se considerarán:

- **Coordinación entre Actores:** La existencia de protocolos de comunicación y colaboración, que permitan la integración de municipios, entidades reguladoras y empresas constructoras.
- **Inclusión de la Comunidad:** La participación de la sociedad en campañas de sensibilización y en la supervisión de la implementación, lo cual favorece la transparencia y la rendición de cuentas.

5.2.5 Cumplimiento Normativo y Adaptabilidad

Alineación con el Marco Legal Vigente

La propuesta debe cumplir rigurosamente con la legislación nacional (por ejemplo, la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje) y las normativas municipales. Se evaluará:

- **Conformidad Regulatoria:** La adecuación de los procedimientos y protocolos a los requerimientos legales, verificando que la estrategia cumpla con los estándares nacionales e internacionales.
- **Certificaciones y Aprobaciones:** La obtención de las acreditaciones pertinentes que respalden la implementación del modelo.

Capacidad de Adaptación ante Cambios

La resiliencia del sistema se analizará en función de su capacidad para ajustarse a cambios en el entorno normativo y socioeconómico:

- **Flexibilidad del Modelo:** La facilidad con la que el sistema puede incorporar nuevas tecnologías, procesos o cambios en la legislación ambiental.

Escalabilidad y Replicabilidad

La posibilidad de ampliar y adaptar la propuesta a diferentes contextos geográficos y operativos, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

Este marco metodológico integra un enfoque multidimensional que permite evaluar de forma rigurosa y completa la propuesta de gestión de RCD con criterios ambientales, técnicos, económicos, sociales y normativos garantiza que la estrategia no solo sea viable y rentable, sino que también contribuya significativamente a la sostenibilidad del sector de la construcción en El Salvador.

La aplicación de indicadores de desempeño y sistemas de monitoreo facilita un seguimiento continuo, permitiendo ajustes dinámicos y mejoras sistemáticas en el proceso de implementación, fomentando una base adaptable y replicable para futuros proyectos de construcción.

5.3 ANÁLISIS DETALLADO DE LA PROPUESTA

El presente análisis se centra en desglosar y evaluar cada componente del modelo de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), identificando los elementos críticos que permiten su adaptación, escalabilidad y sostenibilidad en el contexto salvadoreño. El análisis se organiza en cinco ejes: diseño modular y organización; capacitación y sensibilización; herramientas de monitoreo y control; integración de la economía circular y finalmente adaptabilidad y viabilidad contextual.

5.3.1 Diseño Modular y Organización

El diseño modular constituye el eje estructural de la propuesta, permitiendo una segmentación clara y ordenada del proceso de gestión de RCD, lo que facilita tanto la implementación como el seguimiento de cada etapa.

Segmentación del Proceso:

La propuesta se organiza en tres módulos diferenciados: planificación, implementación y disposición final. Cada módulo aborda etapas específicas desde la estimación de volúmenes y asignación de presupuesto hasta la instalación de espacios de acopio y la disposición final de residuos, lo cual facilita la separación en origen y la correcta clasificación de los residuos en función de su peligrosidad

- **Planificación:** Se centra en la proyección de volúmenes de residuos y la definición de recursos clave, asegurando que cada

proyecto cuenta con un presupuesto adaptado a sus necesidades. La designación de un responsable para el control del plan es fundamental para supervisar el cumplimiento de las actividades. Además, se incorporan programas de capacitación enfocados en técnicas constructivas que minimicen la generación de residuos desde el inicio.

- **Implementación:** En esta fase, la instalación de espacios de acopio se organiza estratégicamente para facilitar la separación de residuos desde la fuente. Los espacios son diseñados con divisiones resistentes, bases impermeables y, en algunos casos, cubiertas provisionales para proteger los materiales. La señalización por colores estandariza la identificación de los residuos, clasificándolos como inertes, no peligrosos o peligrosos. Este proceso agiliza la recolección y promueve una gestión más eficiente.
- **Disposición final:** Se prioriza el tratamiento de los residuos según su clasificación. Los residuos no peligrosos se trasladan a instalaciones autorizadas para su reciclaje o reutilización, mientras que los residuos peligrosos pasan por tratamientos especializados, como la incineración o la neutralización química. Este enfoque garantiza la trazabilidad y el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

Adaptabilidad y Escalabilidad:

El enfoque modular posibilita una implementación progresiva y escalable, permitiendo que proyectos de diversas dimensiones se adecuen al sistema sin requerir una inversión inicial excesiva. Esta característica es especialmente relevante en un entorno con recursos limitados, pues se puede adaptar el sistema a las necesidades y capacidades de cada proyecto o región, garantizando una evolución gradual y sostenida.

Responsabilidad y Seguimiento:

Cada módulo cuenta con un coordinador encargado de supervisar el cumplimiento de los estándares técnicos y operativos, reforzado por la integración de herramientas de monitoreo digital. Este mecanismo asegura la trazabilidad de cada fase y posibilita la detección oportuna de desviaciones, permitiendo la aplicación inmediata de medidas correctivas basadas en indicadores clave de desempeño (KPI).

A continuación, se muestra un ejemplo de aplicabilidad con la propuesta, el cual muestra una métrica comparativa mensual de residuos generados, el porcentaje de materiales reutilizados y los ahorros económicos logrados, utilizando dicha herramienta:

Indicadores de control			
Indicador	Objetivo	Formula	Periodicidad
Reducción en toneladas de residuos	Mayor o igual al 15%	Comparación entre toneladas de residuos mensuales (Comparación año x año)	Mensual (promedio mensual entre constructoras)
Porcentaje de materiales reciclados o reutilizados	Mayor o igual al 10%	Cantidad de materiales reutilizados/Total de materiales (x100%)	Mensual (promedio mensual entre constructoras)
Ahorro económico logrado	Mayor o igual al 10%	Costo real de proyectos/Costo presupuestado (x100%)	Mensual (promedio mensual entre constructoras)

Figura 27. Ejemplo de cuadro de mando KPIs en propuesta

Fuente: Elaboración Propia.

% de ahorro económico logrado				
Tipo de ahorro		Julio		Agosto
Ahorro por reutilización de residuos de tipo X	10%	\$23,456	14%	\$24,567
Ahorro por reutilización de residuos de tipo Y	8%	\$10,234	5%	\$3,456
Ahorro por reutilización de residuos de tipo Z	1%	\$234	0.50%	\$164

Figura 28. Cuadro comparativo de porcentaje de ahorro, aplicabilidad de KPIs en propuesta

Fuente: Elaboración Propia.

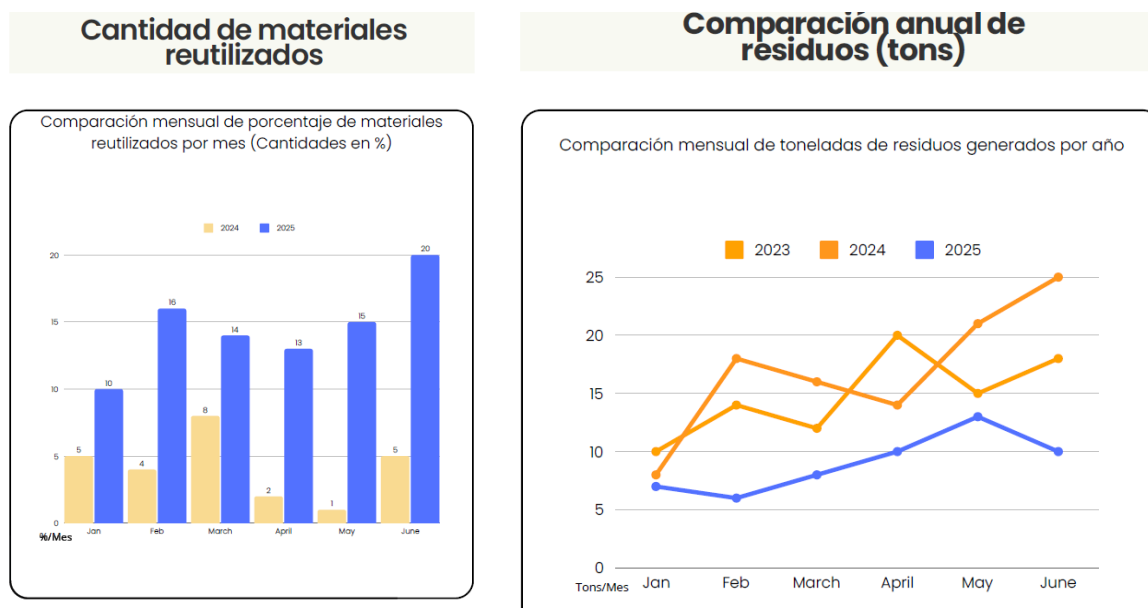


Figura 29. Resultados obtenidos de KPIs aplicados en propuesta

Fuente: Elaboración Propia

El diseño modular no solo optimiza la utilización de recursos, sino que también promueve la mejora continua del sistema y garantiza su adaptabilidad ante variaciones en la generación de residuos, aspectos cruciales para el éxito en un entorno dinámico como el salvadoreño.

5.3.2 Capacitación y Sensibilización

El éxito del sistema depende en gran medida de la competencia y compromiso de los actores involucrados, tanto en el sector formal como en el informal.

Formación Técnica Especializada:

Se plantea la implementación de un programa de capacitación integral que aborde técnicas constructivas orientadas a minimizar la generación de residuos con técnicas de construcción eficientes, la correcta separación de materiales para

facilitar el reciclaje y reutilización y el uso de herramientas de monitoreo digital. La formación está dirigida a obreros, supervisores y técnicos, asegurando la adopción de buenas prácticas desde el inicio de la operación.

Campañas de Concientización:

La sensibilización ambiental se erige como una inversión en el cambio cultural. Se propone con el fin de fomentar una cultura de responsabilidad y compromiso con la gestión sostenible de RCD:

- Charlas informativas sobre el impacto ambiental de los RCD y la importancia de su gestión sostenible.
- Talleres prácticos sobre clasificación y separación de residuos.
- Alianzas comunitarias, involucrando a la población local para fomentar el compromiso colectivo.

Este esfuerzo contribuye a consolidar una visión compartida sobre la importancia de la sostenibilidad en la construcción.

Impacto a Largo Plazo:

La capacitación continua no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos asociados a una gestión inadecuada de residuos, generando beneficios económicos y ambientales sostenibles en el mediano y largo plazo.

Con la capacitación y sensibilización de los procesos con la inversión en recursos humanos garantiza la viabilidad de aplicación para que la infraestructura y las tecnologías incorporadas alcancen su máximo potencial.

5.3.3 Herramientas de Monitoreo y Control

La integración de tecnologías digitales es esencial para garantizar la eficiencia y transparencia en la gestión de RCD.

Implementación de Sistemas de Información:

La propuesta incorpora dashboards y sistemas de registro que permiten el seguimiento en tiempo real de la generación, segregación y disposición de residuos.

Estos sistemas facilitan la recopilación de datos relevantes, lo cual es indispensable para la toma de decisiones informadas y la evaluación continua del desempeño del sistema.

Transparencia y Trazabilidad:

La digitalización del proceso asegura que cada fase del manejo de residuos quede registrada y evaluada. Esto permite detectar desviaciones de manera temprana y aplicar medidas correctivas de forma inmediata, garantizando el cumplimiento de normativas y optimizando la utilización de recursos.

En el siguiente cuadro se muestra un ejemplo aplicativo para su cumplimiento:

DASHBOARD DE SEGUIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE RCD						
Nombre del Proyecto:						
No. Contrato:						
Ubicación:						
Empresa Constructora:						
Superficie del Proyecto (m2)						
Meta de reducción de residuos (%)						
REGISTRO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (Diario/Semanal)						
FECHA	Tipo de Residuo (Inertes, No peligrosos, Peligrosos)	Cantidad Generada (kg/Ton)	Fuente de Generación (Demolición, Excavación, Obra Nueva)	Observaciones		
REGISTRO DE SEGREGACIÓN DE RESIDUOS (Diario/Semanal)						
FECHA	Cantidad Segregada (kg/ton)	% de Segregación = (Cantidad Segregada/Cantidad Generada)x100	Tipo de Residuos Clasificados (Concreto, Acero, Madera, Otros)	Método de Segregación (Manual, Mecánico)	Observaciones	
REGISTRO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS						
FECHA	Cantidad Dispuesta (kg/ton)	Tipo de Residuo	Destino Final (Reciclaje, Relleno, Planta de Tratamiento)	Empresa Transportista	Costo de Disposición (\$)	Observaciones

Tabla 15. Dashboard o planilla de registro de gestión de residuos

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16 Indicadores de Desempeño KPIs aplicables en la gestión de RCD

INDICADORES DE DESEMPEÑO (KPIs)				
Indicador	Meta (%)	Valor Actual (%)	Desviación (%)=((Valor Actual - Meta)/Meta)x100	Comentarios
Reducción de Residuos				
% de Residuos Segregados				
Ahorro por Reutilización				
Costo de Gestión de Residuos (\$/ton)				

% de Residuos Valorizados (Reciclaje, Reutilización)				
--	--	--	--	--

RESUMEN FINAL	
Total Residuos Generados:	
Total Residuos Segregados:	
Total Residuos Dispuestos:	
Total Residuos Valorizados (Reutilizados/Reciclad):	
Costo Total de Gestión:	
Cumplimiento de Metas:	
Lecciones Aprendidas:	
Recomendaciones para Proyectos Futuros:	

Fuente: Elaboración Propia

Optimización de Procesos:

La disponibilidad de datos en tiempo real posibilita ajustar las operaciones para reducir tiempos de respuesta y minimizar errores. Este dinamismo se traduce en una reducción de costos operativos, lo que repercute positivamente en la rentabilidad y eficiencia del sistema.

La incorporación de herramientas digitales no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también establece un marco de control riguroso que garantiza la transparencia, trazabilidad y adaptabilidad del proceso. El uso de plataformas digitales, sistemas de análisis predictivo y automatización de procesos fortalece la capacidad de respuesta ante imprevistos y optimiza la toma de decisiones estratégicas.

5.3.4 Integración de la Economía Circular

La economía circular constituye el puente que une los beneficios ambientales con los económicos del sistema.

Reincorporación de Materiales:

La propuesta plantea la transformación de los residuos de construcción en recursos valiosos para nuevos proyectos. La implementación de un modelo circular en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) promueve la reintegración de materiales en la cadena productiva, reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes y minimizando el impacto ambiental asociado a la construcción.

Fomentar el reciclaje y la reutilización de estos residuos permite prolongar la vida útil de los materiales, generando ahorros sustanciales en costos de producción y disminuyendo la cantidad de residuos finales. Esto contribuye a un modelo de gestión más sostenible y económicamente viable con la reincorporación de materiales.

Innovación y Nuevos Modelos de Negocio:

La integración de prácticas circulares abre la posibilidad de desarrollar nuevos productos y servicios basados en materiales reciclados, promoviendo la innovación en el sector y creando oportunidades económicas adicionales que potencian la competitividad del modelo, en la que incluye incentivos.

La adopción de un paradigma circular no solo mejora la eficiencia ambiental, sino que también representa una estrategia económica inteligente que potencia la sostenibilidad y la competitividad del sector de la construcción.

5.3.5 Adaptabilidad y Viabilidad Contextual

La propuesta ha sido diseñada para ser altamente adaptable a las particularidades del entorno salvadoreño, donde las limitaciones en infraestructura y recursos son desafíos constantes.

Infraestructura y Recursos Disponibles:

Se han considerado las restricciones actuales en infraestructura y financiamiento, permitiendo una implementación gradual que minimiza riesgos y optimiza el uso de los recursos existentes. La propuesta se adapta a los recursos locales, facilitando su aplicación en contextos diversos. La aplicación gradual del modelo permite adaptar las operaciones a las limitaciones técnicas y presupuestarias, asegurando una transición ordenada y efectiva.

Condiciones Socioeconómicas y Políticas:

El modelo responde a la realidad local, en la que la coordinación interinstitucional y el acceso a financiamiento son aspectos críticos. Su estructura escalable y modular permite realizar ajustes a medida que se disponga de mayores recursos o se implementen nuevas políticas públicas en materia ambiental.

Flexibilidad Normativa:

La estructura del sistema está diseñada para integrarse fácilmente a cambios en la legislación ambiental, permitiendo una actualización continua y asegurando la sostenibilidad a largo plazo. Esta capacidad de adaptación es esencial para mantener la relevancia y eficacia del modelo en un entorno dinámico. Las ventajas de esto que permiten la alineación con las leyes nacionales y los tratados internacionales de gestión ambiental garantizan la estabilidad legal del modelo y la obtención de certificaciones nacionales e internacionales mejora la credibilidad y el posicionamiento de las empresas que adopten la propuesta.

La alta adaptabilidad y viabilidad contextual son de los mayores aciertos de la propuesta, ya que permiten su implementación efectiva en un entorno con recursos limitados y condiciones cambiantes, asegurando la continuidad operativa y la sostenibilidad del sistema. La combinación de una estructura flexible, la participación de actores clave y la capacidad de ajuste a nuevas condiciones regulatorias posicionan al modelo como una solución escalable y replicable en diferentes contextos nacionales e internacionales.

5.4 EJEMPLO PRÁCTICO: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

A continuación se desarrollará un análisis económico sobre la viabilidad económica de implementar un Sistema integrado para la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador; esta propuesta se sustenta en datos cuantitativos recientes y conceptos teóricos expuestos en el Marco teórico (Capítulo 2), como lo son: la reducción en la fuente, la clasificación integral de los residuos y la aplicación de modelos basados en la economía circular, los cuales son esenciales para una gestión sostenible de los RCD.

Dicho análisis busca demostrar que la implementación de un sistema integrado, basado en prácticas de economía circular, puede generar importantes beneficios económicos y medioambientales, para ello, se comparan dos modelos: el manejo convencional de los RCD y el sistema integrado propuesto.

5.4.1 Estimación de Volúmenes de RCD

Para estimar o proyectar los volúmenes de RCD se hará uso de los datos históricos y parámetros técnicos extraídos de estudios realizados en el Área Metropolitana de San Salvador, se estima que los proyectos de urbanización generan aproximadamente 0.36 m³/m², para edificaciones 0.16 m³/m², para viviendas 0.18 m³/m², para las demoliciones 0.16 m³/m² y las obras viales 0.50 m³/m², en función de estos coeficientes, se calculará el volumen total de RCD proyectado para el tipo de proyecto en análisis.

A continuación, para valorar mejor el Plan de gestión de RCD se tomarán en cuenta 3 ejemplos de proyectos que se desarrollan en la actualidad, los cuales son: Proyecto A (Edificación Nueva), Proyecto B (Residencia de Clase Alta), Proyecto C (Remodelación de Edificio), todos en el Área Metropolitana de San Salvador.

- **PROYECTO A:**

Como se mencionó anteriormente el Proyecto A es un edificio nuevo en construcción en el Área Metropolitana de San Salvador, y tiene un área de construcción de: 4,782.74 m².

Haciendo uso del factor para para edificaciones nuevas de 0.16 m³/m², tenemos que para el Proyecto A se generan 765.24 m³ de RCD.

Tabla 17. Estimación de volumen de RCD para Proyecto A

Proyecto:	A		Tipo:	Edificación Nueva	
Factor:	0.16	m ³ /m ²	Área de Construcción:	4782.74	m ²
Cantidad de RCD a generar:			765.24	m³	

Fuente: Elaboración Propia.

- **PROYECTO B:**

El Proyecto B es una Residencia de Clase Alta en construcción en el Área Metropolitana de San Salvador, y tiene un área de construcción de: 786.89 m².

Haciendo uso del factor para para viviendas nuevas de 0.18 m³/m², tenemos que para el Proyecto B se generan 141.65 m³ de RCD.

Tabla 18. Estimación de volumen RCD para Proyecto B

Proyecto:	B		Tipo:	Vivienda	
Factor:	0.18	m ³ /m ²	Área de Construcción:	786.89	m ²
Cantidad de RCD a generar:			141.65	m³	

Fuente: Elaboración Propia.

- **PROYECTO C:**

El Proyecto C pertenece a una Remodelación de un edificio, que dentro de sus actividades constructivas está contemplado realizar demoliciones, de igual forma se encuentra en el Área Metropolitana de San Salvador, y tiene un área de construcción de: 2,074.03 m².

Haciendo uso del factor para para demoliciones de 0.16 m³/m², tenemos que para el Proyecto C se generan 331.85 m³ de RCD.

Tabla 19. Estimación de volumen de RCD para Proyecto C

Proyecto:	C		Tipo:	Remodelación	
Factor:	0.16	m ³ /m ²	Área de Construcción:	2074.03	m ²
Cantidad de RCD a generar:			331.85	m³	

Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor análisis por tipo de RCD generados por proyecto, haremos uso de la siguiente tabla, contenida en el marco teórico:

Tabla 20. Categorización de residuos reciclables y/o reutilizables

RESUMEN				
Tipo de Residuo	Composición en Porcentajes (%)			
	Construcción Nueva	Demolición	Infraestructura Vial	Porcentaje promedio
Inertes	71.00	76.00	67.00	71.33
No Peligrosos	23.00	19.00	17.00	19.67
Peligrosos	6.00	5.00	16.00	9.00

Fuente (2019): Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el área metropolitana de San Salvador (Trabajo de grado: Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México).

De esta manera tenemos para los proyectos A, B y C, tenemos:

Tabla 21. Análisis por tipo de RCD generados en Proyectos A, B y C

PROYECTO	CLASIFICACIÓN	RCD Generado (m3)	TIPO RCD	%	CANT RCD (m3)
A	Construcción Nueva	765.24	Inertes	71%	543.33
			No Peligroso	23%	176.01
			Peligrosos	6%	45.92
B	Construcción Nueva	141.65	Inertes	71%	100.58
			No Peligroso	23%	32.58
			Peligrosos	6%	8.50
C	Demolición	331.85	Inertes	76%	252.21
			No Peligroso	19%	63.06
			Peligrosos	5%	16.59

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se han estimado los volúmenes y tipo de RCD que se generarán para cada proyecto, se puede planificar la separación de dichos RCD en obra, y asignar los costos asociados a la disposición final de estos, tal como se propuso en el capítulo 4, se recomienda separar los RCD en obra, de la siguiente manera:

- a) Zona de acopio de Inertes.
- b) Zona de acopio de Acero.
- c) Zona de acopio de Concreto.
- d) Zona de acopio para RCD No Peligrosos.
- e) Zona de acopio para RCD Peligrosos.

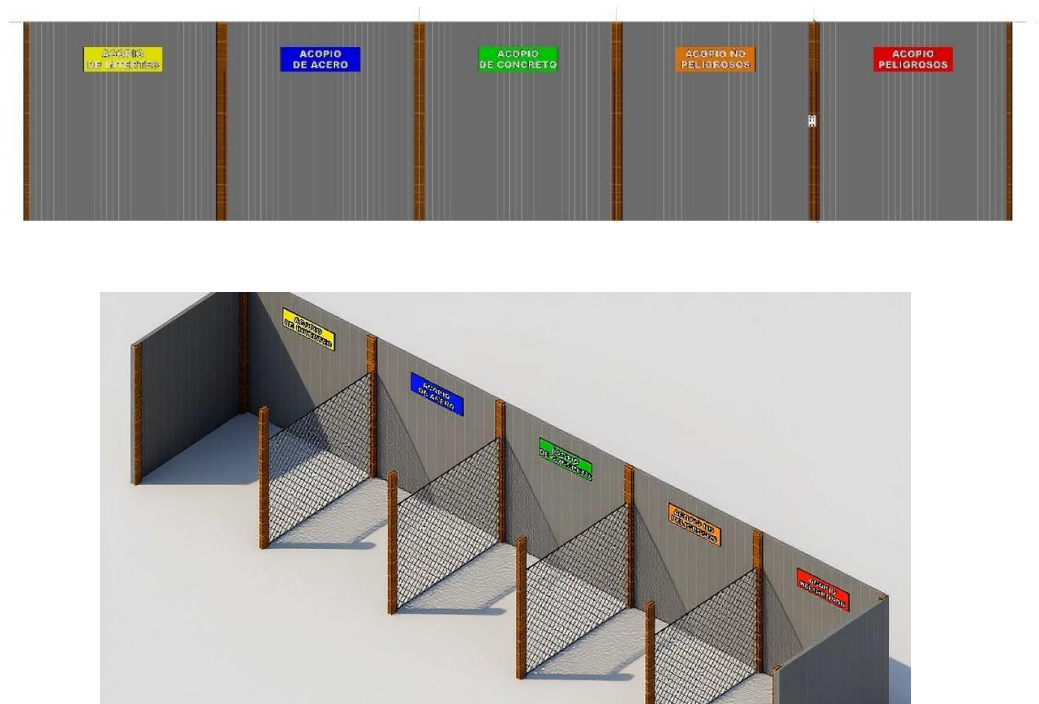


Figura 30 Esquema en elevación e isométrico de separación de RCD en obra

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Desglose de Costos en la Gestión de los RCD

A continuación, se realizará un desglose de los costos más importantes asociados al Plan de Gestión de RCD.

Costos Directos

Capacitación de personal: Se requiere una inversión en programas de formación para el personal encargado del plan de gestión en materia de separación en origen y técnicas de reciclaje, para este efecto se calculan costos estimados entre \$250.00 - \$342.86 por mes considerando 2 charlas por periodo, de manera que se le asignará un costo promedio a esta actividad de \$246.43, de carácter necesario los primeros 3 meses de ejecución de las obras obteniendo un costo estimado de \$739.29.

Tabla 22. Costo de espacio para separación de RCD, condición sin lluvia.

Espacio para separación de RCD en área de construcción, medidas de 10x2m, y separación cada 2.00m para colocación de materiales					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Materiales					
	Tela cedazo galvanizado	yd	13,20	\$2,85	\$37,62
	Lamina Acanalada de 1x3yardas cal. 28 comercial	plg	10,64	\$7,50	\$79,80
	Clavo con cabeza 4"	libra	14,76	\$0,80	\$11,81
	Cuartón de pino	varas	65,16	\$2,70	\$175,93
Total de Materiales					\$305,16
Mano de Obra					

	Hechura de divisiones con forro de lámina lisa o acanalada incluyendo riostrado	m2	40,00	\$5,33	\$213,20
Total de Mano de Obra					\$213,20
Precio Unitario					\$518,36
** QUINIENTOS DIECIOCHO CON 36/100 DOLARES **					

Fuente: Elaboración Propia

- Infraestructura de Acopio y Señalización: Como se mencionó anteriormente se requiere de la implementación de espacios de acopio especializados con codificación por colores, para el caso se han hecho dos escenarios posibles, 1) Espacios de acopio en condición sin lluvia, 2) Espacios de acopio en condición con lluvias.

Tabla 23. Costo de espacio para separación de RCD, condición con lluvia.

Espacio para separación de RCD en área de construcción, medidas de 10x2m, y separación cada 2.00m para colocación de materiales con techo					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Materiales					
	Tela cedazo galvanizado	yd	13,20	\$2,85	\$37,62
	Lamina Acanalada de 1x3yardas cal. 28 comercial	plg	15,76	\$7,50	\$118,20
	Clavo con cabeza 4"	libra	17,16	\$0,80	\$13,73
	Costanera de madera de pino	varas	10,00	\$1,35	\$13,50
	Cuartón de pino	varas	90,16	\$2,70	\$243,43
Total de Materiales					\$426,48
Mano de Obra					
	Techo de lámina acanalada	m2	20,00	\$5,69	\$113,80

	Hechura de divisiones con forro de lámina lisa o acanalada incluyendo riostrado	m2	40,00	\$5,33	\$213,20
Total de Mano de Obra					\$327,00
Precio Unitario					\$753,48
** SETECIENTOS CINCUENTA Y TRES CON 48/100 DOLARES **					

Fuente: Elaboración Propia

Costos Indirectos

- Costos por transporte: Dado que se propone incrementar el ciclo de vida y la cadena de valor del acero y concreto particularmente, se ha realizado un análisis de costos de transporte y disposición final de este tipo de RCD, para el caso de concreto se analiza el costo por transporte de residuos de concreto desde el Área Metropolitana de San Salvador, hasta la Planta de Agregados Tepeagua, de Holcim, para el caso del acero se analiza el costo por transporte de residuos de acero desde el Área Metropolitana de San Salvador, hasta la fábrica de acero Corinca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31 Acopio de residuos de concreto demolido en planta CDM, Holcim



Figura 32 Planta recicladora de chatarra, Corinca

Fuente: Sitio web oficial: <https://corinca.com/>

Tabla 24 Costo de traslado de RCD a planta Holcim

COSTO DE TRASLADO DE RCD A PLANTA HOLCIM				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Recepción de RCD en planta HOLCIM	9.8	ton	\$10.00	\$98.00
Transporte de San Salvador a planta HOLCIM ubicada en Tepeagua.	1	u	\$90.00	\$90.00
				\$188.00
Precio por qq				\$26.86

Fuente: Elaboración propia.

Dado que de este ejercicio no se obtiene ningún beneficio económico, todo representa un gasto para el gestor de RCD, esto debido a que Holcim cobra un promedio \$10.00 por ton recibida de residuos de concreto.

Tabla 25 Costo de traslado de RCD a planta Corinca

COSTO DE TRASLADO DE RCD A CORINCA				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Recepción de RCD en planta Corinca	90	qq	\$22.05	\$1.984.50
Transporte de San Salvador a planta de fundición Corinca, ubicada en Desvío Sitio del Niño, entrada a Quezaltepeque, La Libertad.	1	u	\$70.00	-\$70.00
				\$1,914.50
Precio por qq				\$21.27

Fuente: Elaboración propia.

Para el ejercicio del acero en específico del acero, se analiza con signo negativo lo que representa un costo para el gestor de RCD, y con signo positivo lo que representa un beneficio económico para el mismo, ya que Corinca si paga por el acero que es llevado a su planta un aproximado de \$0.11 por libra.

Para ambos análisis unitarios se ha considerado la capacidad de un camión de volteo estándar (10-11 Ton con cama de 7m³), para tener un análisis más preciso se procederá a realizar este ejercicio, para los ejemplos anteriormente propuestos en la etapa de estimación de volúmenes.

Para el desarrollo de los ejercicios se ha tomado en consideración para las construcciones nuevas, que de un desperdicio aproximado del 5% del acero que se da en los proyectos, el 3% será reciclable, para estos se tomaran cantidades reales de insumos de los proyectos en estudio, para el caso del concreto en las

construcciones nuevas, se mantendrá el análisis unitario de un camión de volteo, por la complejidad de estimar un porcentaje real de RCD de concreto que cumplan con los requerimientos mínimos, para procesar hacia la planta HOLCIM ubicada en Tepeagua, en el departamento de La Libertad.

Por otro lado, para el caso específico de los RCD de concreto del proyecto remodelación/demolición, si se tendrán en cuenta las cantidades producto de demoliciones específicas, mientras que para el caso del acero se hará la misma consideración que con construcciones nuevas (3% reciclable).

COSTOS INDIRECTOS PROYECTO A:

Para la realización del ejercicio se hará uso de los insumos reales del Proyecto A, a continuación, se presenta el análisis que se hará para el acero del proyecto.

Tabla 26. Acero en Proyecto A

Materiales		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Varilla de Acero #2 (1/4") G-60 corrugada	qq	119.70
Varilla de Acero #3 (3/8") G-60 corrugada	qq	0.16
Varilla de Acero #6 (3/4") G-40 corrugada	qq	907.49
Varilla de Acero #7 (7/8") G-60 corrugada	qq	351.01
Varilla de Acero #3 (3/8") G-40 corrugada	qq	1,641.08
Varilla de acero #4 (1/2") G-60 corrugada	qq	3,204.73
Varilla de Acero #5 (5/8") G-60 corrugada	qq	660.66
Varilla de Acero #10 (1 1/4") G-60 corrugada	qq	275.92
Varilla de Acero # G-60 corrugada	qq	1,755.49
Total por proyecto	qq	8,916.24
Total de RCD a transportar	3%	267.49 qq

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior podemos observar que el acero total real del proyecto son 8,916.24 qq, de los cuales transportaremos para su disposición final el 3%, correspondiente a 267.49 qq, se procederá a realizar un análisis de sus costos asociados.

Adicionalmente, se incluirá un costo asociado para la carga manual de acero proveniente de dicho desperdicio, compuesto por piezas de entre 20 cm y 1 metro, se utilizarán tres auxiliares trabajando con carretillas metálicas reforzadas,

bajo condiciones controladas de orden, distancia corta y logística fluida, se estima un rendimiento promedio de **8.35 quintales por hora** por auxiliar, lo cual permite cargar un total de **267.49 quintales** en aproximadamente **3.5 horas** por auxiliar, garantizando eficiencia sin comprometer la seguridad física del personal.

Tabla 27. Costo de traslado de RCD a Corinca (Proyecto A)

COSTO DE TRASLADO DE RCD A CORINCA				
Proyecto A				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Carga manual de acero con auxiliares	31.5	hr	\$4.09	-\$128.84
Recepción de RCD en planta Corinca	267,49	qq	\$22.05	\$5.898.15
Transporte de San Salvador a planta de fundición Corinca, ubicada en Desvío Sitio del Niño, entrada a Quezaltepeque, La Libertad.	3	u	\$70.00	-\$210.00
				\$5.559.31
Precio por qq				\$20.78

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del concreto, dado que es un proyecto nuevo, es difícil estimar la cantidad de RCD de concreto que van a producirse, no obstante, se analizará el caso más desfavorable que sería la disposición final de un camión de volteo estándar (10 -11 Ton con cama de 7m3).

Adicionalmente, se incluirá un costo asociado para la carga manual de concreto previamente segmentadas, con dimensiones que oscilan entre 30 y 42 pulgadas, se emplearán tres auxiliares trabajando con carretillas metálicas reforzadas, bajo

condiciones controladas de orden, distancia corta y logística fluida, se estima un rendimiento promedio de **0.96 toneladas por hora** por auxiliar, lo que permite cargar un volumen total de **9.8 toneladas** en aproximadamente **3.4 horas de trabajo** por auxiliar, garantizando eficiencia sin comprometer la seguridad física del personal.

Tabla 28. Costo de traslado de RCD a Planta Holcim (Proyecto A)

COSTO DE TRASLADO DE RCD A PLANTA HOLCIM				
Proyecto A				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Carga manual de concreto con auxiliares	10	hr	\$4.09	\$40.90
Recepción de RCD en planta HOLCIM	9.8	ton	\$10.00	\$98.00
Transporte de San Salvador a planta HOLCIM ubicada en Tepeagua.	1	u	\$90.00	\$90.00
				\$228.90
Precio por m3				\$32.70

Fuente: Elaboración propia.

COSTOS INDIRECTOS PROYECTO B:

Para la realización del ejercicio se hará uso de los insumos reales del Proyecto B, como se mencionó anteriormente, este análisis se hará para el acero del proyecto.

Tabla 29. Acero en Proyecto B

Materiales		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Varilla de Acero #2 (1/4") corrugada	qq	72.04
Varilla de Acero #6 (3/4") corrugada	qq	107.69
Varilla de Acero #7 (7/8") corrugada	qq	13.55
Varilla de Acero #3 (3/8") corrugada	qq	305.80
Varilla de acero #4 (1/2") corrugada	qq	417.31
Varilla de Acero #5 (5/8") corrugada	qq	221.60
Total por proyecto	qq	1,137.99
Total de RCD a transportar	3%	34.14 qq

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior podemos observar que el acero total real del proyecto son 1,137.99 qq, de los cuales transportaremos para su disposición final el 3%, correspondiente a 34.14 qq, se procederá a realizar un análisis de sus costos asociados.

Tabla 30. Costo de traslado de RCD a Corinca (Proyecto B)

COSTO DE TRASLADO DE RCD A CORINCA				
Proyecto B				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Carga manual de acero con auxiliares	4	hr	\$4.09	-\$16.72

Recepción de RCD en planta Corinca	34,14	qq	\$22,05	\$752,79
Transporte de San Salvador a planta de fundición Corinca, ubicada en Desvío Sitio del Niño, entrada a Quezaltepeque La Libertad.	1	u	\$70,00	-\$70,00
				\$666.08
Precio por qq				\$19.51

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del concreto, dado que es un proyecto nuevo, es difícil estimar la cantidad de RCD de concreto que van a producirse, no obstante, se analizará el caso más **desfavorable** que sería la disposición final de un camión de volteo estándar (10 -11 Ton con cama de 7m3).

Tabla 31. Costo de traslado de RCD a planta Holcim (Proyecto B)

COSTO DE TRASLADO DE RCD A PLANTA HOLCIM				
Proyecto B				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Carga manual de concreto con auxiliares	10	hr	\$4.09	\$40.90
Recepción de RCD en planta HOLCIM	9.8	ton	\$10.00	\$98.00
Transporte de San Salvador a planta HOLCIM ubicada en Tepeagua.	1	u	\$90.00	\$90.00
				\$228.90
Precio por m3				\$32.70

Fuente: Elaboración propia.

COSTOS INDIRECTOS PROYECTO C:

Para la realización del ejercicio se hará uso de los insumos reales del Proyecto C, como se mencionó anteriormente, este análisis se hará para el acero del proyecto.

Tabla 32. Acero en Proyecto C

Materiales		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Varilla de Acero #2 (1/4") G-60 corrugada	qq	114.62
Varilla de Acero #6 (3/4") G-40 corrugada	qq	436.73
Varilla de Acero #7 (7/8") G-60 corrugada	qq	68.71
Varilla de Acero #3 (3/8") G-40 corrugada	qq	382.63
Varilla de acero #4 (1/2") G-60 corrugada	qq	1,232.47
Varilla de Acero #5 (5/8") G-60 corrugada	qq	174.11
Varilla de Acero #10 (1 1/4") G-60 corrugada	qq	216.32
Varilla de Acero #8 (1") G-60 corrugada	qq	1,322.77
Total por proyecto	qq	3,948.36
Total de RCD a transportar	3%	118.45 qq

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior podemos observar que el acero total real del proyecto son 3,948.36 qq, de los cuales transportaremos para su disposición final el 3%, correspondiente a 118.45 qq, se procederá a realizar un análisis de sus costos asociados.

Tabla 33. Costo de traslado de RCD a Corinca (Proyecto C)

COSTO DE TRASLADO DE RCD A CORINCA				
Proyecto C				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Carga manual de acero con auxiliares	14	hr	\$4.09	-\$57.26
Recepción de RCD en planta Corinca	118,45	qq	\$22,05	\$2.611,82
Transporte de San Salvador a planta de fundición Corinca, ubicada en Desvío Sitio del Niño, entrada a Quezaltepeque La Libertad.	2	u	\$70,00	-\$140,00
				\$2,414.54
Precio por qq				\$20.38

Fuente: Elaboración propia.

Para este ejemplo en específico si podremos analizar un estimado de RCD de concreto a transportar para su disposición final, ya que se cuentan con datos reales de demoliciones del proyecto y se puede estimar un volumen más preciso.

Tabla 34. Cantidades de desmontajes y demoliciones en Proyecto C

DESMONTAJES Y DEMOLICIONES		
Descripción	Cantidad	Unidad
Desmontaje de cubierta de techo y estructura metálica	1,004.02	m2
Desmontaje de divisiones livianas	279.44	m2
Desmontaje de elementos metálicos	78.10	ml
Desmontaje de escalera metálica	1.00	sg
Desmontajes eléctricos	1.00	sg
Demolición de pisos de concreto	1,062.41	m2
Demolición de escalera de concreto	1.00	sg
Demolición de paredes de bloque	353.71	m2
Demolición de losa de Entrepiso	348.50	m2
Demolición de losa de equipos	60.40	m2

Demolición de elementos verticales de concreto	106.78	m3
Desalojo producto de demoliciones en sótano.	64.33	m3
Desalojo producto de demoliciones nivel 1, entepiso y losa de techo	601.00	m3

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior podemos observar que la cantidad RCD proveniente de demoliciones total real para el proyecto son 665.33 m3, si consideramos una densidad promedio para este tipo de RCD de 1.40 ton/m3, se obtiene un equivalente a 931.46 ton de RCD Totales, de los cuales haciendo uso de los datos de nuestro marco teórico, específicamente de la tabla 3, podemos anticipar que el 33% de estos RCD son: Concreto, correspondiente a: cimentaciones, columnas, vigas y losas, equivalente a 307.38 ton , de los cuales transportaremos el 28% correspondiente a desechos admisibles para ser reutilizados según la tabla 4 del marco teórico, obteniendo una cantidad de RCD para su disposición final equivalente a 86.07 ton, se procederá a realizar un análisis de sus costos asociados.

Adicionalmente, se incluirá un costo asociado para la fragmentación por medio de rotomartillo, carga manual de RCD de concreto, en dimensiones que oscilan entre 30 y 42 pulgadas, se emplearán dos auxiliares trabajando con carretillas metálicas reforzadas en conjunto con un operador con rotomartillo, bajo condiciones controladas de orden, distancia corta y logística fluida, se estima un rendimiento promedio de 1.30 toneladas por hora por auxiliar, pero la cuadrilla en conjunto logra rendimiento promedio de **2.60 toneladas por hora** un lo que

permite segmentar y cargar un volumen total de **86.07 toneladas** en aproximadamente **33 horas de trabajo** por equipo de trabajo, garantizando eficiencia sin comprometer la seguridad física del personal.

Tabla 35. Costo de traslado de RCD a planta Holcim (Proyecto C)

COSTO DE TRASLADO DE RCD A PLANTA HOLCIM				
Proyecto C				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Preparación y carga del concreto para su transporte (Auxiliar + operador + herramienta)	33	hr	\$11.73	\$387.09
Recepción de RCD en planta HOLCIM	86,07	ton	\$10,00	\$860,70
Transporte de San Salvador a planta HOLCIM ubicada en Tepeagua.	9	u	\$90,00	\$810,00
				\$2.057.79
Precio por m3				\$32.66

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RCD.

Para todos los RCD diferentes, al acero y concreto, que no puedan ser reutilizados dentro del proyecto, cómo lo es el caso de las maderas, suelo del lugar para relleno, si cumple con las especificaciones técnicas del proyecto, etc., es darles una correcta disposición final, para lo cual se recomienda, que esta sea hacia un relleno sanitario autorizado por la DIRECCIÓN GENERAL DE

SANEAMIENTO AMBIENTAL Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos, específicamente para este caso se hará el ejercicio se toará en cuenta el relleno sanitario Mides, SEM, ubicado en cantón Camotepec, Municipio de Nejapa, Departamento de San Salvador.

Para efectos prácticos se analizará los costos asociados a la movilización de los RCD restantes, una capacidad igual a la de un camión de volteo estándar (10 - 11 Ton con cama de 7m3).

Tabla 36. Costo de traslado de RCD desde San Salvador a MIDES

COSTO DE TRASLADO DE RCD A MIDES				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	TOTAL
Carga manual con auxiliares	8	hr	\$4.09	\$32.72
Recepción de RCD en Relleno Sanitario MIDES, SEM	10	ton	\$16,95	\$169,50
Transporte de San Salvador a Relleno Sanitario MIDES, SEM, ubicada ubicado en cantón Camotepec, Municipio de Nejapa, Departamento de San Salvador	1	u	\$80,00	\$80,00
				\$ 282.22
Precio por m3				\$40.32

Fuente: Elaboración propia

Con este proceso se busca principalmente reducir la cantidad de RCD que van a parar a sitios ilegales e inadecuados, los cuales como se ha visto en capítulos anteriores impacta directamente en el medio ambiente, y la salud, además con esta práctica se consigue una *“Constancia de Destrucción y Disposición Final de Desechos Especiales”*, la cual se recomienda sea parte de los requisitos para optar a los incentivos financieros obtenidos de la aplicación de la Propuesta de Gestión de RCD.

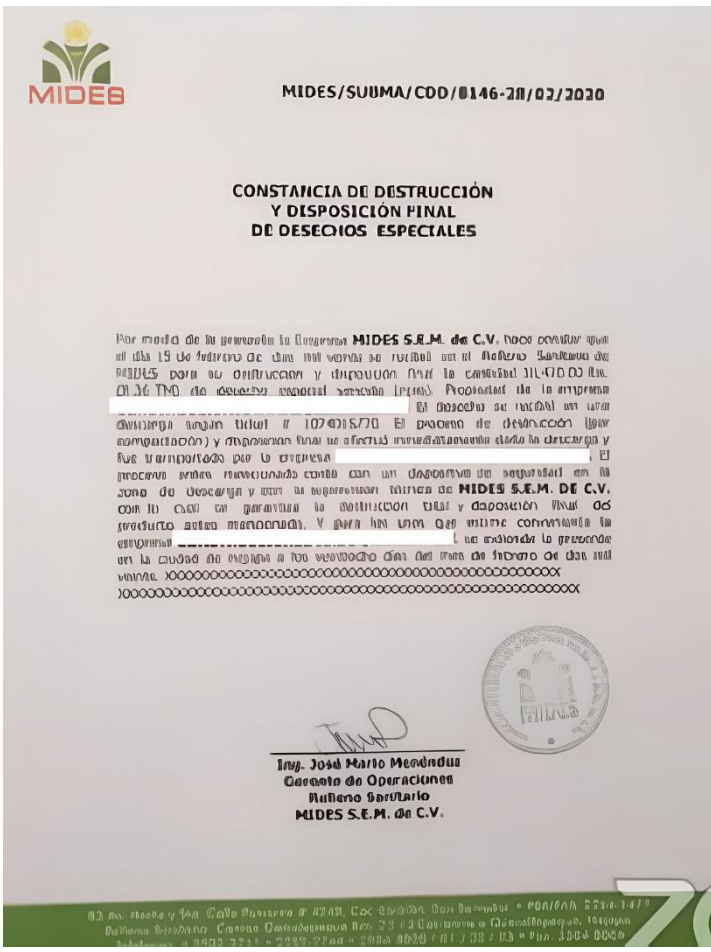


Figura 33. Constancia de destrucción y disposición final de desechos especiales
 Fuente: Charla informativa COAMSS-OPAMSS sobre desechos especiales.

5.5 COMPARATIVA CON MÉTODOS TRADICIONALES

A continuación, se hará una comparación de la Propuesta de Gestión de RCD, contra las prácticas tradicionales que se tienen en la actualidad.

5.5.1 Proceso y Desarrollo

Propuesta de Gestión de RCD:

- **Diseño Modular y Segmentación Integral:**

La propuesta se estructura en tres módulos fundamentales: planificación, implementación y disposición final, cada uno interconectado con el siguiente lo cual garantiza eficiencia, la efectividad y la capacidad de respuesta ante desviaciones dentro de su ejecución.

- **Monitoreo en Tiempo Real:**

La incorporación de herramientas como los dashboards y un sistema de seguimiento facilita la detección temprana de ineficiencias y errores, esto permite ajustar procesos de manera inmediata, reduciendo tiempos de respuesta y mejorando la precisión en la segregación y disposición de los RCD.

Métodos Tradicionales:

- **Procesos Lineales y Desconectados:**

Los métodos convencionales se basan en un enfoque puramente de recolección, transporte y disposición final, sin la integración de fases ni la aplicación de un monitoreo, lo que dificulta la supervisión y el control de cada etapa, cabe resaltar que para este método es irrelevante el lugar de disposición final de los RCD, y los impactos que estos generen.

5.5.2 Impacto Económico y Eficiencia Operativa

Propuesta de Gestión de RCD:

- **Optimización de Costos y Ahorro Operativo:**

El análisis cuantitativo realizado en los ejemplos ha estimado que la correcta implementación de una gestión integral puede reducir los costos operativos, dado que los beneficios son mayores a la inversión a realizar, en este punto la optimización del desarrollo del Plan de Gestión de RCD y la integración de la economía circular permite recuperar parte de la inversión mediante la comercialización de materiales reciclados, lo que reduce los costos totales, es decir existe una recuperación de inversión y rentabilidad.

Métodos Tradicionales:

- **Costos Elevados en Disposición y Falta de Reutilización:**

Los incurre en costos elevados debido a la ineficiencia en la separación de residuos y la disposición final en vertederos sin una estrategia de valorización, lo que resulta en mayores costos operativos y un menor potencial de generación de ingresos por materiales recuperables, es decir no existe una recuperación de inversión ni rentabilidad durante esta práctica.

5.5.3 Análisis de viabilidad económica

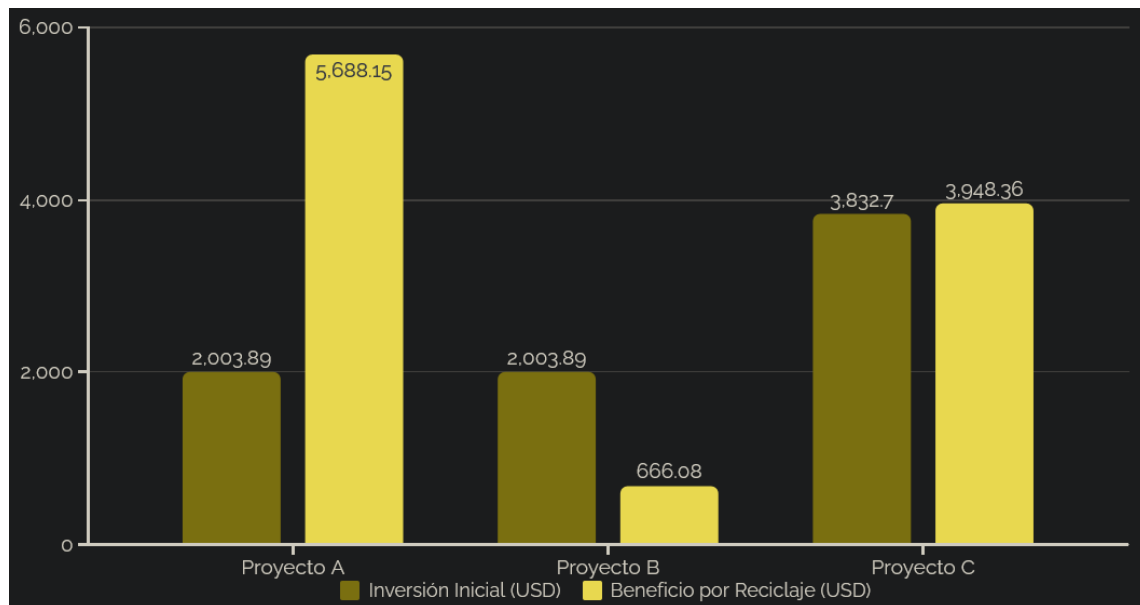


Figura 34 Análisis gráfico: Inversión inicial - Beneficio por reciclaje.

Fuente: Elaboración propia

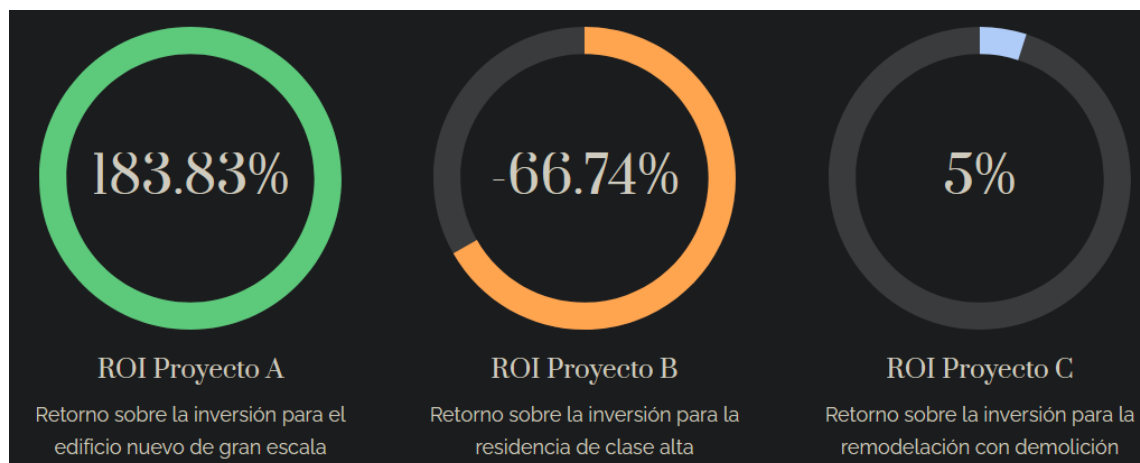


Figura 35 Análisis gráfico: ROI (Retorno sobre la Inversión) sobre proyectos A, B y C.

Fuente: Elaboración propia

El análisis económico demuestra que la implementación del modelo de gestión de RCD propuesto es económicamente viable en dos de los tres tipos de proyectos analizados, con diferentes niveles de rentabilidad según la escala y naturaleza del proyecto.

Los proyectos de mayor escala (A y C) presentan un retorno sobre la inversión significativamente mayor debido al volumen de materiales reciclables, especialmente acero. Sin embargo, el proyecto residencial más pequeño (B) muestra un ROI negativo, demostrando la viabilidad económica del modelo para diferentes tipologías constructivas.

5.6 PROPUESTA DE INCENTIVOS FINANCIEROS

Para facilitar la transición hacia prácticas más sostenibles y fomentar la adopción de la estrategia propuesta, se recomienda un sistema de incentivos financieros, a continuación, se detalla cada componente, junto con las bases y porcentajes estimados según estudios comparativos y análisis de políticas públicas internacionales.

5.6.1 Beneficios Tributarios

Créditos Fiscales:

Se propone otorgar deducciones en el impuesto a la renta para empresas que inviertan en la implementación del Plan de Gestión de RCD, casos internacionales sugieren que los créditos fiscales pueden oscilar entre un 10% y

un 15% de la inversión realizada en infraestructura y tecnologías para la aplicación del Plan de Gestión de RCD, incentivando así la adopción del modelo.

Reducciones de Impuestos Locales:

Las municipalidades podrían implementar descuentos en tasas de permisos de construcción para los proyectos que cumplan con estándares de separación y reciclaje, para este caso se recomienda exigir un plan de gestión integral de RCD, se propone que la reducción de tasas municipales podría ser del 10% al 20%, basándose en ejemplos de políticas locales en otros países donde se han obtenido resultados positivos en la adopción de prácticas sostenibles en la gestión de RCD.

5.6.2 Subsidios y Apoyo Directo

Subsidios sobre la Inversión Inicial:

Para promover el uso de la Propuesta de Gestión de RCD, se sugiere la implementación de subsidios para la logística e implementación de sistemas de monitoreo, análisis de costos en el proyecto indican que un subsidio del 15% al 20% sobre la inversión en infraestructura puede aumentar significativamente la tasa de adopción, ya que compensa parte de la inversión inicial.

5.6.3 Créditos y Financiamiento

Líneas de Crédito con Tasas Reducidas:

Se propone que con el fin de incentivar el uso de la Propuesta de Gestión de RCD, las instituciones financieras podrían ofrecer créditos con tasas de interés inferiores a las del mercado para proyectos que adopten el modelo propuesto, se

sugiere que estos créditos puedan contar con tasas de interés entre un 20% y un 30% menores que las tasas convencionales, facilitando la recuperación de la inversión y reduciendo el costo financiero total.

Alianzas Público-Privadas:

Es de suma importancia la participación de los gobiernos locales o gobierno central en el desarrollo de implementación de esta Propuesta de Gestión de RCD, ya que dicha colaboración entre el sector público y privado puede generar líneas de financiamiento compartido, reduciendo el riesgo y promoviendo inversiones de largo plazo.

5.6.4 Bonificaciones y Recompensas.

Sistema de Incentivos Basado en Resultados:

Se propone implementar un esquema de bonificaciones para las empresas que alcancen o superen indicadores de desempeño en la gestión de RCD, destacando la reducción en toneladas de RCD generados, porcentaje de reciclaje y eficiencia operativa, dependiendo de sus logros, las bonificaciones a hacer efectivas podrían rondar entre el 5% al 10% sobre los beneficios netos anuales, específicamente en el ejercicio de declaración sobre el impuesto de la renta, incentivando la mejora continua en la gestión de residuos.

Certificaciones Ambientales y Reconocimientos:

Es importante destacar la obtención de certificaciones oficiales y reconocimientos públicos que puedan traducirse en ventajas competitivas y, en algunos casos, en

incentivos económicos adicionales en procesos de licitación o contratación con el sector público.

Cabe mencionar que, en otros países, donde se han implementado esta clase de incentivos fiscales y subsidios para promover el uso de la Propuesta de Gestión de RCD integral y sostenible, han reportado resultados de crecimiento económico en el sector de la construcción, y un impacto ambiental y social positivo, respecto a escenarios previos al uso de un sistema de gestión de RCD integral.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en El Salvador presenta deficiencias estructurales importantes, entre ellas destacan: la ausencia de una normativa específica, la debilidad institucional para su control y la nula integración del sector informal, esta situación ha favorecido a una disposición final inadecuada de RCD, generando impactos negativos en el medio ambiente, la salud pública y la calidad urbana.
- A pesar de contar con la Ley de Gestión Integral de Residuos desde 2020, el enfoque específico hacia los RCD es casi nulo, lo que ha impedido una aplicación efectiva de prácticas sostenibles, estableciendo así una brecha entre la normativa general y la práctica actual, lo que representa un tema clave que debe ser abordado con urgencia.
- El análisis de experiencias internacionales demostró que es posible aplicar enfoques sostenibles en la gestión de RCD si se cuenta con voluntad política, regulación clara y participación activa de todos los sectores, modelos exitosos en países como México, Colombia y Chile ofrecen lecciones que pueden adaptarse de forma realista al contexto salvadoreño.

- La propuesta planteada en esta investigación que se basa en una estructura de diseño modular, una separación desde el origen, el uso de herramientas digitales y la implementación progresiva de la economía circular, resulta técnica y económicamente viable, siempre que se combine con el trabajo coordinado entre gobierno central, alcaldías, empresas y todos los actores involucrados en el plan de gestión de RCD.
- Se identificó que cerca del 70% de los RCD generados podrían ser reutilizados o reciclados si existieran mecanismos institucionales, centros de acopio y políticas de incentivos adecuados, anticipando que esto no solo tendría un efecto ambiental positivo, sino que abriría nuevas oportunidades económicas y sociales, especialmente para los trabajadores del sector informal.
- El enfoque de economía circular no debe verse como un concepto abstracto, sino como un modelo operativo que permite transformar los RCD en nuevos recursos, su aplicación en el sector construcción implica no solo un cambio técnico, sino un replanteamiento cultural sobre cómo concebimos los materiales al final de su vida útil.
- Se recomienda la implementación de programas piloto en municipios del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) para evaluar de manera real la viabilidad técnica y social de la propuesta, dichos programas servirían como referencia para su posterior escalamiento a nivel nacional.

- Se sugiere impulsar incentivos fiscales y financieros para las empresas del sector formal que adopten prácticas sostenibles en la gestión de RCD, tales como la certificación ambiental, la inversión en tecnología de reciclaje o la participación en alianzas público-privadas.
- Finalmente, se concluye que El Salvador solo se podrá alcanzar una gestión sostenible de RCD hasta que dejen de ser tratados como “desechos sin valor” y se empiecen a visualizar como recursos potenciales, la transformación del modelo requiere voluntad política, colaboración interinstitucional y un cambio de mentalidad en el enfoque del sector de la construcción.

6.2 RECOMENDACIONES

- Es fundamental que las instituciones salvadoreñas encargadas de la gestión medioambiental desarrollen un reglamento técnico específico para los RCD, donde se establezcan definiciones claras, criterios de separación, responsabilidades por tipo de generador y protocolos de tratamiento, dicho reglamento debe construirse con base en evidencia local y buenas prácticas internacionales.
- Es necesario implementar un sistema nacional de datos sobre RCD, donde se registre y actualice información clave como volúmenes de RCD generados, actores involucrados, rutas de disposición y niveles de valorización, un sistema de esta naturaleza permitiría una mejor planificación y control, además de alimentar decisiones de carácter político en el sector con base en evidencia.
- Se recomienda al gobierno crear programas de formación técnica y certificación en gestión de RCD, dirigidos tanto a trabajadores del sector formal como a informales, ya que al capacitar a estos actores no solo mejora la calidad de la gestión, sino que también abre oportunidades de empleo formal en el marco de la economía circular.
- Es importante diseñar una estrategia de comunicación de carácter público, con campañas educativas sobre el valor de los RCD, la importancia de su separación y el impacto que produce una disposición inadecuada, dirigidas

tanto a la población en general, como a inversionistas y desarrolladores de proyectos de infraestructura.

- Se recomienda que los proyectos de construcción pública incorporen desde la etapa de diseño criterios de sostenibilidad y manejo responsable de residuos, incluyendo un plan de gestión de RCD como requisito técnico obligatorio para la licitación y ejecución de obras públicas.
- Se recomienda implementar para los proyectos de carácter público la incorporación de criterios de sostenibilidad y manejo responsable de RCD como requisito técnico obligatorio para la licitación.
- Para el gobierno central se sugiere establecer incentivos fiscales o normativos que promuevan la valorización de RCD, como descuentos tributarios a empresas recicladoras, preferencia en licitaciones públicas para constructoras con planes de gestión de RCD, y fondos de apoyo para la inversión en infraestructura de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Romero, E. (2007). *Residuos de construcción y demolición* [PDF]. Universidad de Huelva.

<https://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>

Gestión del Amianto. (s.f.). *Residuos de construcción y demolición* (RCD).

<https://gestiondelamianto.com/rcd/>

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1983). *Constitución de la República de El Salvador* (Decreto n.º 38). Diario Oficial n.º 234, tomo 281, 16 de diciembre de 1983.

<https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/2022->

[09/Constitucion_El_Salvador.pdf](https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/2022-09/Constitucion_El_Salvador.pdf)

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1998). *Ley de Medio Ambiente* (Decreto n.º 233). Diario Oficial n.º 79, tomo 339, 8 de mayo de 1998.

<https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/2022->

[11/Ley_Medio_Ambiente.pdf](https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/2022-11/Ley_Medio_Ambiente.pdf)

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (2020). *Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje* (Decreto No. 527). Diario Oficial No. 64, tomo 421, 6 de marzo de 2020.

https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/2020/03/ley_gestion

[integral_residuos.pdf](https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/2020/03/ley_gestion_integral_residuos.pdf)

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador. (1996). *Código Municipal* (Decreto No. 65). Diario Oficial No. 131, tomo 344, 23 de julio de 1996.
https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/1996/07/codigo_municipal.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de los Desechos Sólidos*. Diario Oficial No. 154, 9 de agosto de 2010.

<https://www.marn.gob.sv/sites/default/files/ReglamentoManejoDesechos.pdf>

Monge Herrera, M. Á. (2019). *Estudio sobre la gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD) en el Área Metropolitana de San Salvador* [Trabajo de grado, Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Universidad Iberoamericana de México].

AMBIENTEC, S.A. de C.V. (2022). *Diagnóstico Nacional de Residuos* [Informe para Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), El Salvador] [PDF]. <https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/documentos/diagnostico-nacional-vf/>