

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Análisis y simulación para la gestión de los residuos de construcción y
demolición en el casco urbano de Chiclayo - Lambayeque**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Beker Esmil Gaspar Ruiz

ASESOR

Justo David Pedraza Franco

<https://orcid.org/0000-0002-1027-2267>

Chiclayo, 2025

**Análisis y simulación para la gestión de los residuos de
construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo -
Lambayeque**

PRESENTADA POR
Beker Esmil Gaspar Ruiz

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Carlos Enrique Cumpa Vieyra
PRESIDENTE

Segundo Guillermo Carranza Cieza
SECRETARIO

Justo David Pedraza Franco
VOCAL

Dedicatoria

Colmado en fe, amor, gozo e ilusión dedico este trabajo, a Dios por ser quien ilumina mi camino, a todos mis seres queridos, quienes son y serán el motor para seguir adelante en mi vida diaria. Me embarga la felicidad y deleite dedicarles a ellos lo que con mucho ahínco, desvelo y dedicación he logrado.

A mis queridos padres Estela Edith Ruiz Llatas y Marco Gaspar Manayay, porque ellos son la razón de mi vida y ejemplos a seguir.

A mis queridas hermanas, Hemelin, Noelani, porque por ellas me alientan a cumplir mis metas y me hacen sentir orgulloso de finalizarla, gracias a ellas por siempre alentarme a no rendirme.

A toda mi familia, quienes siempre han mantenido la esperanza, a mis primos, tíos y abuelos, quienes están presentes en mi vida y me consideran como parte de su honra.

Agradecimientos

Me siento alegre y feliz al expresar mi gratitud:

A mi asesor el Ing. Justo David Pedraza Franco por su inquebrantable apoyo, seguimiento y motivación constante durante la realización del estudio.

A cada uno de los maestros de mi casa de estudios, los cuales han compartido su experiencia y sabiduría a lo largo de mi tiempo en esta prestigiosa universidad.

Quiero agradecer a mis amigos que siempre me apoyaron a lo largo de mi carrera académica: Ismael, Lucero, y especialmente a Yaritza quien me ha acompañado durante este camino en la universidad.

Análisis y Simulación para la Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición en el Casco Urbano de Chiclayo - Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	14%	7%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	sinia.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	11
Abstract	12
I. Introducción	13
II. Revisión de literatura	17
2.1. Antecedentes	17
2.1.1. Internacionales	17
2.1.2. Nacionales	18
2.2. Bases Teóricas	19
2.3. Definición de términos básicos	21
2.4. Marco Legal	23
III. Materiales y métodos	24
3.1. Tipo y nivel de investigación	24
3.2. Método	24
3.3. Población, muestra y muestreo	25
3.3.1. Población	25
3.3.2. Muestra	25
3.3.3. Muestreo	25
3.4. Criterios de selección	26
3.5. Definición de las variables	26
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.7. Procedimientos	26
3.8. Análisis de datos	27
3.9. Aspectos éticos	27
3.10. Operacionalización de variables	28
3.10.1. Matriz de consistencia	29

IV. Resultados	30
V. Discusión.....	44
VI. Conclusiones	46
VII. Recomendaciones.....	47
VIII. Referencias.....	48
IX. Anexos.....	53
ANEXO 1: Volumen de RCD generado por viviendas.	53
ANEXO 2: Modelo de simulación con VENSIM PLE.....	57
ANEXO 3: Plan integral de gestión ambiental de RS de la provincia de Chiclayo.	76
ANEXO 4: Matriz de antecedentes: investigaciones consideradas.	77
ANEXO 5: Propuesta del plan para la gestión de los RCD.	79

Lista de Tablas

Tabla 1. RCD en espacios públicos en el Perú distribuido por regiones.	15
Tabla 2. Detalle de la clasificación de los RCD.....	20
Tabla 3. Detalle de las categorías de los RCD	21
Tabla 4. Técnicas e instrumentos de estudio.....	26
Tabla 5. Operacionalización de variables	28
Tabla 6. Matriz de consistencia.....	29
Tabla 7. Data histórica del crecimiento de la población de Chiclayo	30
Tabla 8. Viviendas con generación de RCD	32
Tabla 9. Volumen producido por Viviendas Unifamiliares	33
Tabla 10. Volumen producido por viviendas Multifamiliares	33
Tabla 11. Volumen producido por viviendas comercio	33
Tabla 12. Pasos estratégicos en el procedimiento de reducción de los RCD.....	40
Tabla 13. Pasos estratégicos en el procedimiento en disposición final de los RCD	41
Tabla 14. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Enero.....	53
Tabla 15. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Febrero.....	53
Tabla 16. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Marzo.....	54
Tabla 17. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo –Abril.....	54
Tabla 18. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Mayo.....	55
Tabla 19. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Junio.....	55
Tabla 20. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Julio.....	56
Tabla 21. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Agosto.....	56
Tabla 22. Cantidad de RCD generados mensualmente y su estacionalidad.....	74
Tabla 23. Análisis de la información para modelo.....	77

Lista de Figuras

Figura 1. Tipos de RCD generados en edificaciones	14
Figura 2. RCD acumulados: Av. Pedro Ruiz con Luis Gonzales.	20
Figura 3. Casco urbano de Chiclayo.	25
Figura 4. Tendencia en los materiales para las construcciones en Chiclayo.....	31
Figura 5. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses manteniendo las condiciones iniciales.	36
Figura 6. Cantidad de RCD incrementando a la mitad la tasa actual de urbanización.	36
Figura 7. Acumulación de CO2 debido a la generación de RCD.	37
Figura 8. Toneladas de CO2 incrementando a la mitad la tasa actual de urbanización.	37
Figura 9. RCD dispuestos por su generación en el casco urbano de Chiclayo	38
Figura 10. Impacto económico de lo RCD.....	39
Figura 11. Constante con control de reaprovechamiento de RCD.	42
Figura 12. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses con reaprovechamiento al 65%.....	42
Figura 13. Toneladas de CO2 emitidas con reaprovechamiento al 65% de RCD.	43
Figura 14. Volumen de RCD dispuesto con reaprovechamiento al 65%.	43
Figura 15. Elementos de un modelo dinámico de sistemas.....	57
Figura 16. Variable de nivel cantidad de RCD.	60
Figura 17. Variable de nivel impacto ambiental.	61
Figura 18. Variable de nivel impacto económico.	61
Figura 19. Variable de Flujo de Costos.....	62
Figura 20. Variable de Flujo de emisiones de C02.	62
Figura 21. Variable de Flujo generadores de RCD.	63
Figura 22. Variable de Flujo de ingreso no operacional.	63
Figura 23. Variable de Flujo políticas de gestión de RCD.....	64
Figura 24. Variable de Flujo de reinversión.....	64
Figura 25. Variable de Flujo de tecnologías ambientales.	65
Figura 26. Variable auxiliar de crecimiento poblacional.	65

Figura 27. Variable auxiliar de disposición final.	66
Figura 28. Variable auxiliar de generación de RCD.	66
Figura 29. Variable auxiliar de implementación de estrategias.	67
Figura 30. Variable auxiliar de reducción de costos.	68
Figura 31. Variable auxiliar de medidas de reparación ambiental.	69
Figura 32. Variable auxiliar Lookup proyección de RCD mensual.	70
Figura 33. Variable auxiliar Lookup de tiempo.	70
Figura 34. Comportamiento data histórica vs simulación de RCD mensuales.	73
Figura 35. Estacionalidad de los RCD.	74
Figura 36. Comportamiento de RCD dentro y entre los años simulados.	75
Figura 37. Modelo dinámico para la gestión de RCD en el casco urbano de Chiclayo.	75
Figura 38. Plan integral de gestión ambiental de RS de la provincia de Chiclayo.	76
Figura 39. Autoridades encargadas del manejo de los RCD.	80
Figura 40. Procedimiento para el manejo de los RCD.	82
Figura 41. Formato de datos generales e identificación de los RCD.	83
Figura 42. Formato control de los RCD (en obra).	84
Figura 43. Formato del cumplimiento de los indicadores de manejo.	85
Figura 44. Secuencia para el seguimiento de los RCD.	86
Figura 45. Constante de reaprovechamiento al 80% de RCD.	87
Figura 46. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses con reaprovechamiento al 80%.	88
Figura 47. Toneladas de CO2 emitidas con reaprovechamiento al 80% de RCD.	88
Figura 48. Volumen de RCD dispuesto con reaprovechamiento al 80%.	89
Figura 49. Constante de reaprovechamiento al 95% de RCD.	89
Figura 50. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses con reaprovechamiento al 95%.	90
Figura 51. Toneladas de CO2 emitidas con reaprovechamiento al 95% de RCD.	90
Figura 52. Volumen de RCD dispuesto con reaprovechamiento al 95%.	91
Figura 53. Costos con reaprovechamiento al 95%.	91

Figura 54. Economía Lineal.	92
Figura 55. Economía Circular.	92

Resumen

El actual estudio tuvo por objetivo presentar el análisis y simulación para la gestión eficiente de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en el casco urbano de Chiclayo, Lambayeque, que permita optimizar su recolección, disposición y reciclaje, minimizando el impacto ambiental y mejorando la sostenibilidad urbana. Por lo cual, se orientó en una indagación aplicada con diseño no experimental, teniendo en cuenta una muestra compuesta por la totalidad de registros de RCD generados por 529 construcciones con licencia según la Municipalidad Provincial de Chiclayo de Enero a Agosto del 2018 en el casco urbano de Chiclayo. Obteniendo así por resultados, un volumen generado de 28,329 m³ de RCD con 57.56% de naturaleza pétreo: arena, grava, concreto, ladrillo, entre otros, en relación con el diagnóstico; así mismo, mediante el software VENSIM se reflejó un volumen acumulado de RCD en el tiempo simulado de 414,624.0m³, debido a la falta de recolección, tratamiento y la adecuada disposición final, por lo que, se presentó un plan de gestión en función a 3 fases: de análisis normativo, estratégico y de medidas de acción, a fin de reducir el impacto ambiental. Concluyendo ante ello, que el análisis y simulación permitió establecer una gestión eficiente garantizando una minimización del impacto ambiental y mejora de la sostenibilidad urbana, a través de un reaprovechamiento del 65% de los RCD originados por cada obra en el casco urbano de Chiclayo.

Palabras clave: Gestión (RCD), reaprovechamiento, impacto ambiental, Vensim.

Abstract

The current study aimed to present the analysis and simulation for the efficient management of Construction and Demolition Waste (CDW) in the urban area of Chiclayo, Lambayeque, which allows optimizing its collection, disposal and recycling, minimizing the environmental impact and improving urban sustainability. Therefore, it was guided by an applied investigation with a non-experimental design, taking into account a sample composed of all the CDW records generated by 529 constructions licensed according to the Provincial Municipality of Chiclayo from January to August 2018 in the urban area. from Chiclayo. Thus obtaining by results, a generated volume of 28,329 m³ of CDW with 57.56% of stone nature: sand, gravel, concrete, brick, among others, in relation to the diagnosis; Likewise, through the VENSIM software, an accumulated volume of CDW in the simulated time of 414,624.0m³ was reflected, due to the lack of collection, treatment and adequate final disposal, therefore, a management plan was presented based on 3 phases: regulatory, strategic analysis and action measures, in order to reduce the environmental impact. Concluding from this, the analysis and simulation made it possible to establish efficient management, guaranteeing a minimization of the environmental impact and improvement of urban sustainability, through a reuse of 65% of the CDW generated by each work in the urban area of Chiclayo.

Keywords: (CDW) Management, reuse, environmental impact, Vensim.

I. Introducción

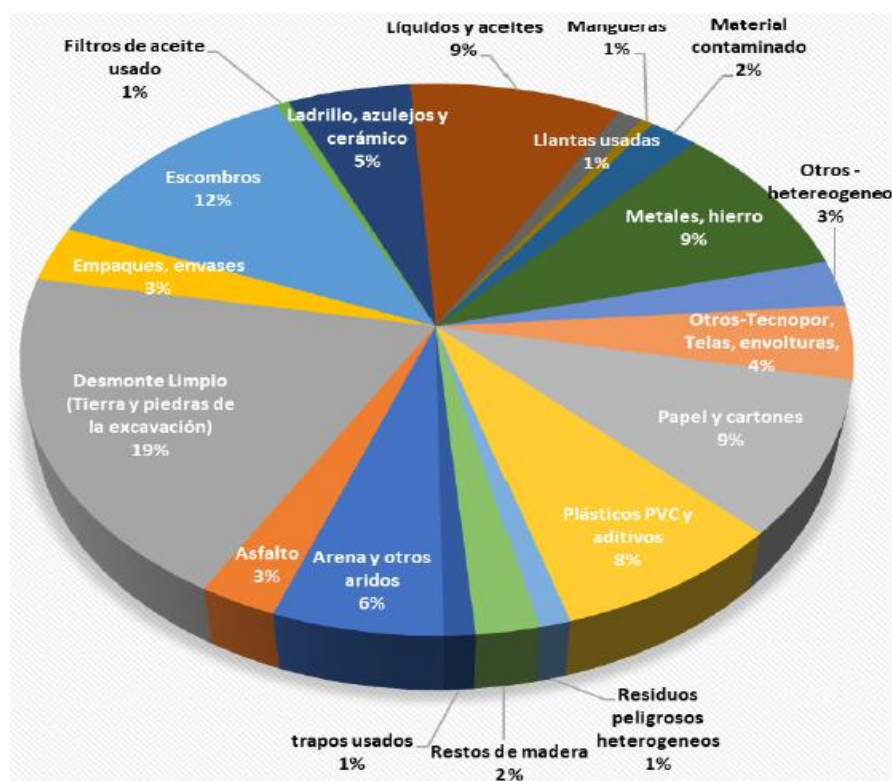
En el mundo en las últimas décadas, la generación y gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) es un problema ambiental; porque la acumulación de estos resulta siendo grandes contaminantes para el suelo, aire y agua, aportando directamente al cambio climático, a la afectación de cada ecosistema y a la salud humana [1]. También, considerando los estadísticos, el 35% de los residuos generados en todo el planeta corresponden a RCD [2], así mismo, el 30%, 36%, 44%, 50% y 70 % de la totalidad de estos son originados en Italia, Japón, Australia, Reino Unido y España respectivamente [3], como resultado de las diferentes actividades de ingeniería civil, el incremento poblacional y el desarrollo urbano acelerado. Además, se estimada que entre un 35% y 40% de desechos totales generados a nivel mundial terminan siendo dispuestos en cada vertedero ilegal o lugares de disposición final sin ningún aprovechamiento [4].

En el mismo contexto, en Colombia entre los años 2016 a 2021 llegaron a disposición final más de 55 millones de toneladas de RCD, gestionándose mediante sistemas de recolección de responsabilidad extendida al productor [5]. Asimismo, en Cuba para el 2023 se ha reportado una disminución del 13% del total de residuos sólidos en el país pasando de 29,8110.4 Mm³ en el 2018 a 25,727.8 Mm³ en el 2022; sin embargo, carecen de herramientas metodológicas para la gestión integral de los RCD [6]. Por otro lado, del total de residuos generados en la EU se atribuye el 35% a los RCD y se considera que cada emisión de gases de efecto invernadero son proveniencia de extracciones de materia prima, la elaboración de cada producto de construcciones, así como la renovación y construcción de edificaciones representan entre un 5 y 12% de las emisiones nacionales totales de GEI [7].

En el Perú, el problema ambiental que genera los RCD no es ajeno a la realidad global; claro ejemplo de ello es en la capital, en la cual se aprecia la contaminación generada por los RCD en diferentes zonas, habiendo sido acumulados sin considerar alguna medida de protección ambiental y gran cantidad de los RCD terminan en las orillar del mar y rivera de los ríos [8]. También, de acuerdo con el Instituto de Economía y Desarrollo Empresarial (IEDEP) de la Cámara de Comercio de Lima (CCL) dio a conocer que referente a los años 2001 y 2019, el sector construcción se ubicó en el segundo lugar como actividad económica con mayor incremento, llegando a alcanzar una maximización de un 222,7%; esto se traduce en un incremento notable en la generación de los RCD [9]. Además, de acuerdo con en el informe generado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) [10], según se presenta en cierta Figura 1, se aprecia que en primer lugar se tiene a los sobrantes de las excavaciones y en segundo lugar a los escombros con un 19% y 12% respectivamente;

mientras que los trabajos de concreto y tabiquería suman el 11% de los RCD originados en proyectos de construcciones. También dentro del país se han generado 5 047 232 m³ de RCD entre los años 2013 y 2014 de acuerdo con reportes presentados por la Dirección General de Asuntos Ambientales del MVCS [11].

Figura 1. Tipos de RCD generados en edificaciones



Fuente: Extraído de MVCS (2023) [10]

Según el estudio de Chapia (2022) en el departamento de Lambayeque se han generado 23,661 m³ de RCD distribuidas en 179 puntos de acumulación sin tratamiento, como se presenta en la Tabla 1. Por su parte la municipalidad de Chiclayo cuenta con un estudio de gestión que data del 2013, en el cual se registra un total de RCD de 13 178.80 m³ distribuidos en diferentes zonas de la urbe [12]. Asimismo, Chafloque (2018) en su investigación manifestó que la municipalidad de Chiclayo no tiene un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) para llegar a manejar los RCD y esto afecta directamente a la integridad y salud de los pobladores negándoles el derecho de disfrutar de un ambiente agradable [13].

Tabla 1. RCD en espacios públicos en el Perú distribuido por regiones.

REGIONES	CANTIDAD DE RCD (m ³)	CANTIDAD DE PUNTOS
Amazonas	66,535	22
Ancash	1,600,439	304
Apurimac	415	27
Arequipa	177,642	474
Ayacucho	6,698	65
Cajamarca	31,162	61
Callao	607,777	162
Cusco	72,923	88
Huancavelica	14,201	9
Huánuco	686	42
Ica	592,197	828
Junin	23,116	357
La Libertad	145,465	745
Lambayeque	23,661	179
Lima Metropolitana	887,918	2246
Lima Provincias	109,098	328
Loreto	164	12
Madre de Dios	0	0
Moquegua	302,729	536
Pasco	198,632	183
Piura	38,995	746
Puno	2,487	81
San Martín	7,089	164
Tacna	128,730	969
Tumbes	7,508	31
Ucayali	965	151
TOTAL	5,047,232	8,810

Fuente: Extraído de Dirección General de Asuntos Ambientales de MVCS (2015) [11].

Ante el problema de la deficiente e inexistente gestión de los RCD y su impacto negativo al ambiente y calidad de vida de la población, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo pueden el análisis y la simulación mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, Lambayeque?

En el mismo contexto, la justificación científica y tecnológica de la investigación se basa en el empleo de una herramienta para simular sistemas complejos (gestión de los RCD), que facilita la comprensión de dinámicas complejas sin realizar experimentos in situ. También, se recopila y analiza datos de investigaciones anteriores que serán incluidos en un modelo que permita predecir, simular y optimizar la gestión de RCD en el casco urbano de Chiclayo.

En el aspecto ambiental y social se considera que tener una adecuada gestión de RCD en el casco urbano evidencia una influencia directa en el estilo de vida de los habitantes, pues una

gestión inadecuada puede generar problemas de salud pública, afectando a las personas más vulnerables. Además, una correcta recolección y disposición de los RCD contribuyen a un espacio más limpio y ordenado, mejorando el confort de la población y reduciendo la percepción de inseguridad. Asimismo, el manejo adecuado de los RCD suma significativamente a la preservación del entorno natural y la reducción del impacto negativo respecto al ecosistema urbano. También, la propuesta del plan de acción para la ejecución del modelo de gestión de residuos basado en los resultados de la simulación permitirá minimizar los contaminantes en el aire, suelo y agua.

En el aspecto económico, se pretende estimular a cada entidad responsable de la gestión de RCD que la ejecución de buenas prácticas minimiza los costos asociados a una recolección, transporte y disposición final de los residuos y facilita el reaprovechando de los RCD, siendo el eje esencial para un desarrollo sostenible.

En el aspecto personal, a través del presente estudio del análisis y simulación para la gestión de los RCD busco incentivar futuras investigaciones en el ámbito. Asimismo, se pretende que con los resultados obtenidos la sociedad pueda tomar conciencia respecto a la importancia del cuidado del ambiente.

Por ende, la actual investigación tiene como **objetivo general**: Presentar el análisis y simulación para la gestión eficiente de los residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, Lambayeque, que permita optimizar su recolección, disposición y reciclaje, minimizando el impacto ambiental y mejorando la sostenibilidad urbana. Asimismo, los **objetivos específicos** que facilitan el cumplimiento del objetivo general son los siguientes:

- Diagnosticar la gestión de residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, identificando las principales fuentes de generación, tipos de residuos y problemas asociados a su manejo.
- Presentar un modelo de simulación a través del software VENSIM PLE, en función a la generación, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos de construcción y demolición para su gestión.
- Proponer un plan de acción para la implementación del modelo de gestión de residuos, basado en los resultados obtenidos en la simulación, que incluya recomendaciones para optimizar los procesos disminuyendo el impacto ambiental.

II. Revisión de literatura

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Aguilar (2023), mencionó por objetivo analizar la gestión de RCD en el distrito Usaqué en Colombia. Por ende, se basó en una indagación aplicada de diseño no experimental y enfoque cuantitativo, así mismo, se empleó el método de Building Information Modeling (BIM) empleado para facilitar todas las fases de un ciclo de vida de las obras de constructivas, teniendo en cuenta una muestra relacionada a la participación de 16 de las 25 empresas constructoras de proyectos de vivienda con áreas de construcción que varían entre 1.218 m² y 14.350 m². Obteniendo, así como hallazgos un gran desaprovechamiento de los RCD y un desconocimiento de su reutilización por parte de los encuestados, por lo que, planteó un plan de acción orientado a la gestión de RCD para su óptimo control y disposición final, incentivando la mitigación del impacto ambiental, social y urbanístico. Llegando a la conclusión de que se puede tener un aprovechamiento del 80%, el análisis permitió establecer un plan de mejora en la gestión de los RCD favoreciendo a la sostenibilidad urbana [14]. Este estudio ha sido considerado por la gestión de RCD que se establece en función a un reaprovechamiento en beneficio del ambiente y la sociedad.

Trujillo y Quintero (2021), señalaron por objetivo analizar el manejo de RCD en la sostenibilidad de construcciones en Colombia. Por ello, la indagación fue del tipo aplicada con un nivel descriptivo, teniendo en consideración un análisis documental referente a los RCD. Por lo cual, los hallazgos demostraron una constitución de un 40% en promedio de los residuos, con una producción de 22 270.34 toneladas, y una disposición en un lugar autorizado del 60% y un 90% en botaderos de cielo abierto. Concluyendo ante ello, que el análisis del manejo de RCD permitió establecer una gestión óptima en beneficio del medio ambiente y la sostenibilidad urbana [15]. Esta investigación ha sido considerada por la manera en que realizan el diagnóstico de los RCD en cuanto al volumen existente para su disposición final.

Pacheco et al. (2022), indicó por objetivo analizar el manejo actual de RCD para proponer un plan de gestión de RCD en Barranquilla, Colombia. Por ello, se orientó en una revisión documental, considerando una recolección de registros históricos relacionados a las características y condiciones del manejo de residuos. Evidenciando de esa manera por resultados que la ciudad de Barranquilla ha llegado a incrementarse las obras de construcción como también la cantidad de RCD durante y después de ejecutar las edificaciones, por lo que,

consideraron que un plan de gestión permitirá un modelo con procedimientos sostenibles con un óptimo aprovechamiento y disposición final de residuos para la reducción de afecciones al medio ambiente. Llegando así a concluir que, el análisis del estado actual de la manipulación de residuos favoreció en una determinación de un plan estratégico en mejora del ambiente [16]. Este artículo se ha tomado en cuenta por las operaciones sostenibles que manifiestan referente a una adecuada gestión de RCD en bienestar la sociedad y el medio ambiente.

2.1.2. Nacionales

Sanchez y Santos (2022), señalaron por objetivo analizar la gestión de RCD en una edificación unifamiliar en Villa el Salvador, Lima. Por lo cual, se basaron en una indagación aplicada con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y nivel descriptivo, teniendo en cuenta una muestra conformada por registros de proyectos de viviendas unifamiliares en Villa el Salvador, para su posterior análisis y determinación de estrategias de reutilización. Adquiriendo, así como hallazgos una especificación de los procesos constructivos y la generación de RCD de diciembre del 2021 a marzo de 2022, donde el volumen de 7.71 m³ de RCD represento un 24.7% de excavaciones y estructuras de desechos, los cuales fueron agrupados en función a su disposición durante y después de obra para ser reusados. Concluyendo así que, la gestión de RCD de las edificaciones multifamiliares permitió determinar un reciclaje del 75.4% [17]. Se ha tenido en consideración esta indagación por la manera en que realizan el diagnóstico del volumen de RCD en las construcciones para el establecimiento de la posterior gestión de los RCD en favor al medio ambiente y los ciudadanos.

Contreras y Meza (2024) indicaron por objetivo determinar el manejo de RCD en función al almacenado, segregado durante o después de obra, transporte, reaprovechamiento y disposición final en Lima. Basándose en una indagación aplicada de nivel descriptivo, tomando en consideración una revisión documental sobre la situación actual de los RCD, y una encuesta orientada a una muestra de 22 profesionales con experiencia en construcciones. Obteniendo por resultados que una falta de control de los residuos al 82%, como también, que el 77% de encuestados manifestó su preferencia del manejo de residuos fuera de obra para la posterior gestión de los RCD en función a una minimización de un impacto ambiental. Logrando concluir que el análisis del manejo de RCD permitió establecer un plan estratégico orientado en el adecuado control de residuos en Lima [9]. Se tuvo en cuenta este estudio por la manera en que desarrollan una gestión óptima de los RCD originados por los diversos

proyectos de construcción, teniendo en cuenta un manejo y control sostenible en beneficio de la sociedad y sobre todo el ambiente.

Morales et al. (2024), evidenciaron por objetivo analizar la gestión de RCD en empresas constructoras en Lambayeque. Orientándose de esa manera en una revisión documental, considerando registros de instituciones del estado, académicos y datos estadísticos. Manifestando como hallazgos una carencia de conocimiento respecto al manejo de RCD y falta de control de los mismo, siendo ello, la principal razón de la ejecución de un plan de gestión en el que destacaron la determinación de medidas sostenibles como el reaprovechamiento de los RCD para mitigar el impacto del ambiente. Concluyendo de esa forma que el análisis de la gestión RCD permitió determinar un plan de reducción de la contaminación ambiental por obras constructivas. [18]. El actual artículo ha sido considerado para determinar un diagnóstico del tipo de RCD para posteriormente realizar la gestión de los RCD en función a la disminución del impacto ambiental.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Análisis y Simulación

El análisis es considerado como la examinación y evaluación de diferentes datos adquiridos bajo la comprensión de características y posibles implicaciones. Asimismo, la simulación es aquella herramienta orientada en la realización de cada experimento de muestreo respecto a la modelación de un sistema, además, la simulación permite soluciones aproximadas de manera rápida ante la existencia de cada problema susceptible a ser modelado [19].

- **Vensim Ple**

Para González (2018), Vensim Ple es un software perteneciente a la simulación que permite la demostración y especificación de resultados gráficos, con el propósito de establecer una óptima comprensión de cada temática y caso en estudio, para posteriormente llegar a ejecutar un plan direccionado en mejoras ante un problema determinado [20].

2.2.2. Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

La gestión de los RCD hace referencia a un sistema de limpieza de un determinado lugar mediante la incorporación de cada acción normativa, operativa, financiera y planeada que el ámbito administrativo de las municipalidades puede ejecutar teniendo en cuenta el aspecto ambiental y social [21].

Los RCD son generados a partir de construcciones, reparaciones y demoliciones de los diferentes tipos de obras de origen privada o pública, así mismo, este tipo de residuos, llegan a producir una variedad de impactos en el ambiente y una gran contaminación en cada recurso natural tal como: agua, aire y suelo [22].

Figura 2. RCD acumulados: Av. Pedro Ruiz con Luis Gonzales.



Fuente: Elaboración propia

- **Clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)**

Los RCD se clasifican en tres tipos, tales como: materiales de excavaciones, materiales de construcciones y mantenimientos de cada obra civil y materiales de demoliciones, siendo considerados como grandes contaminantes para el ambiente [23].

Tabla 2. Detalle de la clasificación de los RCD

CLASIFICACIÓN	DETALLE
Materiales de excavación	Tierra, rocas, grava, arena, entre otros.
Construcción y mantenimiento de obras civiles	Grava, arena, asfalto, metal, entre otros.
Materiales de demolición	Bloques de hormigón, ladrillos, yeso y porcelana.

Fuente: Adaptado de Cuzcano et al. (2021) [23]

Los RCD cuentan con dos tipos de categorías, siendo los aprovechables de menor peligrosidad y que pueden ser tratados con facilidad, así mismo, se encuentran los no aprovechables, los cuales presentan mayor peligrosidad [24].

Tabla 3. Detalle de las categorías de los RCD

CATEGORÍAS DE RCD	DETALLE
Aprovechables	Residuos combinados o mezclados, residuos de materiales finos y residuos no pétreos y componentes
No aprovechables	Residuos con peligrosidad, residuos especiales, residuos contaminados o mezclados y los residuos de clase no definida.

Fuente: Adaptado de Delgado-Larrea et al. (2021) [24]

2.3. Definición de términos básicos

- **Disposición final:** es un procedimiento por el que aquellos materiales que se consideran como RCD (no pueden ser valorizados) son dispuestos definitivamente en espacios debidamente autorizados, con un objetivo de eliminar el peligro potencializado de causar daños al ambiente y salud humana [25].
- **Gestión eficiente:** Se conceptualiza como una iniciativa que busca respaldar la sostenibilidad del bienestar social y ambiental, por medio de la preservación y aseguramiento de procedimientos claros y precisos a ejecutar para una mejora de ciertos problemas encontrado [26].
- **Gestión integral:** Hace referencia a un sistema de limpieza de un determinado lugar mediante la incorporación de cada acción normativa, operativa, financiera y planeada que el ámbito administrativo de las municipalidades puede ejecutar teniendo en cuenta el aspecto ambiental y social [27].
- **Gestión óptima:** Es aquella tarea conformada por cada sub actividad que busca establecer mejoras por medio del desarrollo de un plan hasta el control y seguimiento de lo determinado, teniendo las participaciones activas de cada miembro de una entidad [28].
- **Gestión:** Se enfoca en enfrentar nuevos retos para especificar una óptima competitividad en el manejo y control de un problema encontrado en las organizaciones, con la finalidad de alcanzar mejoras de solución oportunas y esenciales para el logro de objetivos [29].

- **Impacto ambiental:** Se refiere a las alteraciones referente a condiciones químicas, físicas y biológicas en el ambiente en que se ejecuta la producción de acciones o agentes causales, en relación con cualquier tipo de materia [30].
- **Informalidad:** Se conceptualiza como un componente negativo que representa la principal barrera para lograr avances revolucionarios en los países en cuanto a mejoras ambientales, sociales y económicas [31].
- **Operaciones sostenibles:** Se orienta en un liderazgo que busca establecer una cultura totalmente proactiva en llegar a formular cada objetivo ambiental y social, a fin de desarrollar estrategias de mejoras ambientales y sociales de manera continua, a través de la asignación de recursos adecuados [32].
- **Reaprovechamiento:** Se enfoca en determinar la reiterada adquisición de beneficios respecto a un bien, elemento o componente que forma parte de residuos, así mismo, el reaprovechamiento permite transformar y valor los residuos para su renovación a largo plazo, a fin de eliminar los problemas medioambientales y sociales [33].
- **Reciclaje:** Es aquella actividad considerada como una óptima alternativa para demostrar la reducción de impactos ambientales que conllevan a acciones de “utilizar y arrojar”, llegando a prevalecer en gran manera [34].
- **Recolección:** Se define como aquella actividad o efecto orientada a la acción de establecer y especificar una agrupación de elementos [35].
- **Simulación:** Se conceptualiza como una solución matemática referente a un modelo matemático, que permite la exploración de diferentes escenarios a fin de especificar un medio invaluable en una indagación relacionada a la determinación de decisiones necesarias [36].
- **Sostenibilidad urbana:** Se basa en desarrollar búsquedas urbanas sostenibles que no especifiquen la degradación de un entorno y proporcionen el estilo de vida de los individuos, contribuyendo a desarrollos armónicos, relacionados al ambiente [37].
- **Tratamiento:** Hace referencia a la importancia de especificar de manera clara cada criterio de efectividad, rendimiento y recuperación bajo una determinación de entradas y salidas en función a mediciones [38].

- **Urbanización:** Es comprendida como aquella habilitación de una porción de superficie de tierra considerado como suelo urbano que llega a emplearse para el sostenimiento de cada construcción en formación de asentamientos sociales aglomerados [39].

2.4.Marco Legal

- ***Normas de Residuos de Construcción y Demolición***
 - **N° 019-2016 DS que modifica el Reglamento de la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición.**

Se direcciona en un reglamento que busca la objetividad de afirmar regulaciones de una manipulación y gestión de residuos extraídos u originados por parte de las tareas o procedimientos de diferentes obras constructivas y de demolición [40].
 - **Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición.**

El DS. 002-2022-Vivienda; forma parte del reglamento mencionado y consiste en la disposición de regular la gestión y manipulación de los RCD, por medio de una reducción y valoración de estos [41]
- ***Normas Generales***
 - **Ley N° 28611-Ley General del Ambiente**

Se basa en el establecimiento de cada principio y normativa básica fundamentada en un desarrollo sostenible y una protección del ambiente, previniendo cualquier tipo de contaminaciones y degradaciones de cada recurso natural [42].
 - **Reglamento DS. 014-2017- MINAM**

Se enfoca en el aseguramiento de maximizar de manera constante la eficiencia y comprensión de la empleabilidad de especificar la regulación de una gestión y manipulación de residuos, en función a una óptima disposición y sostenibilidad de estos [43].

III. Materiales y métodos

3.1. Tipo y nivel de investigación

La indagación será del tipo aplicada, pues se orientó en la empleabilidad de conocimientos relacionados con un análisis y simulación del manejo de residuos, para proponer un plan de mejora para una gestión de RCD que contribuya a la disminución del impacto ambiental en el casco urbano de Chiclayo. Para Arias-Gonzales (2021), una indagación aplicada se direcciona en el análisis de un fenómeno en estudio, bajo la resolución de un problema determinado por medio de conocimientos científicos [44].

Por ende, el nivel será descriptivo, pues se llegó a demostrar a detalle el diagnóstico de una gestión actual de RCD, como también, la simulación mediante el software VENSIM referente al procedimiento de gestión de los RCD, para una óptima y precisa comprensión. Para, Hernández et al. (2018), esta clase de nivel se basa en una descripción detallada de un tema en estudio, para un análisis y determinación de forma precisa referente a un problema a solucionar [45].

El diseño será no experimental de corte transversal, dado que, las variables de la indagación como análisis y simulación del manejo de RCD y la gestión de RCD, no tuvieron ninguna manipulación, y la información recopilada y establecida solo fue en un momento dado. Por ello, Arias-Gonzales (2021) mencionó que este tipo de diseño permite una evaluación y determinación precisa de un tema en estudio, sin ninguna manipulación de por medio, así mismo, señaló que un corte transversal se direcciona en la recolecta de data en un instante dado [44].

3.2. Método

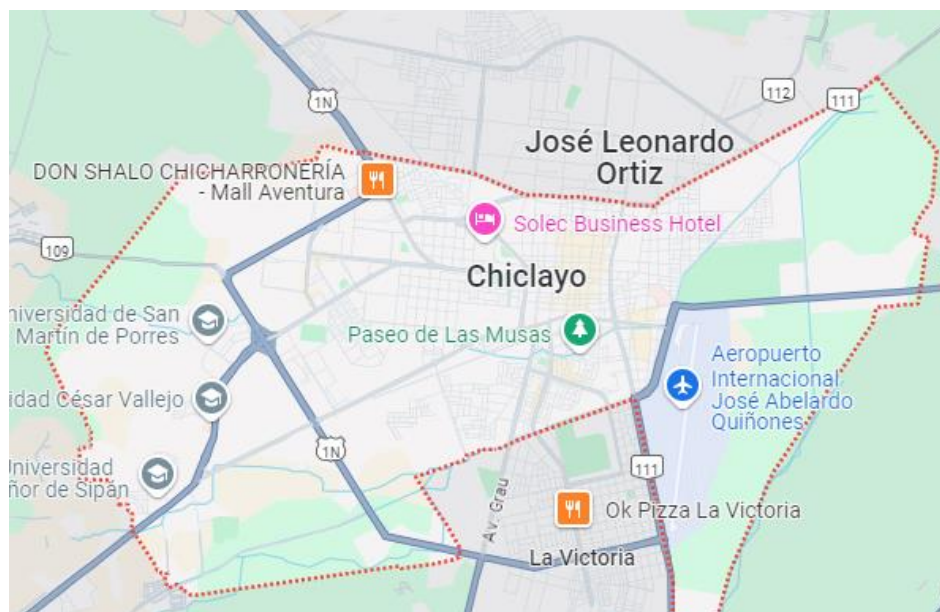
Se consideró un método analítico, dado que, se realizó evaluaciones documentales, es decir, se tomaron en consideración distintos estudios entre revistas, artículos y tesis de grado y post grado con detalle profundo referente al tema de la gestión de RCD, lo cual sirvió para la ejecución oportuna del presente estudio.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Respecto a Hernández et al. (2018) una población es una agrupación de la totalidad de elementos que estamos estudiando [45]. Para esta investigación se tiene como población a la totalidad de registros del manejo de RCD en construcciones con licencia de Enero a Agosto del 2018 en el casco urbano de Chiclayo, separado por la Av. Augusto B. Leguía con el distrito de José Leonardo Ortiz y separado por la Av. Chinchaysuyo con el distrito La Victoria, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Casco urbano de Chiclayo.



Fuente: Google Maps.

3.3.2. Muestra

Para Hernández et al. (2018), una muestra es considerada como un subgrupo de cierta población, en relación con elementos o fenómenos en estudio [45]. Por ello, la muestra derivada se encuentra compuesta por la totalidad de registros de RCD generados por 529 construcciones con licencia en la Municipalidad Provincial de Chiclayo de Enero a Agosto del 2018 en el casco urbano de Chiclayo.

3.3.3. Muestreo

Por el objetivo que persigue la investigación el tipo de muestreo es: muestreo dirigido, no estadístico, puesto que existe una selección de la cantidad total de RCD generados y registrados por construcciones con licencia de enero a agosto del 2018 en el casco urbano de Chiclayo.

3.4. Criterios de selección

Como criterio de **inclusión**, se tomaron en cuenta los datos del manejo de RCD del 2018 de las construcciones con licencia, así mismo, como criterio de **exclusión**, no se tomaron en cuenta a los datos con ambigüedad del manejo de RCD menor al año 2018. Todo ello, como base fundamental para el desarrollo de la investigación; en un contexto de emergencia sanitaria por el COVID-19.

3.5. Definición de las variables

Variable dependiente: Gestión de RCD

Se define como la agrupación de acciones operacionales a las que llegan a someterse dichos residuos, los cuales incluyen una manipulación al interior de la obra, como también, su recolección, transporte, tratamiento y su eliminación, a fin de minimizar el volumen de RCD generado [46].

Variable independiente: Análisis y simulación.

Se conceptualiza como la evaluación y especificación o demostración de los procedimientos en que manipulan los RCD originados durante y después de obras civiles, siendo los principales aspectos para una determinación de cada medida de control en una mitigación de los impactos ambientales [47].

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para un óptimo desarrollo de la indagación se ha tenido en cuenta lo siguiente:

Tabla 4. Técnicas e instrumentos de estudio

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	DETALLE
Análisis documental	Ficha de análisis documental	Registros de estudios previos
	Microsoft Excel	Hojas de cálculo
Simulación de procesos	Software	VENSIM PLE

Fuente: Elaboración propia

3.7. Procedimientos

Para los procedimientos del actual estudio, se ha indagado en distintos buscadores como: Google académico, Renati-sunedu, Scielo, Winley Online Library y repositorios, llegando a utilizar diferentes palabras clave, tales como: gestión de RCD, simulación y gestión de RCD, residuos de construcción, dinámica y Simulación de los RCD, gestión de RCD en Chiclayo,

RCD y CO2 gestión para el manejo de los RCD y generación de RCD en Chiclayo. Con la identificación de cada una de estas investigaciones se estable el criterio de selección en base a la zona de estudio (Chiclayo).

Por ende, para el procedimiento del desarrollo de los objetivos específicos del estudio, se precisó que:

Para un diagnóstico de la gestión de RCD en el casco urbano de Chiclayo, se tendrá en cuenta la identificación de distintos aspectos como: generación de RCD por año tomando como base los RCD generados por las construcciones con permiso de ejecución en el año 2018 periodo (Enero-Agosto), la tasa o porcentaje de RCD por año, crecimiento de la población anual, crecimiento de la construcción de viviendas, la recolección, el reaprovechamiento y la disposición final de RCD.

Para la presentación del modelo de simulación mediante el software VENSIM PLE, se tomarán en consideración los diferentes datos obtenidos en el diagnóstico, a fin de especificar un proceso detallado referente a la generación, recolección, tratamiento y disposición final de los RCD, evidenciado en gráficos que simulan el estado actual de la gestión de RCD y un impacto que genera tanto de manera económica como ambiental.

Finalmente, para la propuesta de un plan de acción de la ejecución de un modelo de gestión de residuos, se tendrán en cuenta ciertas imágenes presentadas referente a la simulación, para el desarrollo detallado de las fases relacionadas, con un análisis **normativo, estratégico, de medidas de acción** y sobre todo el impacto de una política de reaprovechamiento del 65% de los RCD, con el propósito de evidenciar recomendaciones orientadas en la optimización de los procesos para reducir el impacto ambiental.

3.8.Análisis de datos

Los datos adquiridos para la ejecución de la indagación tendrán procesamientos mediante el programa Microsoft EXCEL, para la presentación de tablas y figuras para un mayor detalle y comprensión.

3.9.Aspectos éticos

- La **honestidad** a lo largo de la ejecución de la actual indagación, evitando todo tipo de plagio, por medio del citado de las diferentes revistas y artículos consultados en relación con el tema.

- El **consentimiento** en función al respaldo de a los datos extraídos de estudios previos y los que han sido autorizados o brindados por la Municipalidad de Chiclayo, para el oportuno desarrollo del estudio.
- La **gratitud y respeto** hacia la información o datos verídicos entregados por parte de la municipalidad en apoyo de la óptima ejecución del tema en desarrollo.
- El **compromiso** por la culminación del actual estudio, con la entrega de información y desarrollo autentico para alcanzar el éxito por el esfuerzo ejercido en el transcurso de tiempo realizado.

3.10. Operacionalización de variables

Tabla 5. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente : Análisis y simulación.	Es la evaluación y especificación o demostración de los procedimientos en que manipulan los RCD originados durante y después de obras civiles, siendo los principales aspectos para una determinación de medidas de control en la mitigación de los impactos ambientales [36].	El análisis y simulación del manejo de RCD se direcciona en la identificación y estimación de residuos, como también de la valoración de residuos, determinados del casco urbano de Chiclayo.	Identificación y estimación de residuos	Generación
				Tipos de residuos
			Valorización de residuos	Recolección
				Tratamiento
Variable Dependiente: Gestión de los residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo	Es la agrupación de acciones operacionales a las que llegan a someterse dichos residuos, los cuales incluyen una manipulación al interior de la obra, como también, su recolección, transporte, tratamiento y su eliminación, con el propósito de minimizar el volumen de RCD generado [35].	La gestión de los RCD se orienta en la optimización del proceso de gestión y mejora del ambiente en el casco urbano de Chiclayo.	Optimización de procesos de gestión y mejora del ambiente	Fase de análisis normativo
				Fase estratégica
				Fase de medidas de acción

Fuente: Elaboración propia

3.10.1. Matriz de consistencia

Tabla 6. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
¿Cómo pueden el análisis y la simulación mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, Lambayeque?	General	El análisis y la simulación de los procesos de gestión de residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, Lambayeque, permiten proponer estrategias más eficientes, que mejoren los procesos actuales, reduciendo los impactos ambientales y costos asociados.	Variable independiente: Análisis y simulación.	Tipo de investigación: Aplicada / nivel descriptivo
	Presentar el análisis y simulación para la gestión eficiente de los residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, Lambayeque, que permita optimizar su recolección, disposición y reciclaje, minimizando el impacto ambiental y mejorando la sostenibilidad urbana.		Identificación y estimación de residuos	Enfoque: Mixto (cualitativo y cuantitativo) Diseño: No experimental de corte transversal
	Específicos		Valorización de residuos	Población: la totalidad de registros del manejo de RCD en construcciones con licencia de enero a agosto del 2018 en el casco urbano de Chiclayo.
	Diagnosticar la gestión de residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo, identificando las principales fuentes de generación, tipos de residuos y problemas asociados a su manejo.		Variable dependiente: Gestión de los residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo	Muestra: La totalidad de registros de RCD generados por 529 construcciones con licencia de enero a agosto del 2018 en el casco urbano de Chiclayo.
	Presentar un modelo de simulación través del software VENSIM PLE, en función a la generación, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos de construcción y demolición para su gestión.		Optimización de los procesos de gestión y mejora del ambiente	Técnicas de recolección de datos: Análisis documental y Simulación de procesos
	Proponer un plan de acción para la implementación del modelo de gestión de residuos, basado en los resultados obtenidos en la simulación, que incluya recomendaciones para optimizar los procesos disminuyendo el impacto ambiental.			Instrumentos de recolección de data: Ficha de análisis documental y Software VENSIM

Fuente: Elaboración propia

IV. Resultados

4.1. Diagnóstico de la gestión de los RCD

Para el diagnóstico de la gestión de RCD en el casco urbano se tomó en cuenta algunos datos brindados por la municipalidad en investigaciones anteriores (Ver ANEXO 1 y 3), así como también los datos históricos recopilados de las diferentes investigaciones referente al manejo de los residuos en el casco urbano de Chiclayo.

- **Crecimiento de la población Anual**

La generación de RCD en el casco urbano de Chiclayo guarda relación con el crecimiento poblacional del ámbito de Chiclayo, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) ha presentado el registro de este incremento en los diferentes años, estos datos se contemplan en la Tabla 7.

Tabla 7. Data histórica del crecimiento de la población de Chiclayo

POBLACIÓN DISTRITO DE CHICLAYO	
2009	279,891
2010	282,004
2011	284,084
2012	286,105
2013	288,063
2014	289,956
2015	291,777
2016	294,124
2017	296,438
2018	298,714
2019	301,082
2020	302,996

Fuente: Adaptado del INEI (2021) [48]

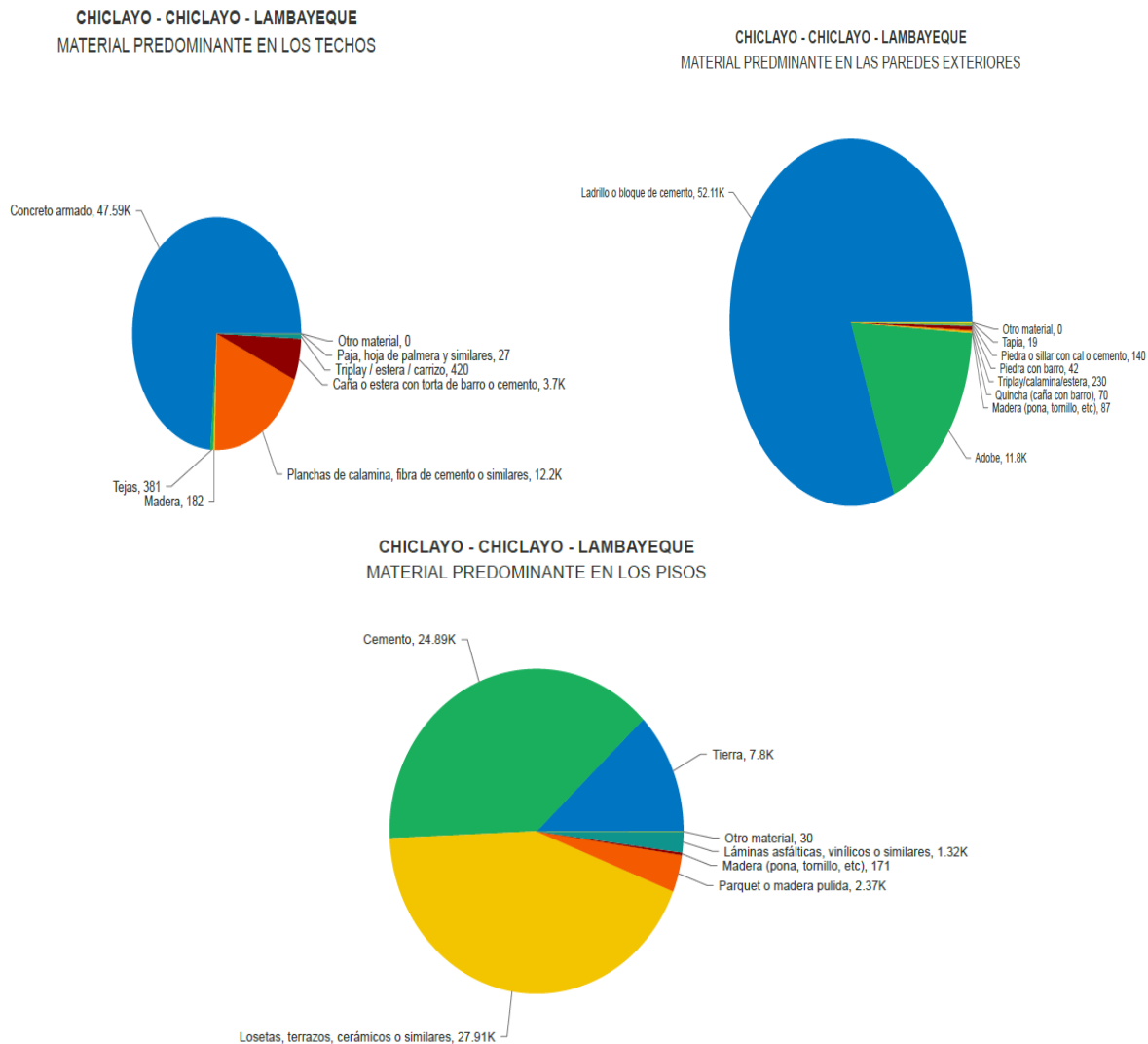
La data histórica de la Tabla 7, referente al crecimiento de la población del distrito de Chiclayo permitirá tener un horizonte respecto a la generación de RCD de acuerdo con el incremento poblacional de cada uno de los años presentados por INEI.

- **Crecimiento de la construcción de viviendas**

El crecimiento de construcciones de viviendas en el distrito de Chiclayo a lo largo de los años ha mostrado una tendencia positiva, tanto de manera particular o mediante empresas constructoras la población chiclayana busca la forma de materializar su proyecto de vivienda. En este mismo sentido el INEI (2019) presenta la tendencia de construcciones en la urbe de

Chiclayo, en el cual se refleja que más del 70% de las viviendas actuales tienen como materiales predominantes en paredes, pisos y techos a materiales agregados para la fabricación de concreto, ladrillos y cemento [49], esta tendencia se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Tendencia en los materiales para las construcciones en Chiclayo



Fuente: Extraído de INEI (2019) [49]

También, la demanda de construcciones de viviendas está relacionado directamente con un incremento de una población, pues, dichas construcciones representan papeles esenciales en una generación de RCD más aún cuando en estas no se cuenta con una adecuada gestión, siendo el caso de Chiclayo urbano.

4.1.1. Identificación y estimación de residuos

- **Generación de RCD**

El casco urbano de Chiclayo los RCD son generados producto de diferentes labores como remodelado, ampliación de zonas urbanas, nuevas construcciones, el incremento de las construcciones para formar urbanizaciones y asentamientos humanos. Además, uno de los principales inconvenientes es que cada propietario no declara y no cuenta con los permisos de construcción, dificultando el trabajo a la municipalidad en cuanto al control y manejo del volumen generado de RCD, puesto que, el 42.67% de la población urbana desconoce el manejo y tratamiento de algunos tipos de RCD que pueden ser reaprovechados. Sumado a esto, los RCD se clasifican como no municipal y no tienen presupuestos directos en la gestión [13] y esto se refleja en 34 zonas críticas con disposición inadecuada de los RCD, afectando directamente el confort de los habitantes más próximos [50].

Tabla 8. Viviendas con generación de RCD

<i>Mes</i>	VIVIENDA CON LICENCIA DE CONSTRUCCIÓN	
	<i>Unifamiliar</i>	<i>Multifamiliar</i>
Enero	23	8
Febrero	37	18
Marzo	50	19
Abril	69	23
Mayo	94	20
Junio	44	11
Julio	40	20
Agosto	28	25
Subtotal	385	144
Total	529	

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

En la Tabla 8 se presenta el total de viviendas con licencia de construcción analizadas por [13], las cuales forman parte de la data histórica de generación de RCD dentro del ámbito urbano de Chiclayo.

- **Cuantificación y tipo de RCD**

La cuantificación de los RCD ha sido obtenida como el volumen de residuos generados entre los meses de enero a agosto presentados en el Anexo 01, el volumen generado por cada una de las construcciones con licencia se ha clasificado en tres grupos de RCD; los cuales son: Naturaleza no pétreo, naturaleza pétreo, finalmente basuras y otros. En la

Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11, se presentan de manera resumida la cantidad de RCD en las diferentes viviendas con licencia de construcción indicadas en la Tabla 8.

Tabla 9. Volumen producido por Viviendas Unifamiliares

VIVIENDAS UNIFAMILIARES		
	<i>Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)</i>	<i>Volumen neto de Residuos (Vt m³)</i>
TATALES VIVIENDAS UNIFAMILIARES		
RCD: Naturaleza no pétreo	6932,54	8024,26
RCD: Naturaleza pétreo	10918,94	6560,25
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros	1116,92	1634,71

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 10. Volumen producido por viviendas Multifamiliares

VIVIENDAS MULTIFAMILIARES		
	<i>Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)</i>	<i>Volumen neto de Residuos (Vt m³)</i>
TATALES VIVIENDAS UNIFAMILIARES		
RCD: Naturaleza no pétreo	4034,36	4669,7
RCD: Naturaleza pétreo	6354,09	3817,71
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros	649,95	951,62

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 11. Volumen producido por viviendas comercio

VIVIENDAS COMERCIO		
	<i>Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)</i>	<i>Volumen neto de Residuos (Vt m³)</i>
TATALES VIVIENDAS UNIFAMILIARES		
RCD: Naturaleza no pétreo	1141,58	1321,39
RCD: Naturaleza pétreo	1798,04	1080,31
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros	183,93	269,2

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

El volumen de RCD identificados asciende al valor de 28,329 m³ de RCD generados en los meses de enero a agosto dentro de los cuales se tiene que el 57.56 % corresponden a RCD de naturaleza pétreo, es decir están conformados por: arena, grava y otros áridos, concreto, ladrillo, azulejos y otros cerámicos y piedra [13]. También Burga, en su investigación

presenta que los RCD más comunes en el ámbito de Chiclayo están conformados por ladrillo, mortero y concretos presentes en un 65% de los RCD [50], esto significa que hablando en materia de gestión es posible recuperar más del 50% de los RCD generados dentro del distrito de Chiclayo, obteniendo beneficios ambientales, sociales y económicos.

4.1.2. Valorización de residuos

- **Recolección y Tratamiento o reaprovechamiento**

La realidad del casco urbano de Chiclayo es que no cuenta con un sistema de recolección o reaprovechamiento que venga funcionando a la fecha, pues son los responsables de la construcción quienes acumulan todo los RCD generados durante la construcción ya sea dentro del área de construcción o invadiendo la vía pública, y estos no son transportados hasta que se tenga por lo menos el volumen para un camión volquete de bajo tonelaje. En este mismo sentido tal como lo indica Chafloque (2018), la municipalidad de Chiclayo puso en marcha un proyecto de prueba con nombre “Plan de gestión de RCD depositados en espacios públicos y de obras menores” este plan fue presentado en el año 2013 y se pretendía un periodo de prueba de 3 años; sin embargo, debido a que no se tuvo una estrategia adecuada de sociabilización con la población este plan no logró ninguna mejora [13].

- **Disposición final o Segregación en vertederos autorizados**

Es lamentable que una ciudad muy importante en el norte del país no se cuente con vertederos autorizados para su disposición final de RCD, pues los restos que se generan en las diferentes construcciones de la urbe de Chiclayo terminan como relleno de terrenos a las afueras de Chiclayo o son dispuestos en las vías de accesos principal a la ciudad sin la toma de conciencia alguna del gran impacto negativo que trae al ambiente. En este mismo sentido, Bezzolo y D'Angelo (2020), menciona que Chiclayo no tiene un lugar designado para su disposición final de RCD, por lo que gran cantidad de estos residuos son trasladados de forma informal a un botadero posicionada en cada pampa de Reque y otro porcentaje llegan a abandonarse en cada vía pública y zona descampada [51].

4.2. Presentación del modelo de simulación

Para la presentación de la simulación mediante el software VENSIM PLE o comúnmente denominado VENSIM se consideró los datos obtenidos anteriormente en el diagnóstico de la gestión de los RCD, con el propósito de especificar los procesos actuales en cuando a las

etapas involucradas en la gestión de los RCD. De esta manera, se han ido incorporando las diferentes etapas y componentes en el Software (Ver ANEXO 2).

También para el proceso de simulación ha tenido presente las normas ISO 14001 sobre la gestión ambiental [52]; así mismo, se respeta lo establecido en la norma ISO 31000 respecto a las buenas prácticas para las investigaciones [53] en el ámbito internacional. En el caso del sistema dinámico para el casco urbano de Chiclayo se han tenido presente algunas normativas referentes a la gestión de los residuos, como son las siguientes.

- ✓ Reglamento de Gestión y Manejo de RCD. Con su DS. 002-2022-Vivienda [41].
- ✓ Ley N° 28611-Ley General del Ambiente [42].
- ✓ Reglamento DS. 014-2017- MINAM [43].
- ✓ NTP 900.058 - Gestión de Residuos.
- ✓ Decreto de urgencia para un fortalecimiento de identificación y una gestión de pasivo ambiental. El DU 022-2020. Debido a la ineficiente gestión de los RCD existe alta probabilidad de incurrir en pasivos ambientales.

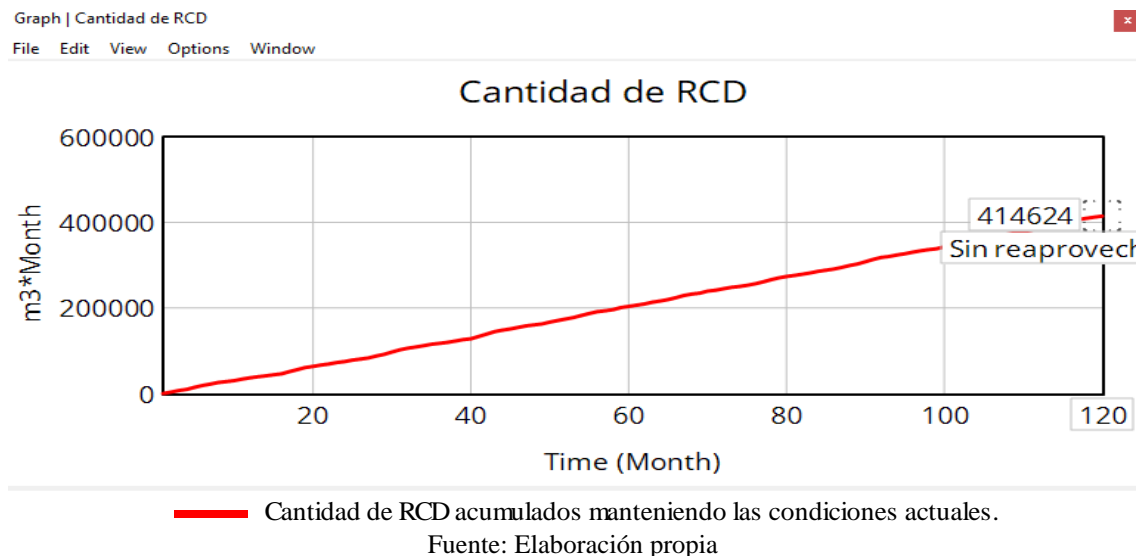
Asimismo, para el proceso de simulación dinámica, el software Vensim considera el método de Euler para integraciones numéricas de cada sistema dinámico modelado con cada ecuación diferencial. Este método permite ajustar el paso de tiempo dentro de los sistemas modelados para obtener mayor exactitud en los resultados de simulación.

• **Generación**

La realidad actual de la problemática respecto de la generación de los RCD se ha plasmado en el modelo tomando en cuenta la cantidad de residuos generados en los 12 primeros meses, los cuales acumulados tienen un volumen total de 37,948.59 m³; así mismo de acuerdo con [50] la tasa de crecimiento poblacional en el horizonte estudiado es de 0.73% anual y la tasa de urbanización ha sido modelada en la condición actual pero con la posibilidad de variar en el tiempo ya sea de manera positiva o negativa.

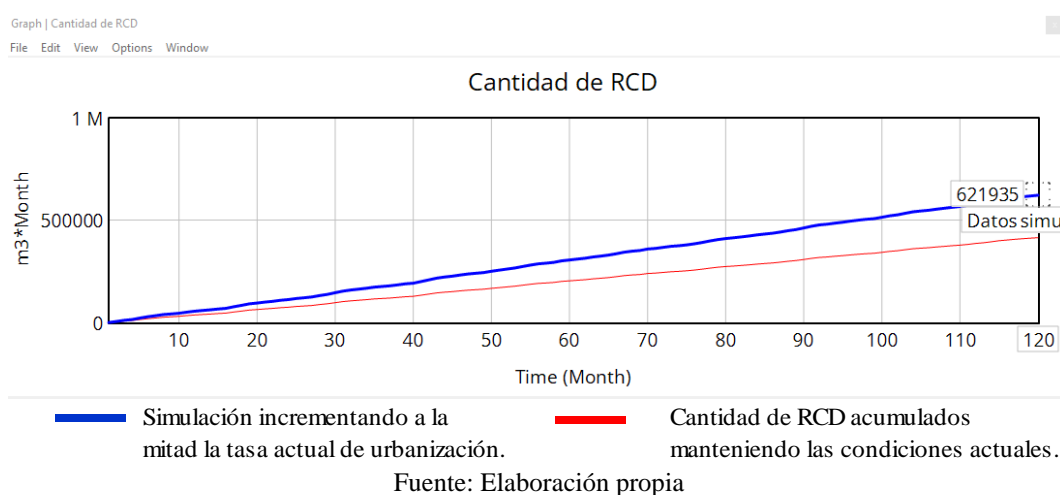
Con estas consideraciones iniciales; manteniendo las condiciones y acumulación del primer año de generación de RCD e incorporando una aleatorización con Random normal que permita representar las fluctuaciones de la generación de RCD a lo largo del tiempo modelado el sistema dinámico; la acumulación con el horizonte de 120 meses modelados es de 414,624.0m³ de RCD generados. Tal como se evidencia en la Figura 5.

Figura 5. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses manteniendo las condiciones iniciales.



El modelo dinámico representa la realidad de la cantidad de RCD generados al largo del tiempo simulado, en la Figura 5 se aprecia que respecto a Abril y Mayo una cantidad de los RCD generados por la construcción es superior en comparación con los demás meses del año, esto como resultado del comportamiento original de la información inicial. Además, considerando el acelerado crecimiento de la urbe de Chiclayo y la constante demanda de nuevas construcciones y si la tasa de urbanización se incrementa a la mitad de la actual, se tendría un incremento del 66.7 % en generaciones de RCD, este monto asciende a cantidad de 621,935.0 m³, tal cual se contempla Figura 6.

Figura 6. Cantidad de RCD incrementando a la mitad la tasa actual de urbanización.

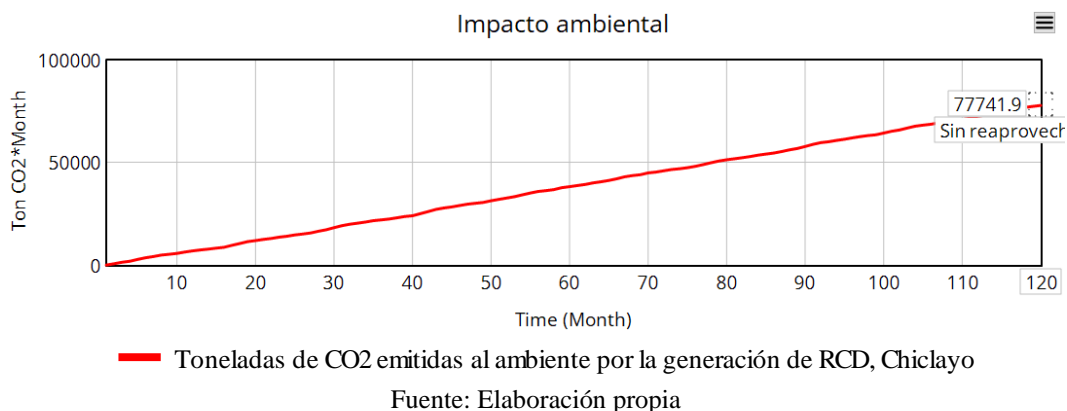


- **Recolección y Tratamiento o Reaprovechamiento**

Tal como se presentó en el diagnóstico líneas arriba, Chiclayo urbano no cuenta con un sistema de gestión que facilite el reaprovechamiento, por ello en la simulación los flujos acumulados como cantidad de RCD en la situación actual no tienen ningún

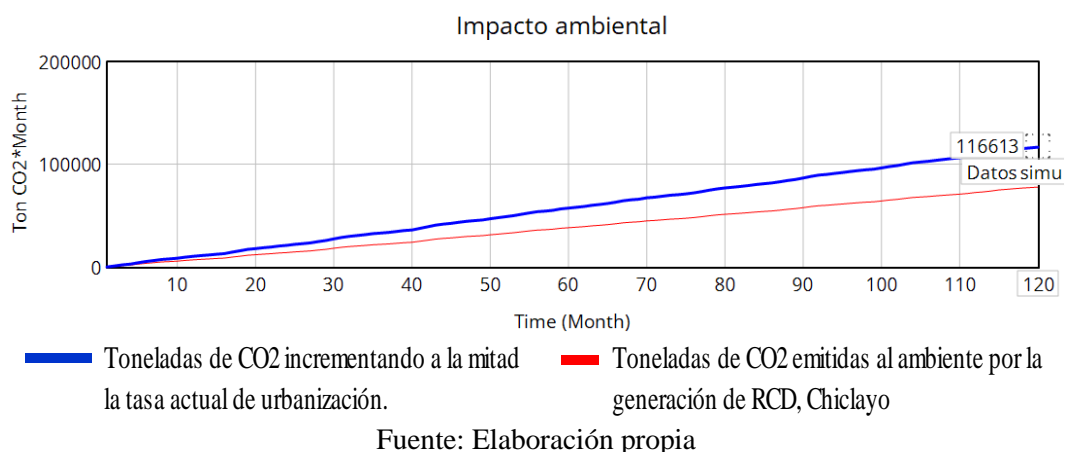
reaprovechamiento y estos impactan directamente al medio ambiente. En ese mismo sentido, de acuerdo con lo señalado por [54] y [55] el valor de toneladas de CO₂ por cada tonelada de RCD varía aproximadamente entre 0.1 y 0.2 toneladas, por ello que se ha considerado el promedio de estos para en el modelo dinámico de la gestión de los RCD, de esta manera los resultados obtenidos de la simulación fueron de 77,741.9 Tn CO₂ emitidas al ambiente si se mantiene el comportamiento histórico considerado por los 12 primeros meses. Según, se evidencia en la Figura 7.

Figura 7. Acumulación de CO₂ debido a la generación de RCD.



Del mismo modo si consideramos el auge de la urbanización y se simula teniendo en cuenta que la tasa actual se incrementa a la mitad entonces los resultados obtenidos respecto a la cantidad de Toneladas de CO₂ en el tiempo simulado es de 116,613.0 Tn CO₂ emitidas por la falta de gestión adecuada de los RCD; tal cual se contempla en cierta Figura 8.

Figura 8. Toneladas de CO₂ incrementando a la mitad la tasa actual de urbanización.

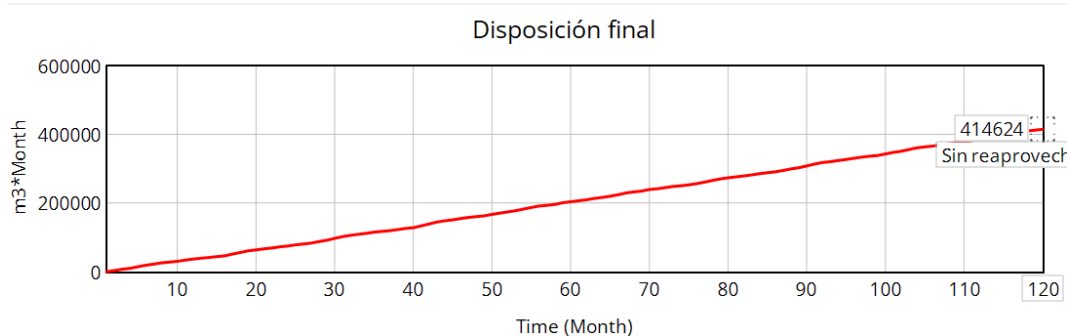


- **Disposición final o Segregación en vertederos autorizados**

Considerando la realidad de Chiclayo y en relación con las investigaciones analizadas, en general en el departamento de Lambayeque no se cuenta con un SGI de residuos municipales

y RCD puesto que los planes que se plantearon no dieron resultado por falta de difusión e información a la población y también estos planes fueron abandonados por las mismas autoridades no brindándole la importancia suficiente al sistema de gestión. Por ende, esta realidad se visualiza en una simulación del modelo dinámico que los residuos generados al final son vertidos de manera no controlado ya sea como rellenos en terrenos con niveles inferiores a los de la avenida más cercana o en botaderos ilegales. Finalmente, se tiene que la cantidad de RCD que ingresa en el modelo es la que sale y se acumula sin incorporar ningún tipo de intervención. Tal como se contempla en la Figura 9.

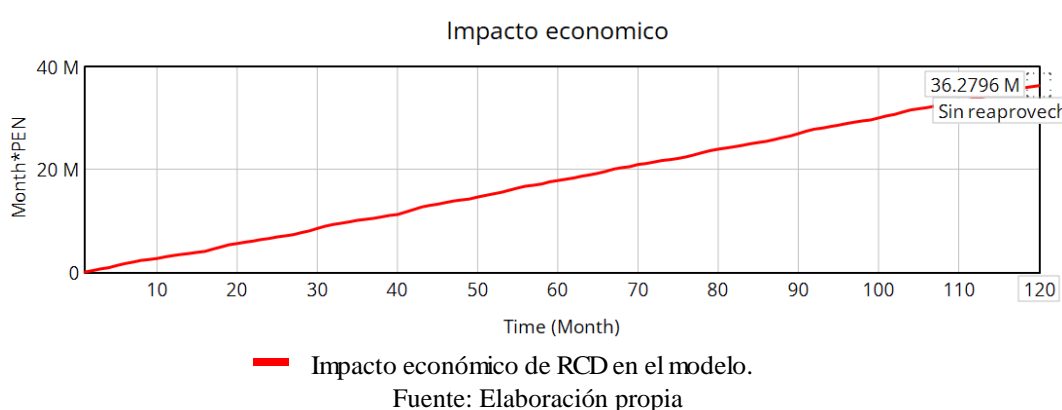
Figura 9. RCD dispuestos por su generación en el casco urbano de Chiclayo



— Cantidad de RCD acumulados en la disposición final manteniendo las condiciones actuales.

Fuente: Elaboración propia

También dentro del modelo se consideró el análisis económico respecto a la gestión de los RCD, al no existir gestión actual se considera las tarifas que son comúnmente utilizadas por las personas particulares que proveen el servicio de traslado de RCD y los disponen en áreas de terrenos a las afueras de la urbe, principalmente en las vías de acceso a Chiclayo como son: Por el norte, vía Panamericana Norte (Chiclayo -Lambayeque); por el Oeste, carretera 6A 520 (Chiclayo – Chota); por el Sur, vía Panamericana Norte (Chiclayo – Reque) y por el Este, avenida Pacífico y Grau [51] . La figura siguiente presenta el impacto económico considerando el coste de traslado de 34.50 soles en promedio de acuerdo con [56]; en el tiempo simulado el costo acumulado sería 36.28 millones de soles generados por los RCD sin ningún tipo de aprovechamiento. Según, se percibe en la Figura 10.

Figura 10. Impacto económico de lo RCD

4.3. Propuesta del plan de acción para la gestión de residuos

De acuerdo con un análisis y simulación realizados con anterioridad respecto a la gestión actual de los RCD en Chiclayo, se procedió a proponer un plan de acción de forma detallada (ver Anexo 5), en función a recomendaciones de optimización de los procesos de gestión de RCD para disminuir el impacto ambiental y los efectos ocasionados a la población por la disposición inadecuada de los RCD en las calles y avenidas del casco urbano de Chiclayo.

4.3.1. Optimización de procesos de gestión y mejora del ambiente

- **Fase de análisis normativo**

Para el establecimiento de un plan de acción en relación con una gestión de residuos obtenidos durante o después de las obras dadas en el casco urbano de Chiclayo, se tomarán en cuenta 5 normativas principales (ver Anexo 5), de las cuales la más resaltante en cuestión al manejo oportuno y óptimo de los RCD para la mejora del ambiente fue la siguiente:

- **Reglamento de Gestión y Manejo de RCD.**

El DS. 002-2022-Vivienda; forma parte del reglamento mencionado y consiste en la disposición de regular la gestión y manipulación de los RCD, por medio de una reducción y valoración de estos [41].

- **Fase estratégica**

Esta fase abarca la descripción de la agrupación de actividades destinadas a la disminución de los RCD como el: segregado, almacenado, recolectado, transporte, áreas de acondicionamiento, valorización y disposición final (Ver Anexo 5) originados en cada obra, así mismo, se han direccionado en 2 procesos de la manipulación de RCD.

- **Proceso para la disminución de la generación de RCD**

Se especifica cada acción o estrategia destinada a la disminución oportuna de los RCD originados en las obras, las cuales padezcan de programaciones racionales en la gestión de estos. Por ello, es recomendable empezar un proceso de disminución de los tipos de residuos que lleguen a generarse, con el propósito de asignar su clasificación y proyectar su reducción, según se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Pasos estratégicos en el procedimiento de reducción de los RCD

Nº	ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS RCD
1	Determinar la cantidad y tipo de residuos que llegarán a generarse en las etapas constructivas y de demolición.
2	Informar y determinar desde la planeación de proyectos sobre cada gestor autorizado que se encuentre en el entorno de las obras.
3	Determinar cada característica como: condición de admisión, distancia y tasas, referente a cada sitio de disposición final, como también, de los recicladores, centro de clasificación, entre otros, para la definición de escenarios externos y adecuada gestión.
4	Disposición de cada herramienta y equipos esenciales para las diferentes actividades en obra.
5	Emplear los materiales necesarios, totalmente estandarizados y ajustados a cada línea civil y arquitectónica diseñada y planificada.
6	Establecer la organización y ambientación de cada sitio de trabajo en condiciones oportunas, en función a la disposición de seguridad y condición laboral en un establecimiento laboral.
7	Establecer la optimización del manejo de cada material por medio de un sistema mecánico estandarizado.
8	Determinar la descarga de manera organizada y ordenada de cada material y elemento de forma adecuada.
9	Establecer la coordinación de cada suministro y transporte de material, a fin de prevenir pérdidas y mezclas innecesarias.
10	Evitar que cada material que llegue a generarse como residuos se mezclen con otros materiales, tales como los peligros.

Fuente: Elaboración propia

○ **Proceso para la disposición final de RCD**

Este proceso se basa en el establecimiento de recomendaciones o estrategias para la disminución de las toneladas de los RCD, originadas por las obras, según se puede contemplar en la Tabla 13.

Tabla 13. Pasos estratégicos en el procedimiento en disposición final de los RCD

N°	ESTRATEGIAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RCD
1	Una vez determinada la generación, separación y selección de los RCD, se proceden a retirar en función a su destino asignado.
2	Cuando las obras no dispongan de espacios para los estacionamientos temporales de las volquetas, los constructores deben establecer una coordinación sobre las salidas de los RCD, a fin de que no haya existencia de estacionamiento temporales en las vías públicas como tampoco obstrucciones del tránsito.
3	La implementación de las señalizaciones necesarias no tendrá interferencias en el tráfico peatonal y vehicular.
4	Cada material sobrante que no tenga atribución de un aprovechamiento se llegará a establecer en cada sitio de disposición final de los RCD autorizados por las autoridades ambientales competentes.
5	El generados de RCD debe acreditar la legalidad del sitio de disposición final, por medio de resoluciones de viabilidad ambiental, donde se permita la prestación de los servicios, manteniéndose las certificaciones del volumen dispuesto en el sitio, teniendo en cuenta la fecha e identificación del proyecto que reciba los RCD.
6	La documentación debe conservarse en toda ocasión en el lugar de la obra, los cuales llegaran a solicitarse en cualquier circunstancia por las autoridades ambientales competentes.

Fuente: Elaboración propia

- **Formatos para el manejo de información de los RCD**

Se elaboraron 3 tipos de formatos (ver Anexo 5) tales como: datos generales e identificación de RCD, control de RCD y cumplimiento del manejo de RCD, destinadas para la conservación óptima y oportuna de la información, como también para el monitoreo y seguimiento del reaprovechamiento de los RCD.

- **Fase de Medidas de Acción**

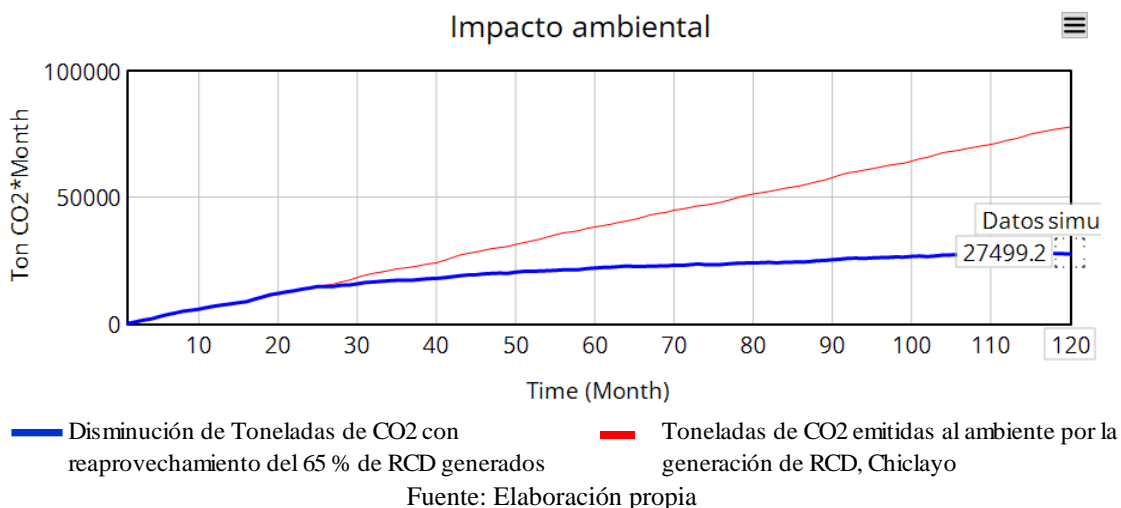
Se establecieron distintos escenarios de reaprovechamiento de los RCD generados (Ver Anexo 5), teniendo en cuenta el más próximo a cumplirse, según detalla a continuación:

- **Reaprovechamiento al 65% de los RCD**

Para esta fase de la propuesta del plan de gestión de RCD para el casco urbano de Chiclayo, al modelo simulado se le ha incorporado la constante de reaprovechamiento, en función a un rango de 0 a 100% de reaprovechamiento de los RCD y su impacto en las variables de nivel (Cantidad de RCD, Impacto Ambiental e Impacto económico).

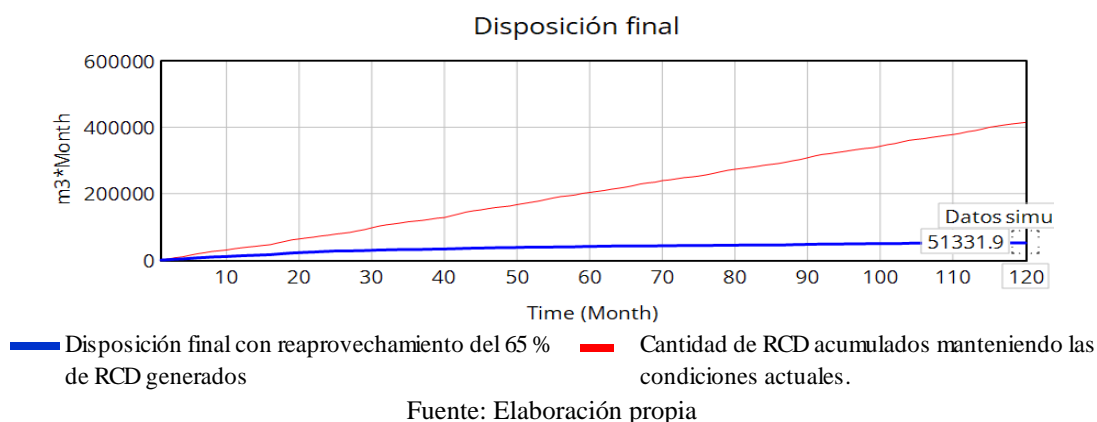
Además, se evaluó el impacto ambiental que se relaciona con la generación de RCD en Tn de CO₂ emitidas al ambiente, el valor acumulado es de 27,499.2 Tn CO₂ representando un 64.62% emitidas al ambiente, según se contempla en la Figura 13.

Figura 13. Toneladas de CO₂ emitidas con reaprovechamiento al 65% de RCD.



En la Figura 13 se adquirió un periodo de tiempo en el cual los datos simulados se parecen a los datos históricos, esto se debe básicamente a la consideración en el modelo de 2 años de tiempo base para la implementación de la propuesta de gestión que permita reaprovechar el 65 % de los RCD generados. Por otro lado, el modelo dinámico también permite conocer cuál sería el volumen que llegaría a una disposición final si se da cumplimiento a la tasa de reaprovechamiento. La Figura 14 evidenció que se reduce en 87.62% de los RCD generados, teniendo un volumen de 51,331.9 m³ llevados a disposición final.

Figura 14. Volumen de RCD dispuesto con reaprovechamiento al 65%.



Por lo tanto, como parte de las medidas de acción en la propuesta del plan se busca el cumplimiento del reaprovechamiento de los residuos bajo un seguimiento y monitoreo continuo por el encargado de ejecutar el plan.

V. Discusión

El análisis y simulación para la gestión eficiente de RCD en el casco urbano de Chiclayo permitió el establecimiento de un plan de gestión óptimo, en el cual se determinó que el reaprovechamiento de los RCD al 65% es el más pronto a cumplirse en beneficio de la minimización del impacto ambiental y la mejora de la sostenibilidad urbana. Por lo cual, se respalda con Pacheco et al. (2022), los cuales indicaron que la eficiente gestión de los RCD bajo operaciones sostenibles en la disponibilidad final y óptimo reaprovechamiento del 80%, favoreció estratégicamente a la mejora del ambiente [16].

En el diagnóstico sobre la gestión de RCD en el casco urbano de Chiclayo se ha identificado que la constante demanda de las urbanizaciones y la informalidad de estas son las principales fuentes de generación, con un volumen de 28,329 m³, de los cuales el 57.56% corresponden a residuos de naturaleza pétreo: arena, grava, entre otros. Asimismo, los problemas en su manejo parten desde el desconocimiento de la población y la carencia de compromiso por cada autoridad responsable sobre el tratamiento de los RCD. Según, se contrasta con Contreras y Meza (2024), los cuales manifestaron que la generación de grandes cantidades de RCD y la presencia de estos en diferentes lugares se debe a la ausencia de control y el desconocimiento en el manejo óptimo de los RCD [9].

El modelo de simulación mediante Vensim, ha facilitado visualizar y analizar de forma integral la relación de las variables de generación, recolección, tratamiento y disposición final de los RCD en el casco urbano de Chiclayo, donde el volumen acumulado de RCD en el tiempo simulado fue de 414,624.0m³, los cuales no son recolectados y tratados, además son dispuestos sin tomar en cuenta el impacto al ambiente y a la salud pública. Tal es el caso de Aguilar (2023) quien mencionó que el impacto ambiental surge por el desaprovechamiento de los RCD y el total desconocimiento por parte de los colaboradores y encargados de una obra sobre el óptimo manejo que se puede fijar a los RCD [14]. Sin embargo, Trujillo y Quintero (2021) demostraron una producción de 22 270.34 ton de RCD originadas por construcciones en Colombia y una disposición final de RCD al 60% en espacios bajo autorización [15].

El plan de acción se propuso en función a 3 fases: de Análisis normativo (la norma a prioridad fue el DS.002:2022-Vivienda), estratégica (ciclo con el manejo de los RCD, procesos basados en la agrupación de actividades destinadas a la disminución y disposición final de los RCD y formatos para el manejo, control y seguimiento de RCD) y de medidas de

acción (escenarios de reaprovechamiento de los RCD), todo ello para la disminución al impacto ambiental. De manera similar con Morales et al. (2024) quienes señalaron que un plan de acción bajo el desarrollo de medidas sostenibles como el reaprovechamiento de los RCD, garantizó una mitigación a los impactos al ambiente [18]. A diferencia de Sanchez y Santos (2022), ellos evidenciaron estrategias de reutilización referente a residuos de excavaciones y estructuras en 75.4%, a fin de mejorar la sostenibilidad urbana por edificaciones multifamiliares [17].

VI. Conclusiones

El análisis y simulación para la gestión eficiente de los RCD en el casco urbano de Chiclayo permitió el establecimiento de plan de gestión óptimo, en el cual se determinó que reaprovechamiento de los RCD al 65% es el más pronto a cumplirse en beneficio de la minimización del impacto ambiental y la mejora de la sostenibilidad urbana.

En el diagnóstico ejecutado sobre la gestión de RCD en el casco urbano de Chiclayo se ha identificado que la constante demanda de las urbanizaciones y la informalidad de estas son las principales fuentes de generación, con un volumen de 28,329 m³, de los cuales el 57.56% corresponden a residuos de naturaleza pétreo: arena, grava, entre otros. Asimismo, los problemas en su manejo parten desde el desconocimiento de la población y la carencia de compromiso por parte de cada autoridad responsable sobre el tratamiento de los RCD.

El modelo de simulación mediante Vensim, ha facilitado visualizar y analizar de forma integral la relación de las variables de generación, recolección, tratamiento y disposición final de RCD en el casco urbano de Chiclayo, donde el volumen acumulado de RCD en el tiempo simulado fue de 414,624.0m³, los cuales no son recolectados y tratados, además son dispuestos sin tomar en cuenta el impacto al ambiente y a la salud pública.

El plan de acción se propuso en función a 3 fases: de Análisis normativo (la norma a prioridad fue el DS.002:2022-Vivienda), estratégica (ciclo con el manejo de los RCD, procesos basados en la agrupación de actividades destinadas a la disminución y disposición final de los RCD y formatos para el manejo, control y seguimiento de RCD) y de medidas de acción (escenarios de reaprovechamiento de los RCD), todo ello para la disminución al impacto ambiental.

VII. Recomendaciones

Se sugiere a la municipalidad provincial de Chiclayo, establecer la implementación del plan de acción basado en las políticas de gestión que involucren a la población del casco urbano de Chiclayo, los responsables de la generación de RCD y las personas que se encargan de brindar los materiales para las construcciones, con el propósito de mitigar el impacto ambiental y mejorar la tranquilidad urbanística.

Se sugiere a la municipalidad provincial de Chiclayo llevar a cabo una información estadística de los RCD de manera periódica, a fin de adquirir una base de datos precisa y totalmente completa para un mayor conocimiento sobre los contaminantes que generan los residuos al medio ambiente y los espacios públicos.

Es recomendable que la municipalidad provincial de Chiclayo impulse proyectos de reciclaje de los RCD bajo una ordenanza municipal que llegue a obligar a cada constructor y contratista a manejar los residuos originados en obras, para su adecuada gestión en espacios que alberguen los RCD.

Es sugerible para la municipalidad provincial de Chiclayo fomentar de forma correcta la disposición final de los RCD en un lugar determinado para un reaprovechamiento detallado, en relación con la normativa vigente, bajo un monitoreo y seguimiento constante de cuadrillas fiscalizadoras para especificar la forma en que se tratan los residuos de obras, para reducir el problema que daña al ambiente y a la salud de cada poblador. Además, para futuras investigaciones es recomendable ejecutar el análisis del ciclo de vida de materiales utilizados en construcciones, para conocer las actividades de extracción y procesamiento de materiales hasta su disposición final, como también, de los gases de efecto invernadero causados en el ciclo, para la ejecución del reaprovechamiento de los materiales bajo la medida y minimización de la huella de carbono originada en las diferentes construcciones.

VIII. Referencias

- [1] O. B. Cueva Rodríguez , B. Castillo SantaMaría, D. W. Rodríguez Rodríguez y M. Cueva Rodríguez, «Construction and demolition waste management in the face of climate change,» *Polo del Conocimiento*, vol. VII, n° 12, pp. 846-868, 2022.
- [2] C. Llatas, «A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list,» *Waste Management*, vol. XXXI, n° 6, pp. 1261-1276, Enero 2011.
- [3] C. Jianguo , Y. Y. Su , S. Hongyun y C. Jindao , «Managerial Areas of Construction and Demolition Waste: A Scientometric Review,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. XV, n° 11, p. 2350, 24 Octubre 2018.
- [4] H. Acevedo Agudelo y J. Figueroa Álvarez, «Circularity practices in the management of C&D waste in construction industry: a literature review of the strategies and key aspects about its implementation,» *Informes de la Construcción*, vol. LXXV, n° 569, pp. 485-569, 23 Marzo 2023.
- [5] A. Figueroa Fernández , «Diseño y aplicación de una metodología para la identificación de sitios potenciales destinados a la gestión de residuos especiales de tipo RCD en Bogotá y consolidación de información mediante sistemas de información geográfica (sig).» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2023.
- [6] M. Alvarez Luna, J. L. Garcia Jacomino y L. Martines Fernandez , «Contribución metodológica para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición en Cuba,» *Economía y Desarrollo*, vol. CLXVII, n° 2, 18 Junio 2024.
- [7] E. Commission, «Buildings and construction,» European Union, 19 Junio 2024. [En línea]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20210128STO96607>. [Último acceso: 3 Setiembre 2024].
- [8] M. A. Carbajal Silva, «Situación de la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos de las Actividades de Construcción Civil del Sector Vivienda en la Ciudad de Lima y Callao,» Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2018.
- [9] H. S. Contreras Rodríguez y E. C. Meza Alarcon, «Optimización en el manejo sostenible de residuos sólidos de construcción y demolición en Lima Metropolitana,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2024.
- [10] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Resultados de la Gestión de Residuos Sólidos 2021-2022 en el marco de las competencias del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Informe N.º 003-2023),» Lima, 2023.
- [11] Dirección General de Asuntos Ambientales del MINVIV, «sinia.minam.gob.pe,» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/6649.pdf>. [Último acceso: 04 Setiembre 2024].
- [12] C. M. Chapia Fernandez, «Evaluación del concreto para adoquines de uso peatonal empleando agregados obtenidos de residuos de construcción y demolición en el distrito de José Leonardo Ortiz, departamento de Lambayeque, 2020,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo , Chiclayo, 2022.
- [13] W. E. Chafloque Castro, «Reaprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo,» Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2018.

- [14] A. Aguilar, *La gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Bogotá. Un análisis a partir del caso de la UPL No 25 Usaquén*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2023.
- [15] K. Trujillo y A. Quintero, *Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá*, Bogotá: Universidad de la Salle, 2021.
- [16] C. Pacheco, E. Sánchez y C. Páez, «Una visión de ciudad sostenible desde el modelo de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) caso de estudio: Barranquilla,» *Revista Tecnura*, vol. 24, n° 63, p. 16, 2020.
- [17] D. Sanchez y D. Santos , *Gestión de residuos de construcción y demolición para la construcción de viviendas unifamiliar en distrito Villa el Salvador*, Lima: Universidad Ricardo Palma, 2022.
- [18] B. Morales, A. More, N. Lozano y L. Pérez, «Análisis de la gestión de residuos para reducir el impacto ambiental en una empresa constructora,» *Revista Horizonte Empresarial*, vol. 11, n° 1, pp. 347-359, 2024.
- [19] R. Cao, *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*, España: Netbiblo, 2022.
- [20] J. González, L. Rodríguez y J. Layo, «Análisis de escenarios para el mantenimiento industrial de un taladro utilizando Vensim Ple,» *Pistas Educativas*, vol. 40, n° 130, p. 48, 2018.
- [21] M. Alvarez, J. García y L. Martínez, «Contribución metodológica para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición en Cuba,» *Economía y Desarrollo*, vol. 168, n° 2, p. 19, 2024.
- [22] S. Suárez, C. Betancourt y J. Molina, «La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual,» *Ciencias Sociales Aplicadas*, vol. 15, n° 1, pp. 224-244, 2019.
- [23] L. Cuzcano, K. Contreras y L. Bellido, «Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) en las edificaciones,» *Revista Arbitraria del centro de Investigación y Estudios Gerenciales*, vol. 1, n° 51, pp. 72-79, 2021.
- [24] J. Delgado-Larrea, A. Valle-Benitez y S. Delgado-Menoscal, «Plan de mejora del estudio de gestión integral de residuos de construcción,» *Polo de Conocimiento*, vol. 6, n° 5, pp. 717-739, 2021.
- [25] Ministerio del Ambiente, «Plataforma Nacional de Datos Abiertos,» MINAM, 26 04 2024. [En línea]. Available: <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/disposici%C3%B3n-final-adecuada-de-residuos-s%C3%B3lidos-ministerio-del-ambiente-minam>. [Último acceso: 19 octubre 2024].
- [26] M. Ros y M. Cordero, «Gestión eficiente del suministro de agua: un enfoque sostenible,» *European Public & Social Innovation Review*, vol. 1, n° 9, pp. 1-19, 2024.
- [27] N. Jiménez, «La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México,» *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, vol. 1, n° 17, pp. 29-56, 2015.
- [28] D. Hernández, «Control interno, herramienta para mejorar la gestión institucional. Universidad Federico Villarreal (UNFV), Perú,» *Gestiopolis*, 14 julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.gestiopolis.com/control-interno-herramienta-para-mejorar-la-gestion-institucional/>.
- [29] P. Julio, «Importancia de un modelo de gestión,» *Revista de Invesigación en Ciencias de la Administración*, vol. 2, n° 16, pp. 272-283, 2020.
- [30] A. Britez, «Impacto Ambiental,» *Relatorio de Impacto Ambiental (RIMA)*, Lima, 2022.
- [31] F. Erazo y D. Gibaja, «El dilema de la informalidad y como combatirla,» *Revista De Ciencias económicas*,

- jurídicas Y Administrativas*, vol. 2, nº 2, pp. 8-16, 2019.
- [32] M. Leal, C. Orozco y C. Chávez, «Análisis teórico de la Responsabilidad Social Empresarial y su implicancia en las PYMES,» *Ciencias Económicas y Administrativas*, vol. 30, nº 35, pp. 1-10, 2022.
- [33] M. López, A. Pérez y P. Garnica, «Reaprovechamiento de residuos de demolición y construcción en la infraestructura de caminos,» *Engineering, Innovation and Technology Transfer*, vol. 8, nº 24, pp. 1-13, 2016.
- [34] H. Sánchez, «¿Quién gobierna la basura y el reciclaje?,» *Revista de Relaciones Económicas Internacionales*, vol. 10, nº 24, p. 18, 2022.
- [35] S. Forero, L. Parra y A. Monroy, «Relevancia de los factores de riesgo labores en personal de recolección de residuos,» *Revista de Investigación Social*, vol. 8, nº 1, pp. 136-151, 2021.
- [36] E. Duran-Peralta, E. Acuyte-Valdes, M. Acuyte-Valdes y J. Hernández-López, «La modelación y simulación matemáticas,» *Revista Mexicana de Ciencias*, vol. 13, nº 6, p. 12, 2023.
- [37] A. Aguilera, «La sostenibilidad urbana y el derecho a la ciudad,» *Revista Palabra que Obra*, vol. 21, nº 1, pp. 186-204, 2021.
- [38] I. Tennenbaum, «Recogida y tratamiento de residuos,» *Especialista en Gestión de Residuos*, pp. 80-101, 2019.
- [39] P. Pirez, «Producción y consumo de la urbanización,» *Revista del Área de Estudios Urbanos*, vol. 1, nº 6, p. 37, 2017.
- [40] INDECOPI, «Decreto Supremo N° 019-2016-PCM,» Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), Lima, 2019.
- [41] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Decreto Supremo N°002-2022-Vivienda,» 4 abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/3310632-002-2022-vivienda>.
- [42] El Peruano, «Ley N°28611,» *El Peruano*, p. 12, 9 enero 2022.
- [43] MINAM, «Decreto Supremo N°014-2017-MINAM,» Ministerio del Ambiente (MINAM), Lima, 2017.
- [44] J. Arias-Gonzales, *Diseño y metodología de la investigación*, Arequipa: Endoques Consulting, 2021.
- [45] R. Hernández, C. Fernández y L. Baptista, *Metodología de la investigación*, Mc Graw Hill, 2018.
- [46] F. Ossio, C. Salinas y P. Yañez, «Plan de Gestión de residuos en obra,» Ediciones Técnicas, 2020.
- [47] O. Cueva, B. Castillo, D. Rodríguez y M. Cueva, «Gestión de residuos de construcción y demolición frente al cambio climático,» *Revista Científica-Profesional*, vol. 7, nº 12, pp. 846-468, 2022.
- [48] INEI, «Instituto Nacional de Estadística e Informática,» 2021. [En línea]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1758/cap18/ind18.htm. [Último acceso: 10 setiembre 2024].
- [49] INEI, «Sistema de Información para la Gestión de Riesgo de Desastres,» CENEPRED, 2019. [En línea]. Available: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/reporte-estadistico>. [Último acceso: 10 setiembre 2024].
- [50] L. A. Burga Lopez, «Diagnóstico, caracterización y diseño de la disposición final de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el distrito de Chiclayo,» Universidad Católica Santo Toribio de

Mogrovejo, Chiclayo, 2022.

- [51] J. Bezzolo Sokolich y G. D'Angelo Ramos, «Plan de manejo ambiental para la ciudad de Chiclayo: Manejo de los residuos de construcción producidos en la ciudad de Chiclayo; su tratamiento, reciclaje y eliminación a través de una escombrera,» Universidad Nacional de Piura, Piura, 2020.
- [52] ISOTOOLS, «ESGINNOVA GROUP,» 19 setiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>. [Último acceso: 20 setiembre 2024].
- [53] ISO, «Online Browsing Platform (OBP),» 2018. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>. [Último acceso: 20 setiembre 2024].
- [54] Navarro Ferronato, R. Fuentes Sirpa, E. Guisbert Lizarazu, F. Conti y V. Torretta, «Construction and demolition waste recycling in developing cities: management and cost analysi,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. XXX, p. 24377–24397, 2022.
- [55] M. A. Alsheyab, «Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development,» *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. XIX, p. 2129–2138, 2021.
- [56] M. R. Herrera Quispe, «Residuos de la construcción y demolición en el litoral marino de Lima metropolitana (Perú): Recomendaciones para su adecuada gestión,» *South Sustainability*, vol. III, n° 1, 2022.
- [57] VENSIM, «Fundamentos Matemáticos,» Vensim Ventana Systems, 1995. [En línea]. Available: <https://www.vensim.com/documentation/21995.html>. [Último acceso: 11 setiembre 2024].
- [58] Municipalidad Provincial de Chiclayo, Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque, Chiclayo, 2012.
- [59] Competencia Municipal, «Gestión y manejo de residuos sólidos de la construcción y demolición,» Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2023.
- [60] Ministerio de Justicia, «Decreto Legislativo N° 1278,» Sistema Peruano de Información Jurídica, 2018.
- [61] El Peruano, «Decreto de Urgencia 022-2020,» 24 enero 2020. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-urgencia-fortalecimiento-identificacion-gestion-pasivos>.
- [62] Ministerio del Ambiente, «Decreto Supremo N°014-2017-MINAM,» 22 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3695-014-2017-minam>.
- [63] El Peruano, «Norma G.050,» 22 mayo 2016. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619670-norma-g-050-seguridad-durante-la-construccion-ds-n-010-2009>.
- [64] CMIC, «Plan de Manejo de Residuos de Construcción y la Demolición,» Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), México, 2022.
- [65] CICLO, «ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN,» [En línea]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/475203/12._PDF_-_MARJORIE_MORI_PIZZINO_-_Ciclo.pdf. [Último acceso: 19 Octubre 2024].
- [66] C. Salgado-Llévano, «Manual de Investigación, Teoría y práctica para hacer la Tesis segúnla Metodología

Cuantitativa,» Edición, Fondo Editorial de la Universidad Marcelino Champagnat. ISBN: 978-612-4194-17-7, Santiago de Surco-Lima, 2018.

[67] J. Lozada, «Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria,» CIENCIAMÉRICA, 3, 34-39, 2014.

[68] V. M. Niño Rojas, «Metodología de la Investigación: Diseño y Ejecución,» Ediciones de la U. ISBN. 978-9675-94-7, Bogotá, 2011.

IX. Anexos

ANEXO 1: Volumen de RCD generado por viviendas.

Tabla 14. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Enero.

ENERO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	218.27	0.6	363.79
3. Metales	5.23%	118.33	1.5	78.88
4. Papel	9.14%	206.79	0.9	229.76
5. Plástico	7.87%	178.06	0.9	197.85
6. Vidrio	0.25%	5.75	1.5	3.83
7. Yeso	4.42%	99.95	1.2	83.29
Subtotal estimación	36.55%	827.15	1.13	957.40
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	59.74	1.5	39.82
2. Concreto	14.21%	321.67	2.5	128.67
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	863.91	1.5	575.94
4. Piedra	2.54%	57.4	1.5	38.29
Subtotal estimación	57.56%	1302.72	1.75	782.72
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	80.41	0.9	89.35
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	52.84	0.5	105.7
Subtotal estimación	5.89%	133.25	0.7	195.05
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	2,263.12	1.25	1,935.17

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 15. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Febrero.

FEBRERO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	360.34	0.6	600.55
3. Metales	5.23%	195.34	1.5	130.23
4. Papel	9.14%	341.37	0.9	379.31
5. Plástico	7.87%	293.95	0.9	326.62
6. Vidrio	0.25%	9.49	1.5	6.32
7. Yeso	4.42%	165	1.2	137.49
Subtotal estimación	36.55%	1365.49	1.13	1580.52
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	98.62	1.5	65.75
2. Concreto	14.21%	531.03	2.5	212.41
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	1426.18	1.5	950.79
4. Piedra	2.54%	94.83	1.5	63.22
Subtotal estimación	57.56%	2150.66	1.75	1292.17
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	132.75	0.9	147.51
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	87.24	0.5	174.48
Subtotal estimación	5.89%	219.99	0.7	321.99
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	3,736.14	1.25	3,194.68

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 16. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Marzo.

MARZO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	407.18	0.6	678.64
3. Metales	5.23%	220.74	1.5	147.15
4. Papel	9.14%	385.75	0.9	428.61
5. Plástico	7.87%	332.17	0.9	369.08
6. Vidrio	0.25%	10.71	1.5	7.15
7. Yeso	4.42%	186.45	1.2	155.37
Subtotal estimación	36.55%	1543	1.13	1786.00
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	111.45	1.5	74.29
2. Concreto	14.21%	600.05	2.5	240.03
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	1611.59	1.5	1074.39
4. Piedra	2.54%	107.15	1.5	71.44
Subtotal estimación	57.56%	2430.24	1.75	1460.15
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	150.01	0.9	166.68
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	98.59	0.5	197.16
Subtotal estimación	5.89%	248.6	0.7	363.84
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	4,221.84	1.25	3,609.99

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 17. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo –Abril.

ABRIL				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	506.19	0.6	843.64
3. Metales	5.23%	274.41	1.5	182.94
4. Papel	9.14%	479.55	0.9	532.83
5. Plástico	7.87%	412.94	0.9	458.83
6. Vidrio	0.25%	13.32	1.5	8.87
7. Yeso	4.42%	231.78	1.2	193.16
Subtotal estimación	36.55%	1918.19	1.13	2220.27
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	138.53	1.5	92.36
2. Concreto	14.21%	745.96	2.5	298.38
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	2003.44	1.5	1335.62
4. Piedra	2.54%	133.2	1.5	88.81
Subtotal estimación	57.56%	3021.13	1.75	1815.17
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	186.49	0.9	207.21
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	122.55	0.5	245.1
Subtotal estimación	5.89%	309.04	0.7	452.31
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	5,248.36	1.25	4,487.75

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 18. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Mayo.

MAYO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	687.15	0.6	1145.25
3. Metales	5.23%	372.5	1.5	248.34
4. Papel	9.14%	650.99	0.9	723.32
5. Plástico	7.87%	560.58	0.9	622.85
6. Vidrio	0.25%	18.08	1.5	12.06
7. Yeso	4.42%	314.65	1.2	262.2
Subtotal estimación	36.55%	2603.95	1.13	3014.02
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	188.06	1.5	125.38
2. Concreto	14.21%	1012.65	2.5	405.06
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	2719.67	1.5	1813.13
4. Piedra	2.54%	180.83	1.5	120.55
Subtotal estimación	57.56%	4101.21	1.75	2464.12
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	253.16	0.9	281.3
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	166.36	0.5	332.73
Subtotal estimación	5.89%	419.52	0.7	614.03
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	7,124.68	1.25	6,092.17

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 19. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Junio.

JUNIO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	439.09	0.6	731.82
3. Metales	5.23%	238.03	1.5	158.69
4. Papel	9.14%	415.98	0.9	462.2
5. Plástico	7.87%	358.2	0.9	398
6. Vidrio	0.25%	11.55	1.5	7.71
7. Yeso	4.42%	201.05	1.2	167.55
Subtotal estimación	36.55%	1663.9	1.13	1925.97
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	120.18	1.5	80.12
2. Concreto	14.21%	647.08	2.5	258.84
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	1737.88	1.5	1158.58
4. Piedra	2.54%	115.55	1.5	77.03
Subtotal estimación	57.56%	2620.69	1.75	1574.57
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	161.77	0.9	180.04
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	106.31	0.5	212.61
Subtotal estimación	5.89%	268.08	0.7	392.65
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	4,552.67	1.25	3,893.19

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 20. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Julio.

JULIO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	324.81	0.6	541.35
3. Metales	5.23%	176.08	1.5	117.38
4. Papel	9.14%	307.71	0.9	341.91
5. Plástico	7.87%	264.97	0.9	294.42
6. Vidrio	0.25%	8.55	1.5	5.69
7. Yeso	4.42%	148.72	1.2	123.94
Subtotal estimación	36.55%	1230.84	1.13	1424.69
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	88.89	1.5	59.26
2. Concreto	14.21%	478.67	2.5	191.48
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	1285.56	1.5	857.04
4. Piedra	2.54%	85.47	1.5	56.98
Subtotal estimación	57.56%	1938.59	1.75	1164.76
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	119.67	0.9	132.97
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	78.64	0.5	157.27
Subtotal estimación	5.89%	198.31	0.7	290.24
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	3,367.74	1.25	2,879.69

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

Tabla 21. Volumen de RCD generado en el casco urbano de Chiclayo – Agosto.

AGOSTO				
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	% del peso total	Toneladas brutas de cada tipo de RCD (Tn)	Densidad media (d(T/m ³))	Volumen neto de Residuos (Vt m ³)
RCD: Naturaleza no pétreo				
1. Asfalto	0.00%	0	1.3	0
2. Madera	9.64%	252.26	0.6	420.45
3. Metales	5.23%	136.75	1.5	91.16
4. Papel	9.14%	238.99	0.9	265.54
5. Plástico	7.87%	205.8	0.9	228.66
6. Vidrio	0.25%	6.65	1.5	4.42
7. Yeso	4.42%	115.51	1.2	96.25
Subtotal estimación	36.55%	955.96	1.13	1106.48
RCD: Naturaleza pétreo				
1. Arena Grava y otros áridos	2.64%	69.04	1.5	46.03
2. Concreto	14.21%	371.01	2.5	148.7
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%	977.39	1.5	665.62
4. Piedra	2.54%	88.39	1.5	44.26
Subtotal estimación	57.56%	1505.83	1.75	904.61
RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros				
1. Basuras	3.55%	92.94	0.9	103.27
2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%	61.07	0.5	122.15
Subtotal estimación	5.89%	154.01	0.7	225.42
TOTAL estimación cantidad RCDs	100.00%	2,615.80	1.25	2,236.51

Fuente: Adaptado de Chafloque (2018) [13]

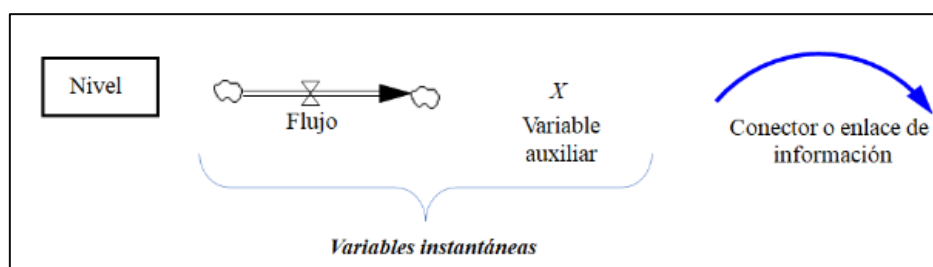
ANEXO 2: Modelo de simulación con VENSIM PLE.

En el presente ANEXO se describe la creación de un modelo dinámico utilizando VENSIM PLE o más comúnmente conocido como VENSIM para analizar la gestión de RCD en Chiclayo urbano. En el modelo se presenta principalmente la evaluación de un impacto ambiental y económico debido a la generación de los RCD en términos de toneladas de CO₂ y costo en soles al año. Dentro del modelo se implementaron generadores aleatorizados y un modo de referencia, también, se ha realizado la incorporación de políticas de gestión (recolección y reaprovechamiento) con un delay de 24 meses que permiten reducir las externalidades del problema.

1. Uso de las Funciones en Vensim para el Modelo

Para iniciar presentando algunas de las funciones de Vensim, en la Figura 15 se percibe cierto esquema de los elementos que permita entender de manera general cómo funciona Vensim para la generación de Modelos Dinámicos de Sistemas y se describen algunas de estas en base a [57].

Figura 15. Elementos de un modelo dinámico de sistemas.



Fuente: Adaptado de Vensim [57].

Descripción de elementos:

✓ **INTEG:**

Herramienta que permite acumular el valor de una variable a lo largo del tiempo y devuelve la integral de la tasa en las mismas unidades que el valor inicial.

✓ **EXP:**

La herramienta EXP nos ayuda a realizar cambios en una constante de manera exponencial.

✓ **RANDOM NORMAL:**

Herramienta de rutina dentro de Vensim que nos permite introducir ruido dentro de una serie de datos, generando a partir de una data histórica la aleatorización para el tiempo simulado.

✓ **DELAY FIXED (entrada, tiempo de retardo, valor inicial):**

Permite incorporar un retraso en la simulación debido a las consideraciones de restricción ajenas al modelo dinámico, pues devuelve el valor de entrada retrasado por el tiempo de retraso.

✓ **WITH LOOKUP:**

Herramienta que facilita la especificación de una relación no lineal referente al valor de entrada “x” y la salida, pues permite pasar los valores de entrada en una serie de pares de datos (x, y) especificados como números.

Asimismo, de manera breve se pretende explicar las variables utilizadas en Vensim que han permitido simular y modelar de manera precisa el sistema dinámico: A continuación, se detalla cómo se aplicaron las principales funciones en el modelo.

- **INTEG (Integración):** La función INTEG fue utilizada en varias partes del modelo, como en la Cantidad de RCD, el Impacto Ambiental y el Económico. Esta función permite acumular una variable a lo largo del tiempo con base en los flujos que la afectan. En este caso, los flujos son los generadores de residuos y las políticas de gestión.
- **Cantidad de RCD = INTEG (Generadores aleatorizados - Políticas de gestión, 0):** El uso de esta función es crucial para evaluar el comportamiento de los RCD en el tiempo, considerando tanto la generación como la gestión de los residuos.
- **EXP (Crecimiento Exponencial):** El crecimiento poblacional fue modelado usando la función EXP, que representa el crecimiento exponencial continuo de la población. Se utilizó en variables como Crecimiento Poblacional y Políticas de Gestión, donde una pequeña tasa de cambio causa un crecimiento exponencial en el tiempo.
 - *Crecimiento poblacional = Población inicial Chiclayo * EXP (0.000608333 * Tiempo)*

Este método es útil para simular dinámicas poblacionales y otros factores que dependen de pequeños incrementos en un periodo largo de tiempo.

- **RANDOM NORMAL (Generadores Aleatorizados):** Se usó la función RANDOM NORMAL para modelar la variabilidad en la generación de residuos de manera estocástica. Esta función proporciona una forma de incorporar incertidumbre en la proyección de los residuos.

- *Generadores aleatorizados = RANDOM NORMAL (1950.53, 5666.39, Generadores sin aleatorizar, 1066.23, 1)*

Con esta función, se refleja que la generación de RCD no es constante y puede variar dentro de ciertos límites, lo cual es coherente con los datos históricos.

- **DELAY FIXED (Retrasos en la Implementación):** El delay fixed se utilizó para reflejar los retrasos en la ejecución de cada política de gestión y medidas de reparación. Este retraso es común en la planificación y ejecución de políticas ambientales y económicas.

- *Implementación de la estrategia = DELAY FIXED (Generadores aleatorizados * Reaprovechamiento, 24, 0)*

La función simula un desfase de 24 meses entre la generación de residuos y la implementación de estrategias para su gestión, representando las dificultades administrativas y logísticas reales. Este desfase se sustenta con el tiempo de gestión de la alcaldía municipal (4 años) y se plantea 2 años para poder implementar la política de gestión, 2 años más para que dentro de la municipalidad la política sea implementada en ordenanza municipal; además, considerando que nuestro país es subdesarrollado, implementar políticas de gestión toma tiempo y por ello se considera dos años.

- **WITH LOOKUP (Proyección de Residuos):** La función WITH LOOKUP fue utilizada para proyectar el volumen mensual de RCD basado en datos históricos. Esto es útil cuando se tienen datos reales y se necesita generar una proyección no lineal.

- *Proyección RCD mensual = WITH LOOKUP (Tiempo, [(1,1935.17), (2,2564.93), (3,3402.34),...])*

Esta función permite modelar datos que siguen una distribución irregular, siendo la circunstancia de una generación de RCD.

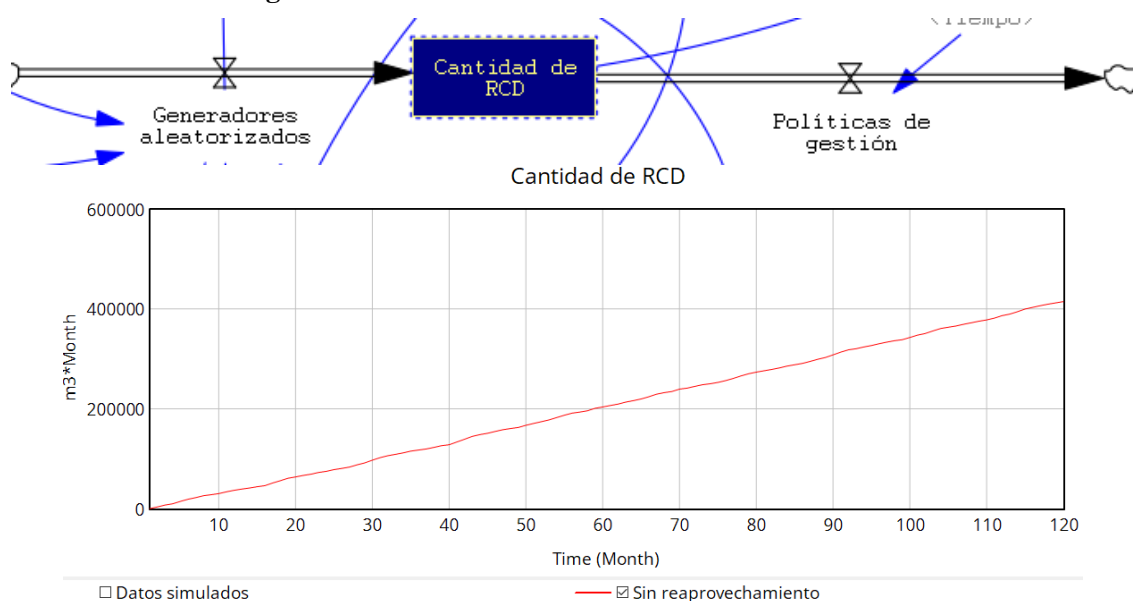
2. Variables del Modelo

Las variables del modelo fueron seleccionadas con base en su capacidad para representar los factores determinantes en la generación y gestión de los RCD. En efecto, se explican las variables utilizadas para un modelo de simulación respecto a la gestión de RCD:

a) **Variables de Nivel:** una variable de nivel es aquella que permite la acumulación de un flujo, también llamados acumulaciones, stocks y estados [57].

- **Variable de nivel cantidad de RCD ($mes*m^3$):** Se utilizó esta variable para medir el volumen total de residuos generados mensualmente. Los RCD son uno de los mayores contribuyentes al problema ambiental urbano, por lo que es esencial medir su cantidad de manera continua. Se utilizó una función de integración (INTEG) que toma en cuenta los generadores aleatorizados y las políticas de gestión como flujos principales que afectan la cantidad acumulada de RCD.

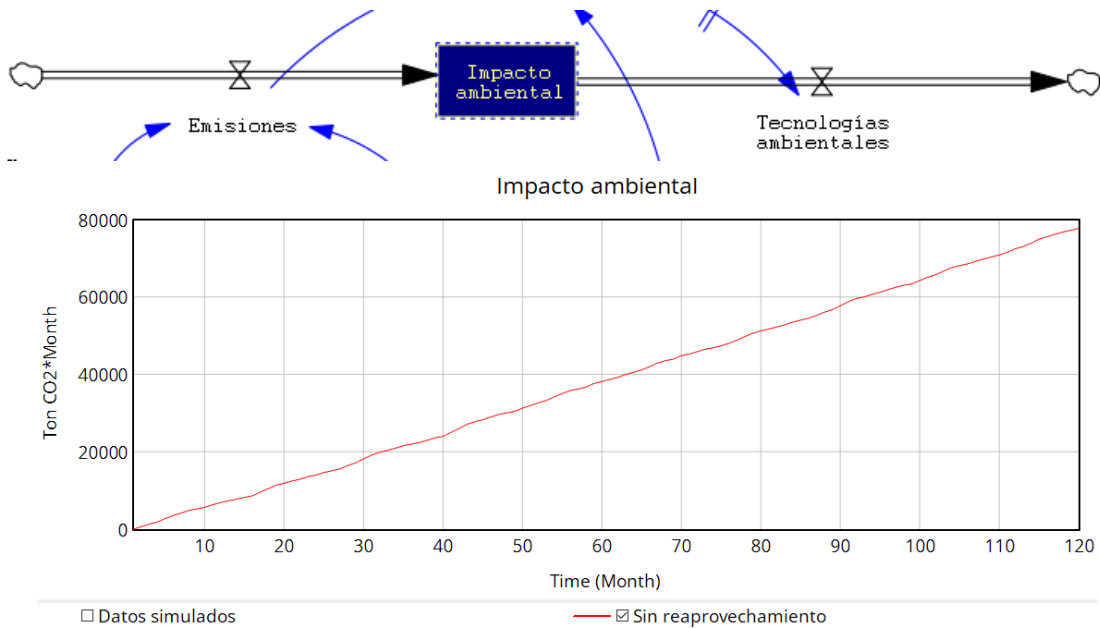
Figura 16. Variable de nivel cantidad de RCD.



Fuente: Elaboración propia

- **Variable de nivel de impacto ambiental ($Mes*Ton CO_2$):** Esta variable de nivel mide el impacto acumulado de las emisiones de CO_2 generadas por los RCD a lo largo del tiempo. Se basa en la cantidad de residuos originados y en un factor de conversión de toneladas RCD a toneladas de CO_2 . Este impacto se va acumulando mes a mes, y puede verse afectado por políticas de mitigación, tecnologías ambientales, y el porcentaje de residuos reaprovechados. A mayor cantidad de residuos no gestionados adecuadamente, mayor será el nivel de impacto ambiental.

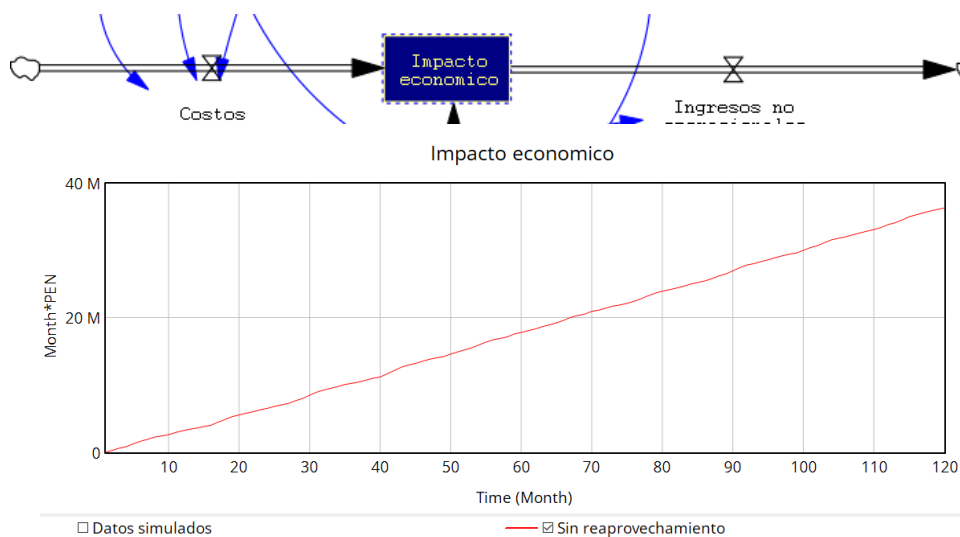
Figura 17. Variable de nivel impacto ambiental.



Fuente: Elaboración propia

- Variable de nivel de impacto económico (mes*PEN):** Esta variable de nivel refleja el costo total asociado a la generación y gestión de RCD, incluyendo el presupuesto adicional necesario para llevar a cabo las políticas de gestión. A diferencia de la variable de impacto ambiental, en el económico no solo incluye los costos actuales, sino que también contempla un incremento presupuestal que se deriva de implementar las acciones de gestión. A medida que las políticas de reaprovechamiento y tecnologías ambientales se aplican, la presión económica puede disminuir, aunque inicialmente el costo aumente debido a la inversión en dichas políticas.

Figura 18. Variable de nivel impacto económico.

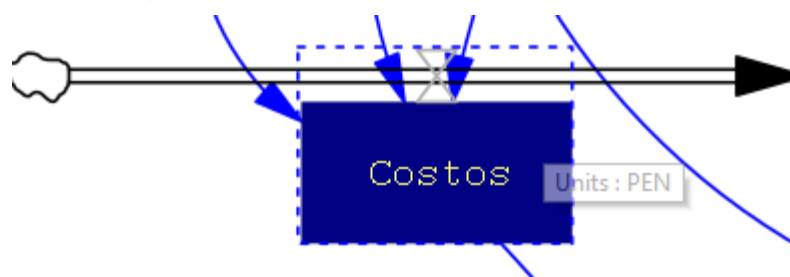


Fuente: Elaboración propia

b) **Variables de Flujo:** Son aquellas que se relacionan directamente con el cambio de las variables de nivel y permiten que el sistema dinámico se comporte coherentemente [57].

- **Flujo de costos (PEN):** Para evaluar el impacto económico, se incluyó una variable que traduce los RCD generados en costos monetarios. La conversión se hizo, a través de un factor de conversión de RCD m^3 a toneladas y un multiplicador de toneladas a PEN. Esta relación permite identificar el costo directo asociado con la disposición final de los residuos.

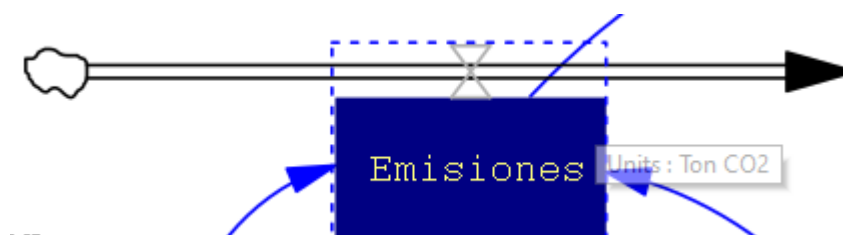
Figura 19. Variable de Flujo de Costos.



Fuente: Elaboración propia

- **Flujo de emisiones (Ton CO₂):** Para el impacto ambiental, se incluyó la variable de emisiones de CO₂, calculada a partir de los generadores aleatorizados y un factor de conversión de RCD a CO₂. La generación de CO₂ es una de las iniciales externalidades ambientales asociadas a residuos de construcción, y es clave para la evaluación de políticas de sostenibilidad.

Figura 20. Variable de Flujo de emisiones de CO₂.

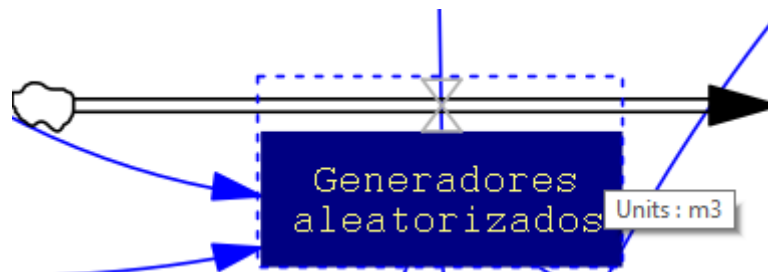


Fuente: Elaboración propia

- **Flujo de generadores aleatorizados (m^3):** A diferencia de la variable *Generadores sin aleatorizar*, esta introduce un componente de aleatorización en la cantidad de residuos generados. Esto permite simular variaciones estocásticas o fluctuaciones en la generación de residuos que pueden ocurrir debido a cambios en las actividades de construcción, eventos externos, o cambios en las políticas de gestión.

Al introducir aleatorización, el modelo puede simular escenarios más realistas y captar la incertidumbre inherente a los sistemas complejos.

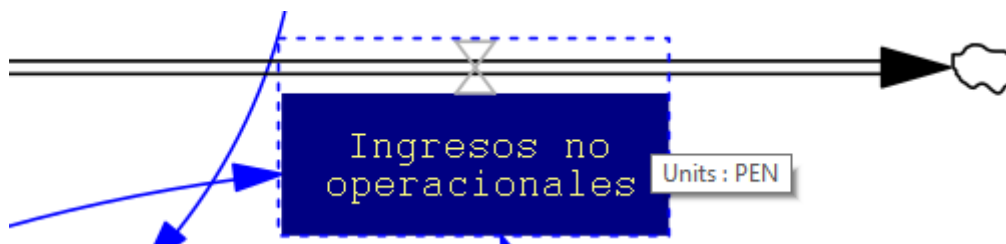
Figura 21. Variable de Flujo generadores de RCD.



Fuente: Elaboración propia

- **Flujo de ingresos no operacionales (PEN):** Este flujo se refiere a los beneficios económicos que se generan a largo plazo al minimizar los costos mediante el reaprovechamiento de materiales. Si una mayor proporción de residuos se recicla o reutiliza, los costos asociados a la disposición final y las emisiones disminuyen, lo que a su vez libera presupuesto para otras áreas. Este flujo es clave para modelar escenarios en los que las políticas de gestión de residuos resultan en beneficios económicos futuros, transformando un problema de costo inicial en una fuente de ingresos no operacionales.

Figura 22. Variable de Flujo de ingreso no operacional.



Fuente: Elaboración propia

- **Flujo de políticas de gestión (m^3):** Este flujo representa la implementación de políticas activas para gestionar los RCD, como incentivos para la reutilización de materiales, y normativas más estrictas para la disposición final de residuos. El flujo de políticas de gestión se ve influenciado por los presupuestos asignados y por los retrasos (delays) en la implementación. Este flujo es crucial para minimizar tanto el impacto ambiental como el económico a largo plazo.

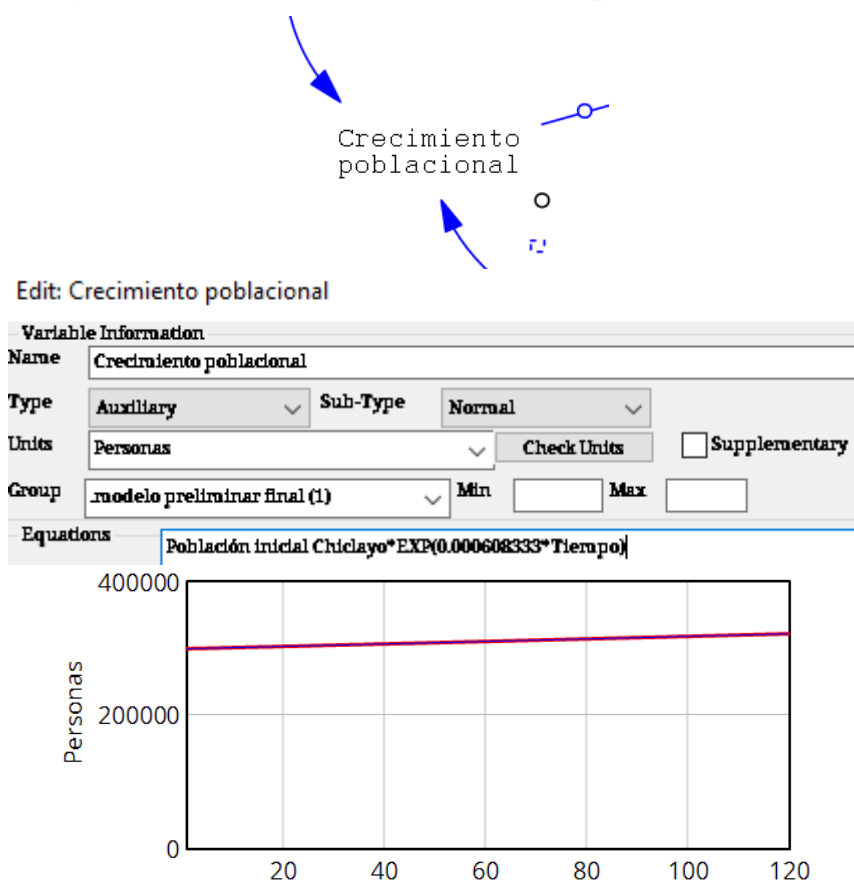
Figura 25. Variable de Flujo de tecnologías ambientales.



Fuente: Elaboración propia

- c) **Variables Auxiliares:** estas variables son tomadas en cuenta a partir de niveles, constantes, datos y otros auxiliares, pues las variables auxiliares no tienen memoria y sus valores dependen de un momento dado [57].
- **Crecimiento poblacional (Personas):** Como el crecimiento de la población está directamente relacionado con la generación de residuos, se utilizó una ecuación de crecimiento exponencial para modelar el aumento poblacional en Chiclayo, basado en una tasa mensual del 0.000608333.

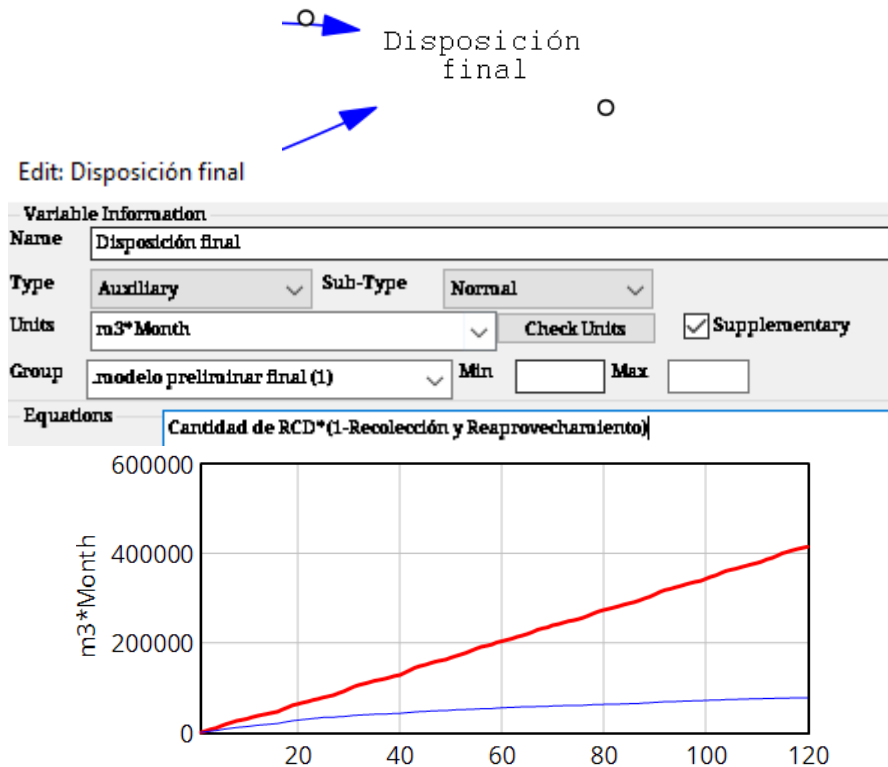
Figura 26. Variable auxiliar de crecimiento poblacional.



Fuente: Elaboración propia

- **Disposición final (m^3):** No todo el RCD generado puede ser reaprovechado. Por eso, la disposición final es la cantidad de residuos que no se reutilizan, representando la fracción que se lleva a vertederos.

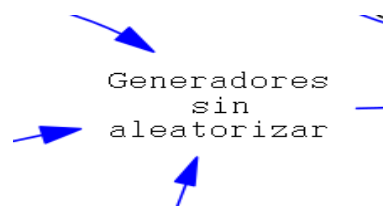
Figura 27. Variable auxiliar de disposición final.



Fuente: Elaboración propia

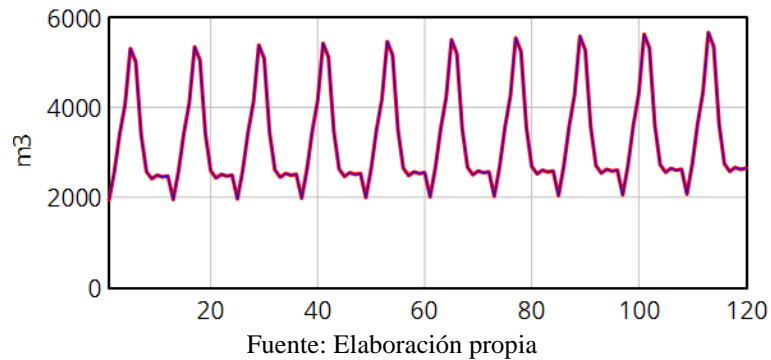
- **Generadores sin aleatorizar (m^3):** Esta variable representa la cantidad de residuos generados por una población sin introducir variabilidad aleatoria. Se basa únicamente en los datos históricos de generación de residuos y cierta tasa de crecimiento poblacional proyectada. Esta variable es crucial para los cálculos base del modelo, proporcionando una referencia constante de cuántos residuos esperar en condiciones controladas y sin fluctuaciones imprevistas, lo que permite hacer comparaciones con los escenarios más realistas que incorporan aleatorización.

Figura 28. Variable auxiliar de generación de RCD.



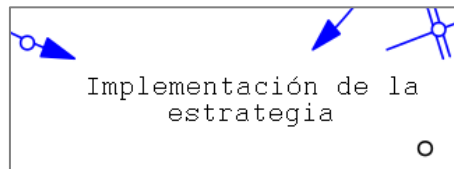
Edit: Generadores sin aleatorizar

Variable Information	
Name	Generadores sin aleatorizar
Type	Auxiliary Sub-Type Normal
Units	m3 Check Units <input type="checkbox"/> Supplementary
Group	modelo preliminar final (1) Min Max
Equations	(Crecimiento poblacional*Proyección RCD mensual/Población inicial Chiclayo)



- **Implementación de la estrategia, reducción de costos y medidas de reparación (m^3 , PEN, Ton CO2):** Las tres variables contienen un delay fixed de 24 meses, simulando la demora en una ejecución de cada política y estrategia para una minimización de residuos y emisiones. Este retraso es realista y refleja la dificultad de implementar políticas ambientales a corto plazo.

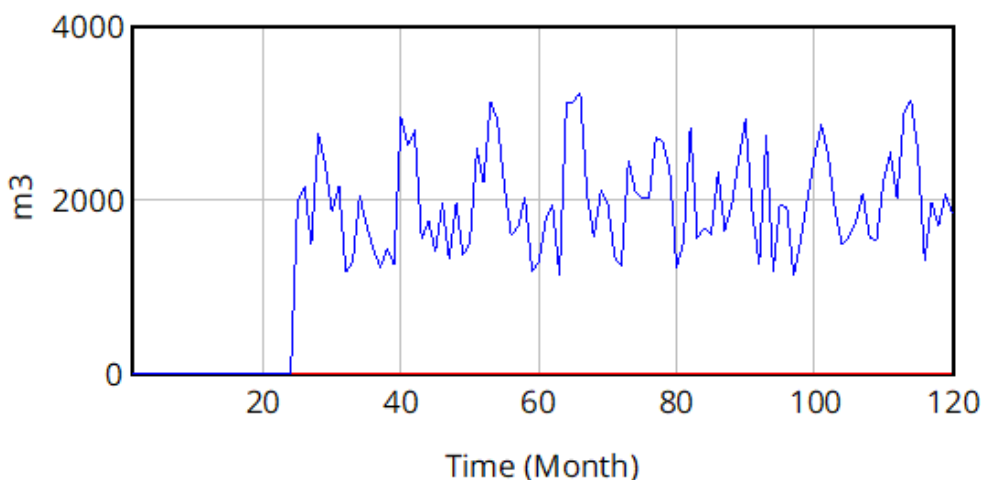
Figura 29. Variable auxiliar de implementación de estrategias.



Edit: Implementación de la estrategia

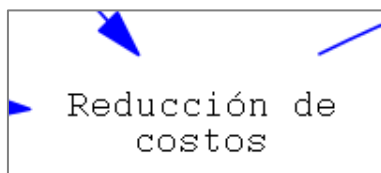
Variable Information	
Name	Implementación de la estrategia
Type	Auxiliary Sub-Type Normal
Units	m3 Check Units <input type="checkbox"/> Supplementary
Group	modelo preliminar final (1) Min Max
Equations	DELAY FIXED(Generadores aleatorizados*Recolección y Reaprovechamiento, 24, 0)

Implementación de la estrategia



— Datos simulados — Sin reaprovechamiento
Fuente: Elaboración propia

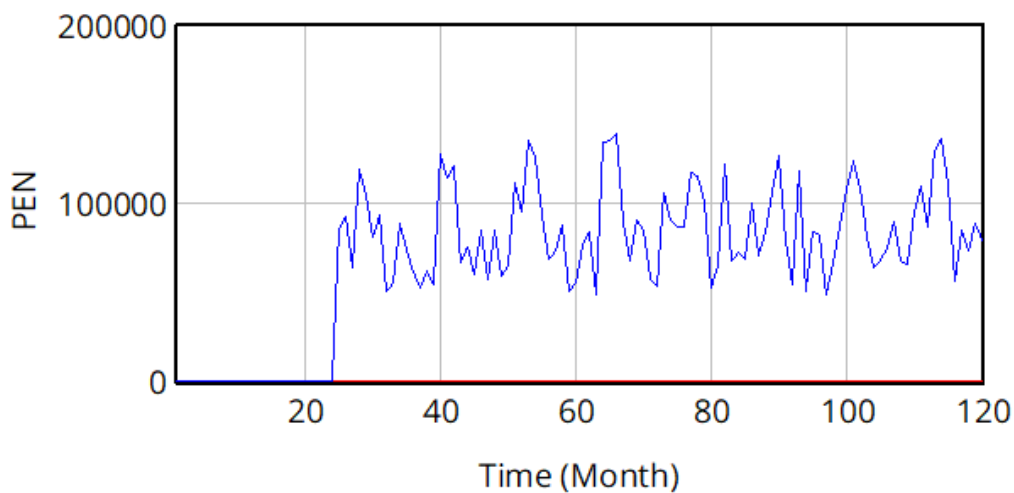
Figura 30. Variable auxiliar de reducción de costos.



Edit: Reducción de costos

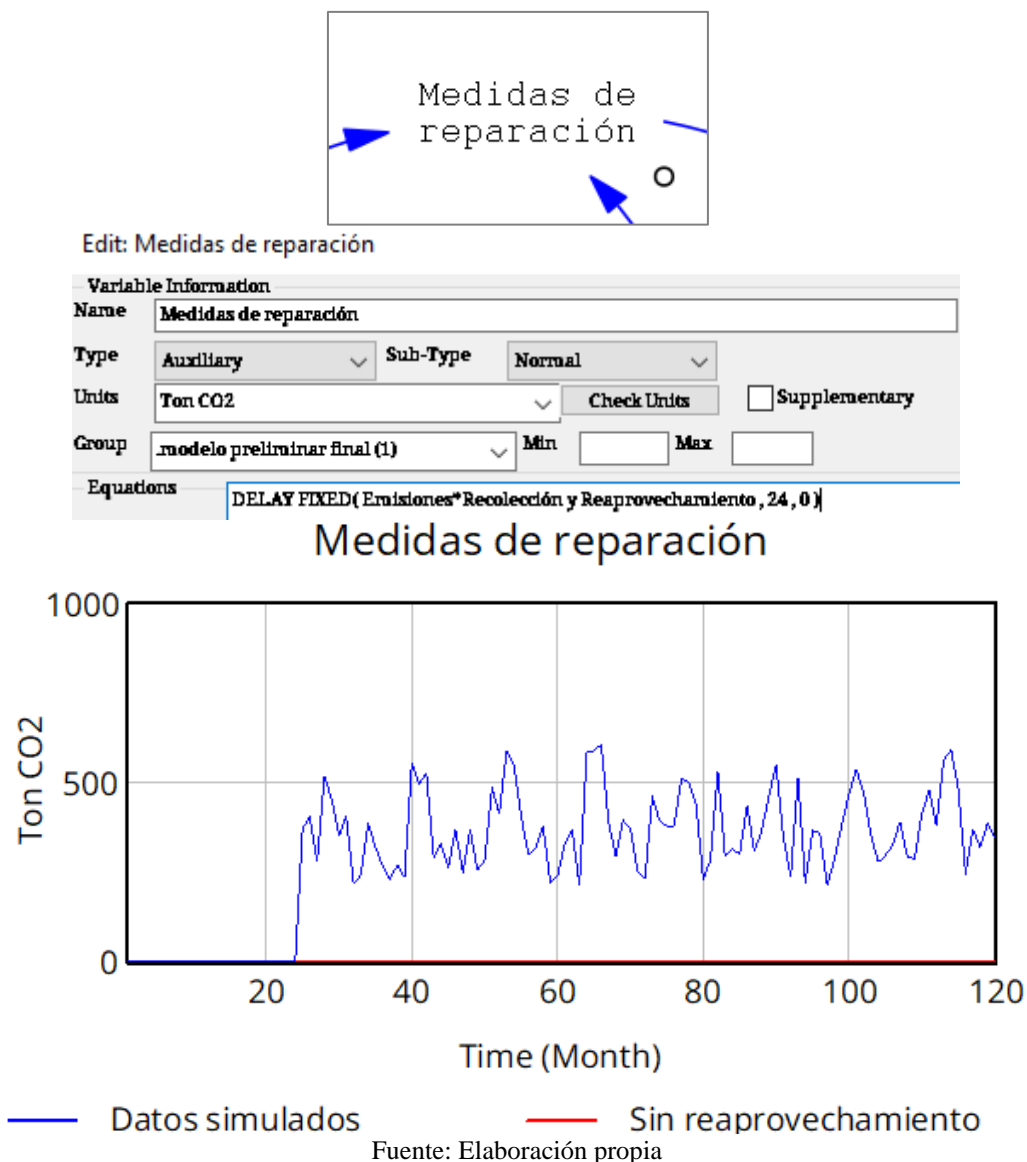
Variable Information	
Name	Reducción de costos
Type	Auxiliary Sub-Type Normal
Units	PEN <input type="checkbox"/> Check Units <input type="checkbox"/> Supplementary
Group	modelo preliminar final (1) Min Max
Equations	DELAY FIXED(Costos*Recolección y Reaprovechamiento, 24, 0)

Reducción de costos



— Datos simulados — Sin reaprovechamiento
Fuente: Elaboración propia


Figura 31. Variable auxiliar de medidas de reparación ambiental.



- **Lookup proyección de RCD mensual (m3):** El método de media móvil que se utilizó para determinar la proyección de generación de RCD cada mes, basada en estimaciones históricas, define los posibles escenarios de generación de residuos. Estos valores, que varían mensualmente, son esenciales para capturar la dinámica temporal del sistema y ajustar el modelo a la realidad observada, permite anticipar fluctuaciones en la cifra de residuos producidos y en impactos económicos y ambientales.

Figura 32. Variable auxiliar Lookup proyección de RCD mensual.

Tiempo



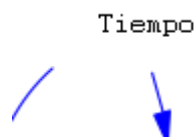
Edit: Proyección RCD mensual

Variable Information		Edit a Different Variable	
Name	Proyección RCD mensual	All	▼
Type	Auxiliary Sub-Type with Lookup	Search Model	
Units	m3 Check Units <input type="checkbox"/> Supplementary	New Variable	
Group	modelo preliminar final (1) Min Max	Back to Prior Edit	
Equations	Tiempo	Jump to Hilito	
Look up	<pre> = WITH LOOKUP ({[(2000,2000),(120,5500)],(1,1935.17),(2,2564.93),(3,3402.34),(4,4048.87),(5,5289.96),(6,4992.68),(7,3386.44),(8,2558.1),(9,2397.31),(10,2477.7),(11,2437.5),(12,2457.6),(13,1935.17),(14,2564.93),(15,3402.34),(16,4048.87),(17,5289.96),(18 ,4992.68),(19,3386.44),(20,2558.1),(21,2397.31),(22,2477.7),(23,2437.5),(24,2457.6),(25,1935.17),(26,2564.93),(27,3402.34),(28 ,4048.87),(29,5289.96),(30,4992.68),(31,3386.44),(32,2558.1),(33,2397.31),(34,2477.7),(35,2437.5),(36,2457.6),(37,1935.17),(38 ,2564.93 } </pre>		

Fuente: Elaboración propia

- **Lookup de tiempo usando el reductor dimensional (1):** El lookup de tiempo, ajustado con el reductor dimensional, permite modelar la evolución de ciertas variables a lo largo del tiempo sin que se presenten problemas de unidades. Este lookup es utilizado en funciones de crecimiento poblacional, de generación de residuos y de implementación de políticas. Además, permite que el tiempo sea manejado en forma continua y se proyecten las dinámicas del sistema sin errores de unidades.

Figura 33. Variable auxiliar Lookup de tiempo.



Edit: Tiempo

Variable Information	
Name	Tiempo
Type	Auxiliary Sub-Type with Lookup As Graph
Units	1 Check Units <input type="checkbox"/> Supplementary
Group	modelo preliminar final (1) Min Max
Equations	Time/Reductor dimensional t
Look up	<p>WITH LOOKUP</p> <p>(</p> <p>(((0,0)-(120,120)), (0,0), (1,1), (2,2), (3,3), (4,4), (5,5), (6,6), (7,7), (8,8), (9,9), (10,10), (11,11), (12,12), (13,13), (14,14), (15,15), (16,16), (17,17), (18,18), (19,19), (20,20), (21,21), (22,22), (23,23), (24,24), (25,25), (26,26), (27,27), (28,28), (29,29), (30,30), (31,31), (32,32), (33,33), (34,34), (35,35), (36,36), (37,37), (38,38), (39,39), (40,40), (41,41), (42,42), (43,43), (44,44), (45,45), (46,46), (47,47), (48,48), (49,49), (50,50), (51,51), (52,52), (53,53), (54,54), (55,55), (56,56), (57,57), (58,58), (59,59), (60,60), (61,61), (62,62), (63,63), (64,64), (65,65), (66,66), (67,67), (68,68), (69,69), (70,70),</p>

Fuente: Elaboración propia

3. Constantes en el Modelo

En el modelo desarrollado en Vensim para la gestión de los RCD en función de la cantidad, así como su impacto económico, ambiental y disposición final; se utilizan varias constantes claves que desarrollan una función esencial en la conceptualización de escenarios y en simulaciones de comportamientos de un sistema al transcurso del tiempo. A continuación, se explica el porqué de su uso y su relevancia en el ajuste de las simulaciones.

- **Factor de conversión RCD m³ a toneladas (1.25):** Esta constante establece una relación entre volumen de residuos originados y su equivalente en peso, dado que los RCD no se miden solo en términos de volumen (m³), sino también en toneladas para poder calcular correctamente los costos económicos y las emisiones de CO₂. Se usa un valor de 1.25 toneladas por metro cúbico, lo que representa una densidad promedio del RCD. Este valor es fundamental para asegurar la coherencia entre las variables que utilizan unidades de peso (toneladas) y volumen (m³), como los costos y las emisiones.
- **Ratio toneladas a toneladas de CO₂ (0.15):** Esta constante convierte el peso de los residuos generados en su equivalente de emisiones de CO₂. Por cada tonelada de RCD generada, se emiten 0.15 toneladas de CO₂. Esta ratio es importante para poder calcular el impacto ambiental y proyectar las emisiones de CO₂ a lo largo del

tiempo en cuestión de una cifra de RCD originados. Asimismo, permite cuantificar de manera precisa el daño ambiental asociado al mal manejo o disposición final de los residuos.

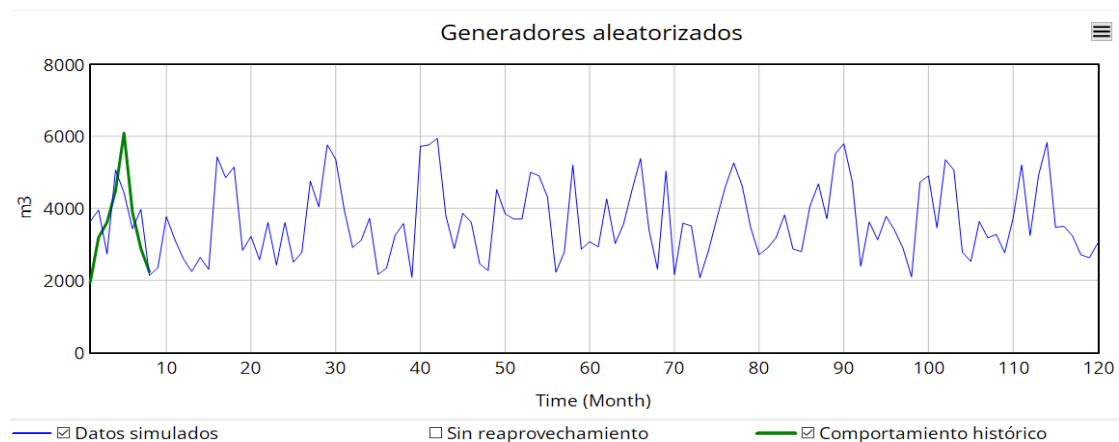
- **Reaprovechamiento (0.65):** El valor de 0.65 indica que se estima que el 65% de los residuos generados serán reaprovechados mediante estrategias de reciclaje o reutilización. Esta constante modula la cifra de residuos que llegan a disposición final y tiene un impacto directo tanto en las emisiones de CO₂ como en la reducción de costos asociados. Si el porcentaje de reaprovechamiento fuera más bajo, el impacto negativo en el ambiente y en los costos aumentaría. Esta constante permite modelar políticas de gestión más eficientes que minimicen la disposición final de RCD y, por lo tanto, las emisiones de CO₂.
- **Toneladas a PEN (34.5):** Por cada tonelada generada de RCD se adquiere un costo de 34.5 soles.
- **Presupuesto para los planes de acción (35.5 PEN/tonelada):** El presupuesto asignado de 35.5 PEN por tonelada refleja cada costo adicional asociado a una ejecución de políticas para gestionar los residuos. Este valor es clave para modelar las políticas de gestión, ya que determina cuánto se destina a mitigar los efectos de los RCD y optimizar su manejo. A medida que el sistema incrementa su capacidad de reaprovechamiento, este presupuesto actúa como un factor limitante o habilitador para implementar medidas más eficientes en un tratamiento de residuos.
- **Tasa de urbanización:** La tasa de urbanización varía el crecimiento de los generadores de residuos en cuestión a cada cambio de densidades poblacionales urbanas. En este caso, la tasa se mantiene en su condición actual, lo que implica que el escenario base del modelo no prevé un crecimiento acelerado ni una disminución significativa en la urbanización; sin embargo, esta consideración inicial puede ir cambiando en el modelo a lo largo del tiempo.
- **Población inicial de Chiclayo (298714):** Esta constante define la población inicial de Chiclayo que es útil para los cálculos de una generación de residuos a lo largo del tiempo. Ese estableció como un valor inmodificable, pues parte de las condiciones del año 2018, año base para la simulación del modelo.

- **Reductor dimensional 't'**: Es una constante con valor 1 que se utiliza para resolver problemas con el units check del modelo, especialmente cuando se emplean ecuaciones de crecimiento exponencial que requieren que el tiempo (t) no tenga unidades de meses asociadas. Al emplear este reductor, se permite que las funciones de crecimiento (como el crecimiento poblacional o la proyección de residuos) se calculen sin generar errores de dimensiones.

4. Consideraciones especiales en el Modelo

Para la variable de **generadores aleatorizados** se creó un modo de referencia (*reference mode*) que comprobó la cercanía del modelo en Vensim a los datos bibliográficos (investigaciones previas). Para lograr captar el patrón, primero se utilizó una hoja de cálculo en Excel donde se proyectó la información que se tenía (enero a agosto) a un año, para poder determinar por media móvil de 2 periodos la tendencia a un año completo de 12 meses. Como medida de error de pronóstico se recurrió a la raíz del error cuadrático medio (RMSE).

Figura 34. Comportamiento data histórica vs simulación de RCD mensuales.



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del modelo simulado a 120 meses tiene un comportamiento similar al histórico 12 meses (línea Verde). Por otro lado, la identificación del estimador de máxima verosimilitud se logró con ayuda del plugin Crystal Ball y su herramienta "Predictor".

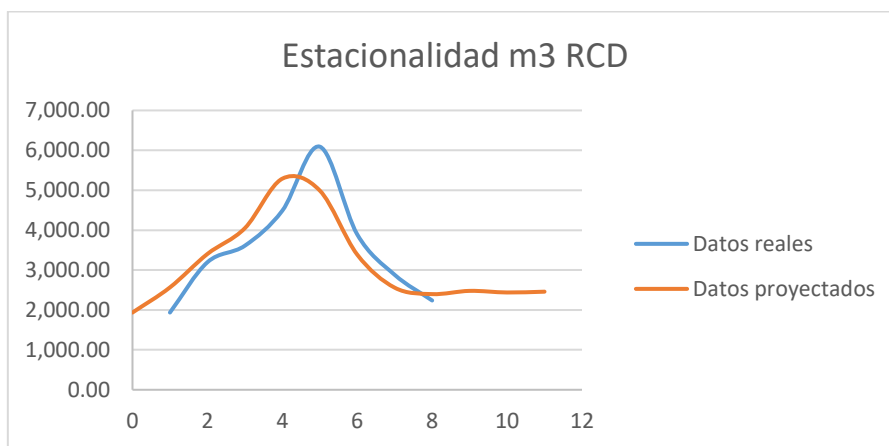
Tabla 22. Cantidad de RCD generados mensualmente y su estacionalidad.

Mes	f(t)	m3	Media Móvil	Error Pronóstico	
Enero	0	1,935,17	1,935,17	0,00	
Febrero	1	3,194,68	2,564,93	396,591,36	
Marzo	2	3,609,99	3,402,34	43,120,60	
Abril	3	4,487,75	4,048,87	192,615,65	
Mayo	4	6,092,17	5,289,96	643,540,88	
Junio	5	3,893,19	4,992,68	1,208,878,26	
Julio	6	2,879,69	3,386,44	256,795,56	
Agosto	7	2,236,51	2,558,10	103,420,13	
Septiembre	8	2,558,10	2,397,31	25,855,03	
Octubre	9	2,397,31	2,477,70	6,463,76	
Noviembre	10	2,477,70	2,437,50	1,615,94	
Diciembre	11	2,437,50	2,457,60	403,98	
				239,941,76	ECM
				489,84	RECM

Media	3,162,38	28,329,15	Hasta agosto histórico
Des vest	1090,232285	28,178,48	Hasta agosto proyectado
Min	2,397,31	37,948,59	Hasta diciembre proyectado
Max	5,289,96		

Fuente: Adaptado de [13].

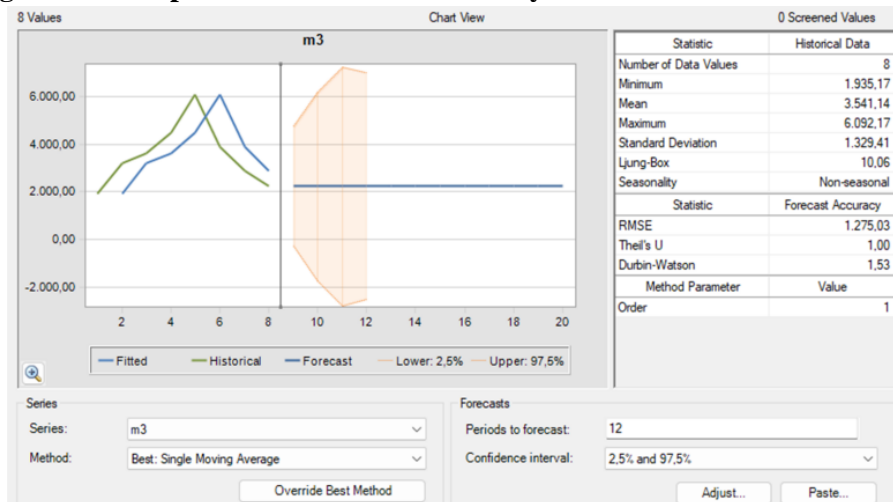
Figura 35. Estacionalidad de los RCD.



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la aleatorización con RANDOM NORMAL para los generadores también tuvo que ser planeada con antelación en el entorno de Excel, pues se requirió el máximo, mínimo y desviación estándar de los 120 meses no aleatorizados. Esto para incluir tanto la variabilidad “dentro de los años” como “entre los años”.

Figura 36. Comportamiento de RCD dentro y entre los años simulados.

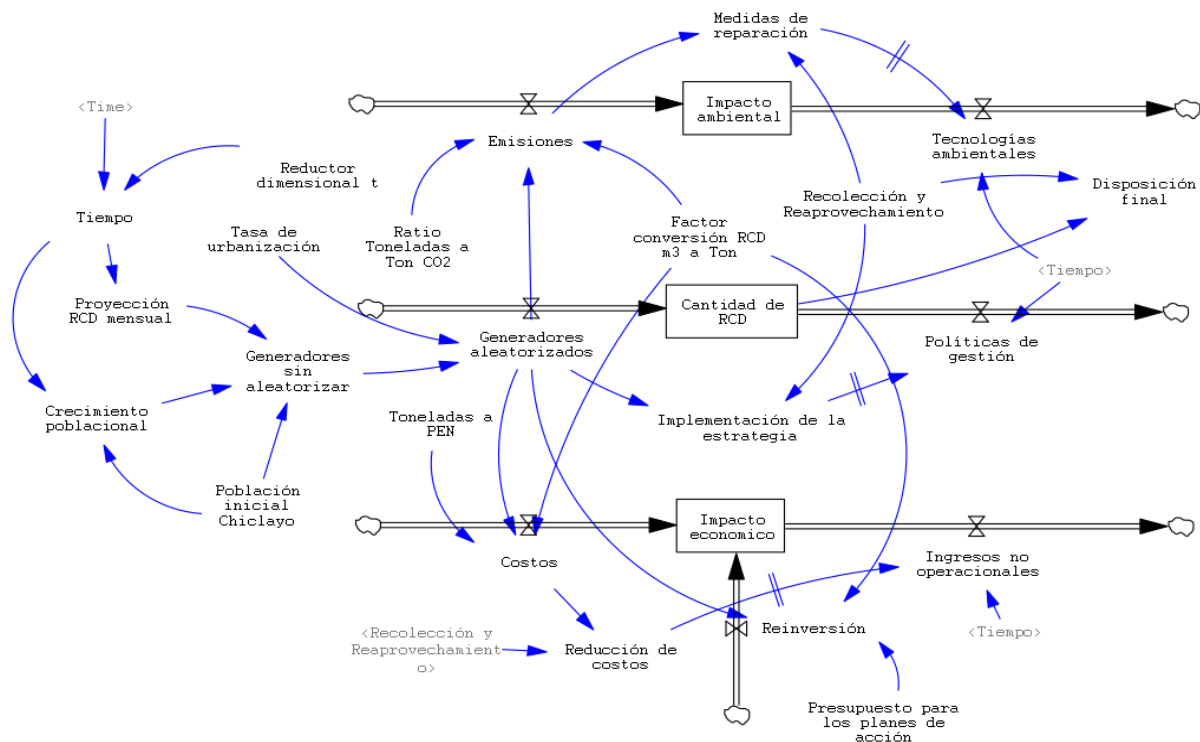


Fuente: Elaboración propia

5. Modelo dinámico de Sistemas para la gestión de los RCD en Chiclayo urbano.

En el modelo desarrollado en Vensim para la gestión de los RCD, en función a la cantidad, al impacto económico, ambiental y disposición final en total tiene 30 elementos distribuidos así: 2 lookups, 3 niveles, 7 flujos, 8 constantes, 6 auxiliares, 4 predeterminadas, según se presenta en la Figura 37.

Figura 37. Modelo dinámico para la gestión de RCD en el casco urbano de Chiclayo.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4: Matriz de antecedentes: investigaciones consideradas.

Tabla 23. Análisis de la información para modelo.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PARA MODELO AÑOS 2018-2024 CHICLAYO							
ITEM	NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	AUTOR(ES)	TIPO DE ESTUDIO	AÑO	OBJETIVO	CONCLUSIONES	COMENTARIO
1	Raaprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo	Chafloque Castro, Wilder Enrique	Tesis de Posgrado	2019	El objetivo principal de la investigación es proponer alternativas de reaprovechamiento de los residuos sólidos de construcción en el centro urbano del distrito de Chiclayo.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar un buen plan de gestión de manejo de los residuos de construcción y demolición depositados en espacios públicos se puede reaprovechar y disminuir la contaminación ambiental que esta genera. - La inexistencia de políticas en materia de gestión ambiental municipal de los residuos provenientes de las actividades de construcción y demolición en el casco urbano de Chiclayo son limitantes par el adecuado manejo de este tipo de residuos. - Se proyectó el volumen de generación de RCD de enero - agosto RCD no pétreos 1415,14 Tn, RCD pétreos 11458,23 Tn y RCD basuras y peligrosos 2855,24 Tn. 	Se consideran los RCD generados por 529 construcciones en el casco urbano de Chiclayo entre los meses de Enero a Agosto del 2018.
2	Diagnóstico, caracterización y diseño de la disposición final de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el distrito de Chiclayo	Burga Lopez, Luis Augusto	Tesis de grado	2022	- Objetivo General: diagnosticar y caracterizar los residuos de construcción y demolición (RCD) en el Distrito de Chiclayo	<ul style="list-style-type: none"> - El diagnóstico e identificación a la zona del Distrito de Chiclayo, previamente se delimitó toda el área de estudio, por lo que luego se realizó mediante constantes visitas a las zonas delimitadas, ubicando así treinta y cuatro (34) puntos críticos más representativos; favoreciendo así a realizar una data estadística con aquellos puntos críticos encontrados. - Con respecto a la cuantificación realizada para cada montículo encontrado en las diferentes zonas del Distrito de Chiclayo productos de las distintas actividades de construcción y demolición que se realizan, llegan a un total de 423,90 m³ de residuos sólidos. - En lo que respecta a la caracterización de cada residuo encontrado en espacios públicos no autorizados por alguna entidad ambiental o municipal, existen porcentajes representativos de los diferentes materiales como, por ejemplo: ladrillo y mortero contando con un 58% de residuos, adobe y concreto con un total de 7% de residuos y con lo que respecta a tierra producto de la actividad de movimientos de tierras es de un 19% de residuos y por ultimo residuos municipales (basura doméstica) con un 1% de residuos. - La proyección de los residuos de construcción y demolición se realizaron en un periodo de 10 años, por lo que nuestro volumen proyectado obtenido es de 121,075.67 m³; para poder albergar el volumen proyectado se necesitará un área de 2.02 hectáreas, donde se albergará todos los residuos encontrados en espacios públicos dentro del distrito de Chiclayo durante el periodo de diseño. 	Se consideran el crecimiento poblacional, se toma en cuenta la proyección de los RCD y la caracterización realizada (identificando los materiales presentes en los RCD en Chiclayo Urbano)
3	Propuesta de un sistema de gestión de los residuos de construcción y demolición de las edificaciones urbanas del distrito de La Victoria.	Knutzen Mestar, Luis Antonio	Tesis de grado	2023	- Objetivo: proponer el planteamiento de un sistema de gestión de los residuos que contribuya a que las empresas de construcción mejoren la disposición de los RCD para las edificaciones urbanas del Distrito de la Victoria.	<ul style="list-style-type: none"> - Durante el proceso de elaboración de la presente tesis se ha podido conocer la situación actual de los residuos de construcción y demolición que se ha encontrado en obra con diferentes visitas a campo y se observó que estos son ubicados en cualquier parte de la obra y eliminados en botaderos informales. - El plan de gestión de RCD debe ser formalizado por la municipalidad a través de un acuerdo municipal con la finalidad de contar con una norma legal que obligue al cumplimiento de la erradicación de los RCD en la edificación por parte de las empresas constructoras. - Con la creación del plan de gestión de RCD se pudo conocer que para lograr que sea un éxito se deben realizar charlas diarias a los trabajadores para que tomen conciencia y sepan realizar su caracterización antes de ser enviados a su disposición final. 	Con el diagnóstico actual de la ineficiente gestión se toma en cuenta las recomendaciones establecidas en el plan de gestión de los RCD en una realidad muy parecida a la de Chiclayo.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PARA MODELO AÑOS 2018-2024 CHICLAYO							
ITEM	NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	AUTOR(ES)	TIPO DE ESTUDIO	AÑO	OBJETIVO	CONCLUSIONES	COMENTARIO
4	Construction and demolition waste recycling in developing cities: management and cost analysis	Navarro Ferronato, Rocio Clara Fuentes Sirpa, Edith Gabriela Guisbert Lizarazu, Fabio Conti y Vincenzo Torretta	Artículo de Investigación	2022	Quantify the amount and flows of the CDW generated in a developing city. As a case study, La Paz, a representative Bolivian city, has been considered. In addition, the research would estimate the expenses required for managing the total amount of CDW	<ul style="list-style-type: none"> - By the analysis, it has been obtained that about 266.3 ± 29.9 kg m⁻² of CW are generated for sewage systems, of which 96.9% recyclable aggregates, 2.2% other waste, and 0.9% hazardous waste; about 338.2 ± 36.4 kg m⁻² of CW for fences, of which 99.6% recyclable aggregates, 0.3% others and 0.1% hazardous waste; about 244 ± 27.2 kg m⁻² of CW for paved areas, with about 97.5% of recyclable aggregates, 1.8% others, and 0.7% hazardous materials; and finally, the sewage system counts for about 367.8 ± 41.7 kg m⁻² of CW, with 96.3% aggregates, 2.63% others, and 1% hazardous. - The general MFA related to the CDW potentially generated in La Paz is reported in Fig. 4. According to the results, the municipality of La Paz can potentially generate approximately 310,234 ± 39,184 tCDW y⁻¹. On the other hand, the current CDW amount managed by the municipality of La Paz is approximately 127,511 ± 8,165 m³ of CW and 121,380 ± 17,838 m³ of DW, making a total of 248,892 ± 19,618 m³ of CDW generated per year. With an average density of 830.6 kg m⁻³ and giving it a variability of 20%, the estimated result can be about 206,730 ± 44,441 tCDW y⁻¹. It means that, compared with the results obtained by the present study, the CDW amount estimated by the local municipality are 67 ± 17% of the one estimated by the MFA. Therefore, local municipality is potentially underestimating the amount of CDW generated in La Paz. - By these results, the average fee that the generator should pay for CDW management can be estimated. In particular, considering the average construction and demolition WGR, and the average net cost per tonne of waste treated, the average fee per square meter can be found. By the study, it can be defined that about 7.4–36.6 USD m⁻² are required for managing CDW, which is about 0.6–4.3% of the current cost of an average flat in the center of La Paz (about 860–1300 USD m⁻²). Depending on the scenario, with the hypothesis that the expenses should be < 1% of the current costs, they can be considered affordable. 	Las emisiones de CO ₂ en el caso de la Paz, ciudad Bolivariana con población similar a la de Chiclayo e inadecuada o casi nula gestión de los RCD, las emisiones de CO ₂ están en el rango de 0,1 a 0,2 Tn por cada Tonalada de RCD generada. También, los costos asociados a una adecuada gestión.
5	Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development.	M. A. T. Alsheyab	Artículo de Investigación	2021	This report looks into the option of diverting the C&D waste from landfilling to recycling and its impact on offsetting greenhouse gases (GHG) emissions, alleviating the demand on primary raw materials and achieving sustainability.	<ul style="list-style-type: none"> - Results of the study showed that on-site recycling could save more than 92% of energy consumption and about an 86% saving in GHGs emissions. - However, the off-site scenario would save about 22% of energy consumption and 21% of GHGs emissions, significantly lower than the values obtained when recycling on-site and this is attributed to the need for transportation, which marks the difference between on-site and off-site savings. 	

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PARA MODELO AÑOS 2018-2024 CHICLAYO							
ITEM	NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	AUTOR(ES)	TIPO DE ESTUDIO	AÑO	OBJETIVO	CONCLUSIONES	COMENTARIO
6	Influencia de los residuos de construcción y demolición de edificaciones en la calidad de vida humana y ambiental en el distrito de Ferreñafe 2020.	Servigón Ruiz, Giancarlo	Tesis de grado	2021	Diagnosticar los puntos críticos en donde se encuentran los residuos de construcción y demolición de edificaciones inadecuadamente distribuidos en el distrito de Ferreñafe, para luego caracterizarlos y así determinar su clasificación, composición, volúmenes, pesos	<p>- Según la caracterización realizada, se ha encontrado en total 848.98 m³ en los 34 puntos críticos mencionados, predominando en mayor medida los residuos correspondientes al material granulado procedente de demoliciones/construcciones con 224.84 m³ (30.86 %) y el que menos se ha encontrado ha sido los de madera tratada con 0.04 m³ (0.002%). De los 848.98 m³ encontrados, 823.29 m³ le corresponden a los RCD no peligrosos y los 25.69 m³ restantes le corresponden a los peligrosos y a los otros residuos sólidos (1.89. m³ y 23.80 m³ respectivamente). Asimismo, en relación a los pesos, el componente que más peso presentó fue el concreto simple con 356.702 Tn; mientras que, las planchas de calaminas fueron las que obtuvieron el menor con 0.001 Tn.</p> <p>- En lo que corresponde a la calidad de vida humana de los pobladores, se ha podido determinar (según los datos estadísticos recopilados en los puntos críticos analizados) que las principales y más comunes enfermedades respiratorias, dermatológicas (piel) y oculares (ojos) que provocan daños en la salud de las personas a causa de la acumulación de los RCD en espacios no adecuados, son: dermatitis alérgica, alergias respiratorias (rinitis alérgica y asma) y conjuntivitis alérgica; afectando en mayor medida a los adultos y con menos incidencia en niños y adolescentes si se comparan todos los resultados.</p>	Diagnóstico de los RCD en una realidad parecida a la de Chiclayo e influencia de los RCD en la calidad de vida de la población.
7	Diagnóstico, caracterización y propuesta de diseño para la disposición final de los residuos de construcción y demolición en el distrito de Pimental, departamento de	Soto Elias, Luis Angel	Tesis de grado	2023	Diagnóstico y caracterización de los residuos de construcción y demolición y un diseño preliminar para la disposición final de éstos.	<p>- Se han encontrado componentes no peligrosos como el adobe, el concreto, el ladrillo, el mortero, el asfalto, el acero, la tierra de excavación, los restos cerámicos, vidrio, así como residuos peligrosos como la madera tratada, los tubos PVC y los techos de fibrocemento, así como distintos componentes de residuos sólidos.</p> <p>- Se ha determinado que el residuo del concreto y asfalto, resultó el elemento más representativo en las muestras tomadas en campo, alcanzando un valor de representatividad del 45.20%. Así mismo, el segundo residuo que ha tenido mayor representatividad dentro de la muestra de estudio, ha sido el ladrillo y el mortero, con un valor del 38.43%. Además, el tercer residuo más representatividad, ha sido el de restos cerámicos, que ha contado con una representatividad del 6.77%.</p>	Diagnóstico de los RCD en una realidad parecida a la de Chiclayo e influencia de los RCD en la calidad de vida de la población.
8	Plan de manejo ambiental para la ciudad de Chiclayo: Manejo de los residuos de construcción producidos en la ciudad de Chiclayo; su tratamiento, reciclaje y eliminación a través de una escombrera	Bezzolo Sokolich, José; D'Angelo Ramos, Giovanni	Tesis de Posgrado	2020	Formular un Plan de manejo ambiental para la ciudad de Chiclayo: manejo de los residuos de la construcción producidos en la ciudad de Chiclayo; su tratamiento, reciclaje y eliminación a través de una escombrera	<p>- El Perú cuenta con un decreto para el manejo de los residuos de la construcción dispuesto en el decreto supremo DS-019-2016-Vivienda, pero no es aplicado en la ciudad de Chiclayo, ejemplo de ello, es la poca nula información que existe en la ciudad para el manejo de los residuos de la construcción y demolición; las autoridades no aplican medidas para corregir este problema.</p> <p>- Es factible para la ciudad de Chiclayo un manejo de los residuos sólidos de la construcción si se implanta un programa de educación ambiental a los habitantes para que comprendan la importancia de ellos y los problemas que generan.</p> <p>- Un plan para el manejo de los residuos sólidos de la construcción nos permite conocer la situación real en la ciudad de Chiclayo en temas ambientales y concretar medidas para la minimización, prevención y mitigación de los residuos de la construcción.</p>	Diagnóstico de los RCD en una realidad parecida a la de Chiclayo e influencia de los RCD en la calidad de vida de la población. - Consideraciones para un Plan de la gestión de los RCD en Chiclayo.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PARA MODELO AÑOS 2018-2024 CHICLAYO							
ITEM	NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	AUTOR(ES)	TIPO DE ESTUDIO	AÑO	OBJETIVO	CONCLUSIONES	COMENTARIO
9	Dynamic Analysis of Construction and Demolition Waste Management System (A Case Study of Tehran, Iran)	Milad Ghanbari	Artículo de Investigación	2022	In general, this research seeks to present a solution for reducing C&D waste landfilling, as its environmental and economic implications are described in detail. This research examines the current situation in Iran and, more precisely, the city of Tehran.	In the system dynamics, the effects of time dynamics up to 2041, as well as population dynamics, GDP, housing demand, material demand, and land use of the city, were modeled and evaluated. The superiority of the recycling option and the use of combined aggregate in both approaches (LCA and SD) were confirmed. In the system dynamics approach, the adverse effects of choosing or not choosing this strategy on economic growth variables, construction rate, waste generation rate, waste landfilling rate, aggregate value-added, land use, and area of built houses, are completely illustrated. This means that the consequences of the continuation of the current situation from a systemic perspective to the 2041 horizon were evaluated for Tehran.	Se toma como referencia los porcentajes de reaprovechamiento de los RCD y el impacto de los mismo al ambiente mediante emisiones de CO ₂ en diferentes ciudades.
10	Gestión de residuos sólidos y la sostenibilidad ambiental en Lambayeque	Domingo Jorge Luis Davila Vidarte Nelson Enrique Huangal Castañeda Héctor Augusto Gamarra Uceda Roger Antonio Anaya Morales Wesley Amado Salazar Bravo	Artículo de Investigación	2024	Analizar la gestión de los residuos sólidos y la sostenibilidad ambiental en Lambayeque	<p>- La gestión de los residuos es un gran desafío para las autoridades y requiere también la participación activa de la comunidad. En el diálogo virtual: "Avances, desafíos y prioridades en la agenda ambiental y de gestión de riesgos de desastres en la región Lambayeque 2022- 2026".</p> <p>- Las estrategias para mejorar la gestión de los residuos sólidos y la sostenibilidad ambiental en Lambayeque. Es necesario un mayor financiamiento, capacitar al personal, realizar programas sostenibles de sensibilización y de cultura ambiental, apoyar la creación de un centro piloto municipal de acopio de residuos y un programa de formalización de recicladores</p>	Se toma como referencia la gestión de los residuos en el ámbito de Lambayeque.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5: Propuesta del plan para la gestión de los RCD.

I. Introducción

El actual plan de gestión de los RCD se direcciona en minimizar el impacto ambiental y el mejoramiento de la sostenibilidad urbana, tomando en consideración la política relacionada a la normativa del manejo óptimo de la generación de RCD en distintas obras constructivas, como también las estrategias de la identificación de los mismos hasta su disposición final y el máximo reaprovechamiento de los RCD a lograr mediante una cultura de concientización por parte de los encargados de las diferentes obras civiles establecidas por la Municipalidad en el casco urbano de Chiclayo.

Además, el actual estudio pretende proponer intervenciones de prácticas sostenibles posteriormente a cada resultado obtenido en el análisis y simulación de los RCD, las cuales están direccionadas en generar un ambiente adecuado y un estilo de vida agradable para los pobladores expuestos o aledaños a las diferentes obras dadas en el casco urbano de Chiclayo. Por ello, el estudio tiene como finalidad dar conocimiento de las normativas encargadas del manejo integral de los RCD, las estrategias de abordaje apropiado sobre la información de la cantidad de RCD generados y del reaprovechamiento más próximo de estos, con el propósito de reducir el problema y justificar la ejecución del plan.

II. Alcance

El plan es aplicable a todo tipo de actividad, servicio y proceso que ejecute una entidad ligada al sector de construcción, así mismo, el plan abarca cada responsabilidad y función que debe realizarse y cumplirse de forma obligatoria en cuestión al medio ambiente, por parte de los servidores públicos y los transportistas de los RCD, entidades constructoras, dueños de edificaciones a construir y ciudadanos con pertenencia al casco urbano de Chiclayo.

III. Objetivos

- Promover las políticas para el manejo de los RCD generados en obras.
- Promover la correcta gestión de los RCD generados en obras.
- Promover el reaprovechamiento de RCD para minimizar los impactos ambientales.

IV. Estructura

A. Políticas para el manejo de los RCD generados en obras.

Se tendrá en cuenta a la normativa destinada al manejo de los RCD de forma oportuna y precisa, a fin de reducir los impactos al ambiente y mejorar la sostenibilidad urbana.

○ Reglamento de Gestión y Manejo de RCD.

El DS. 002-2022-Vivienda; forma parte del reglamento mencionado y consiste en la disposición de regular la gestión y manipulación de los RCD, por medio de una reducción y valoración de estos [41].

En consecuencia, como parte del DS. 002-2022-Vivienda, en la Figura 39, se puede contemplar las autoridades competentes encargadas de la manipulación y gestión óptima de los RCD originados por las diferentes obras civiles.

Figura 39. Autoridades encargadas del manejo de los RCD

Autoridad sectorial / Gobierno Regional	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa y fiscaliza la gestión de RCD generado en proyectos de inversión de su competencia.
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)	<ul style="list-style-type: none"> • Regula la gestión y manejo de RCD. • Evalúa y fiscaliza la gestión y manejo de RCD de los proyectos de inversión de saneamiento y vivienda (SELA)
Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC)	<ul style="list-style-type: none"> • Autoridad competente en materia de transporte de residuos sólidos peligrosos. • Evalúa y fiscaliza los proyectos de inversión de transportes y comunicaciones.
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscaliza infraestructuras de los RCD. • Áreas degradadas de los RCD. • Gestión de los RCD de proyectos de sectores transferidas. • Supervisa que la EFA fiscalice la gestión de RCD.
Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa las infraestructuras de los RCD. • Evalúa los proyectos de recuperación o reconversión de las áreas degradadas por los RCD. • Evalúa de gestión de los RCD de los proyectos de los sectores transferidos.
Otras Entidades	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalizan el abandono de los RCD en las áreas, bajo su protección o regulación.

Fuente: Adaptado de MVCS (2023) [58]

- **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.**

El DL. 1278; tiene como propósito el establecimiento de cada derecho, obligación, atribución y responsabilidad por parte de una sociedad, a fin de maximizar la eficiencia en la empleabilidad y aseguramiento de la gestión de residuos de manera óptima y sujeta a la normativa señalada [59].

- **Decreto de urgencia para el fortalecimiento de la identificación y gestión de pasivos ambientales.**

El DU 022-2020; se orienta en el fortalecimiento de las atenciones de cada pasivo ambiental establecido en ámbitos continentales y zócalos marinos de territorios nacionales, ocasionados de cada actividad productiva, extractiva o de servicio, llegando a excluir tareas de subsectores de minerías e hidrocarburos [60].

- **Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos.**

El DS. 014-2017-MINAM; se basa en el aseguramiento de maximizar de manera constante la eficiencia en la empleabilidad de materiales y una regulación de gestión de residuos en la fuente, valorización material y energética, para la correcta disposición final de estos y el sostenimiento de cada servicio de limpiezas públicas [61].

- **Reglamento Nacional de Edificaciones: Seguridad durante la construcción.**

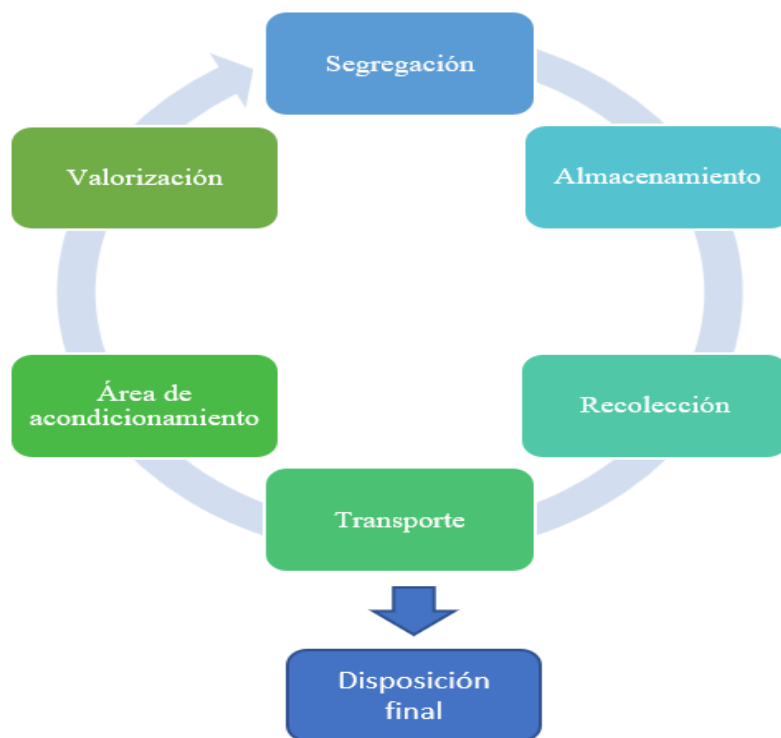
El G. 050; se basa en cada consideración mínima indispensable de seguridad, teniendo en consideración las actividades de construcciones civiles, como también en labores de montaje y desmontaje, llegando a incluir los procesos de demolición y de remodelación o refacción de cada proyecto desde su operatividad hasta su conclusión [62].

B. Gestión de los RCD generados en las obras.

Se especifica de forma detallada la secuencia o ciclo de manejo de los RCD para la correcta gestión, así mismo, se muestran los procedimientos estratégicos de reducción y disposición final de los RCD y por lo último, tres tipos de formato que faciliten el control y seguimiento de RCD.

- **Ciclo del manejo de los RCD**

Figura 40. Procedimiento para el manejo de los RCD



Fuente: Elaboración propia

Segregación: Es el proceso de separación de RCD generados en las obras civiles.

Almacenamiento: Es una actividad que llega a desarrollarse en la municipalidad.

Recolección: Se realiza en función a un sistema estipulado por la municipalidad.

Transporte: Actividad que puede estar a cargo por parte de la municipalidad u otras entidades.

Área de acondicionamiento: Es empleada para la operación de segregar, almacenar, limpiar, triturar o moler, compactación física, empaclado yo/o embalado, entre otros.

Valorización: Se orienta en un programa o convenio con cada organización de reciclaje formalizada, como también con aquellas encargadas de recolectar de forma selectiva y transportar los RCD de las diferentes obras.

Disposición final: Son aquellas caídas que llegan a darse en cada botadero o escombrera.

- **Proceso estratégico de disminución del impacto ambiental**

Posteriormente, a la caracterización de los RCD, se puede contemplar un proceso de estrategias para disminuir los RCD según se visualizan en la Tabla 12, a fin de mitigar el impacto ambiental.

○ **Proceso estratégico de la disposición final de los RCD**

Ante la determinación de los RCD y su manejo incorrecto, se especificó el proceso de estrategias de disposición final de RCD (ver Tabla 13), lo cual, es de total esencialidad la participación de todos operarios partícipes de las diferentes obras, con el propósito de que contribuyan a un control y reaprovechamiento de los residuos, para garantizar un orden y mitigación del impacto ambiental.

○ **Formatos para el manejo, control y seguimiento de los RCD**

Para un manejo, control y seguimiento oportuno y preciso de RCD se elaboraron 3 formatos esenciales, los cuales serán manejados por los encargados de las obras y de los que lleguen a realizar el plan acción establecido en mejora de sostenibilidad urbana y del impacto ambiental.

Figura 41. Formato de datos generales e identificación de los RCD.

	DATOS GENERALES E IDENTIFICACIÓN DE LOS RCD	Nº FORMATO	
		FECHA	
Nombre del proyecto, obra o actividad			
Correo electrónico del encargado de la obra			
Dirección de las obra en desarrollo			
RESIDUOS OBJETO DEL PLAN DE MANEJO			
Clasiificación de los RCD		Cantidad -Toneladas (Ton)	
Material de excavación (material para relleno)			
Residuos de concreto (bases hidráulicas, concretos hidráulico, adocretos, adopastos, bordillos, postes de cemento.arena, morteros, carpetas asfálticas)			
Elementos mezclados prefabricados y pétreo (piedra, block-tabique,mortero, adoquines, tabicones,tubos de albañal, mamposterías, tabiques, ladrillos)			
Otros (yeso, muro falso, madera, cerámica, plástico, metales, lámina, vidrios, papel y cartón)			
Total (toneladas)			
Periodo de generación (mensual/día)			
Promedio (Tonelas/mensual) o (tonelada/día)			
_____		_____	
Firma de encargado de obra		Firma de encargado de recolectar nformación	

Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Formato control de los RCD (en obra).

		CONTROL DE LOS RCD (EN OBRA)			Nº FORMATO	
					FECHA	
Residuo Generado	Tipo de Manejo en Obra		Tipo de Manejo Fuera de Obra			
	Reuso (Ru) (Ton)	Reciclado en Obra (Rco) (Ton)	Reciclado fuera de la Obra (Rco) (Ton)	Nombre del sitio de reciclaje y Nº de registro o autorización	Disposición final (D) (Ton)	Nombre del sitio de disposición y Nº de registro o autorización
	TOTAL					
ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE LOS RCD						
Clasificación de los RCD			Residuos generado	Forma de almacenado en obra	Cantidad (Ton)	Tiempo promedio (días)
Material de excavación (material para relleno)						
Residuos de concreto (bases hidráulicas, concretos hidráulico, adocretos, adopastos, bordillos, postes de cemento.arena, morteros, carpetas asfálticas)						
Elementos mezclados prefabricados y pétreo (piedra, block-tabique,mortero, adoquines, tabicones,tubos de						
Otros (yeso, muro falso, madera, cerámica, plástico, metales, lámina, vidrios, papel y cartón)						
<hr/> Nombre y Firma de encargado de ejecutar el plan de gestión de los RCD						

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el formato de la Figura 41, servirá para la identificación de los RCD que se vayan generando en los proyectos de nuevas construcciones o remodelación o ampliación de estas. Asimismo, el formato de la

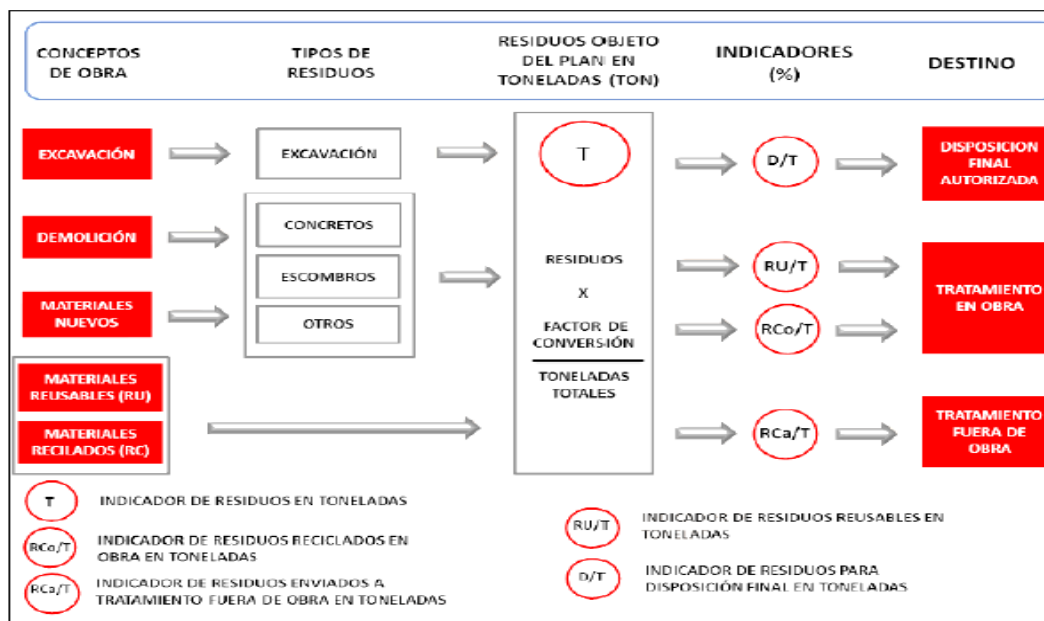
Figura 42 se empleará para el control específico de los RCD dentro y fuera de obra. Por lo cual, ambos formatos estarán cargo del responsable de ejecutar el plan de gestión de RCD.

Figura 43. Formato del cumplimiento de los indicadores de manejo

		CUMPLIMIENTO DE LOS INDICADORES DE MANEJO				Nº FORMATO	SUB TOTAL (TON) O (%)
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	FECHA	
PERIODO / MENSUA, QUINCENAL, SEMANAL						Mayo	
Residuos generados (T)	Volumen programado (Ton)						
	% de avance acumulado						
	Volumen real (ton)						
	% de avance acumulado						
Residuos reusados (RU)	Volumen programado (Ton)						
	% de avance acumulado						
	Volumen real (ton)						
	% de avance acumulado						
Residuos reciclado en obra (Rco)	Volumen programado (Ton)						
	% de avance acumulado						
	Volumen real (ton)						
	% de avance acumulado						
Residuos reciclado fuera de obra (Rca)	Volumen programado (Ton)						
	% de avance acumulado						
	Volumen real (ton)						
	% de avance acumulado						
Residuos para disposición final (D)	Volumen programado (Ton)						
	% de avance acumulado						
	Volumen real (ton)						
	% de avance acumulado						
VOLUMEN TOTAL (Ton)							
% TOTAL ACUMULADO							
Nombre y Firma de encargado de ejecutar el plan de gestión de los RCD							

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Secuencia para el seguimiento de los RCD



Fuente: Basado CMIC (2022) [63].

La Figura 44 servirá para el cálculo de del seguimiento y monitoreo de los RCD, según el formato de la Figura 43, a fin de optimizar la gestión de RCD.

○ **Capacitaciones**

Se crearán programas orientadas a una concientización de los trabajadores y encargados de las obras civiles, pues favorecen en educar y sensibilizar las buenas prácticas de separación de los RCD. Además, se llevarán a cabo capacitaciones para el óptimo uso de los RCD y aprovechamiento mayoritario de cada recurso para un proceso de selección preciso.

○ **Controles para la gestión**

Como medida de control frente a las futuras cantidades de RCD que se generen dentro de las obras de construcción, el organismo facultado para otorgar las licencias de construcción en el casco urbano de Chiclayo debe asegurar que todo el personal que dirija las actividades de construcción hayan recibido las capacitaciones referentes a la adecuada gestión de los RCD, así mismo, las licencias deben ser emitidas cuando los solicitantes presenten el plan de capacitación interno respecto a una correcta gestión de RCD dentro de obra, esto implica el total conocimiento de lo que es la segregación de los RCD desde la misma.

C. Reaprovechamiento de los RCD para minimizar los impactos ambientales.

Para una mejora de cada condición actual y puesta la mirada en una ciudad sostenible y la minimización de los impactos ambientales, se ha considerado evaluar los diferentes

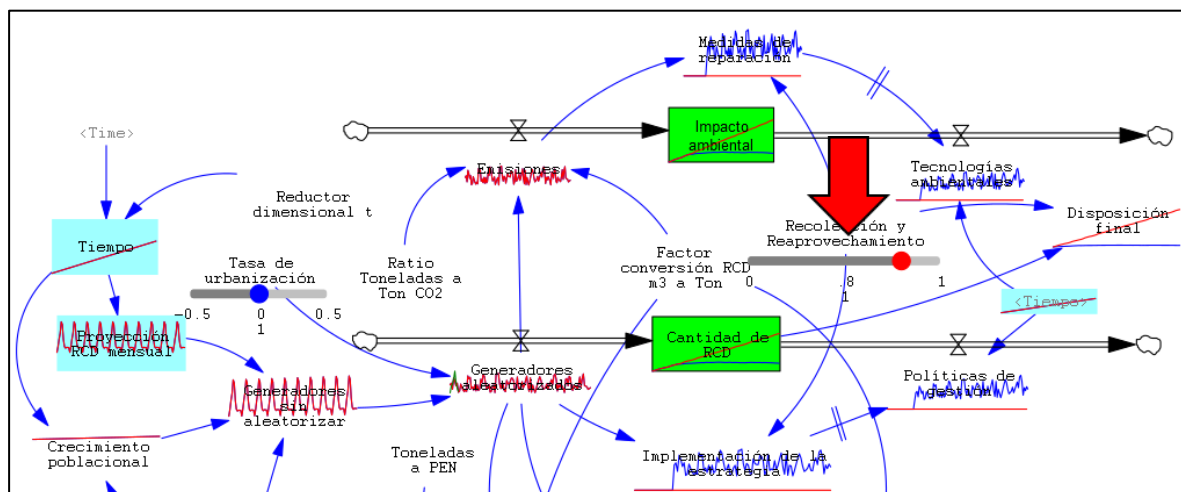
escenarios en función al porcentaje de reaprovechamiento de RCD generados en el casco urbano de Chiclayo.

Asimismo, es preciso señalar que los planes que se puedan aplicar a la gestión de los RCD no tendrán éxito si no existe un monitoreo y evaluación constante, lo que involucra al personal de gerenciamiento y técnico de las entidades encargadas de velar por un ambiente justo y equilibrado, con el propósito de dar a cada poblador una óptima calidad de vida, evitando múltiples enfermedades latentes que se suscitan por la inadecuada gestión de los residuos en general en el casco urbano en Chiclayo.

Escenarios

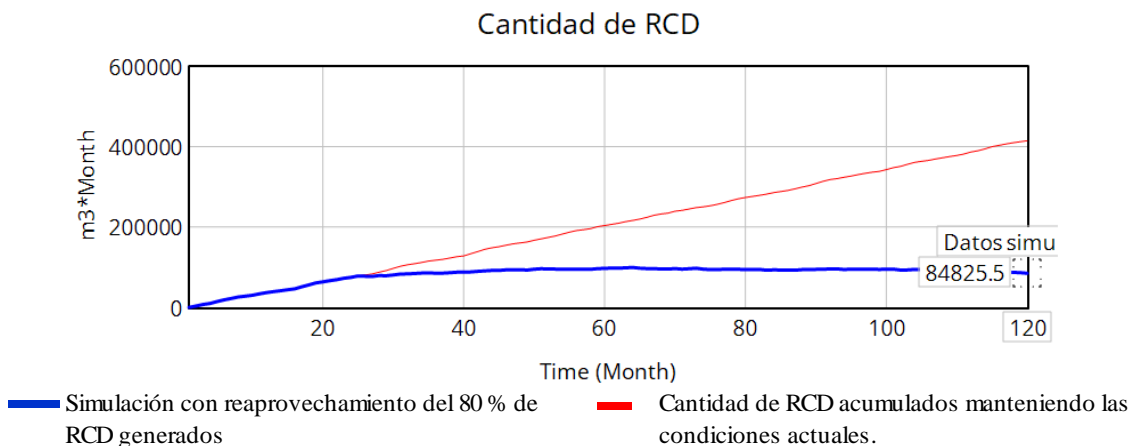
1. El primer escenario simulado como propuesta en el plan es el de 65% de reaprovechamiento de los RCD, tal como se ha especificado de la fase de medidas de acción de la propuesta del plan (ver Figura 11).
2. El segundo escenario simulado corresponde a un reaprovechamiento del 80% de los RCD, tal cual se muestra a continuación en la Figura 45.

Figura 45. Constante de reaprovechamiento al 80% de RCD



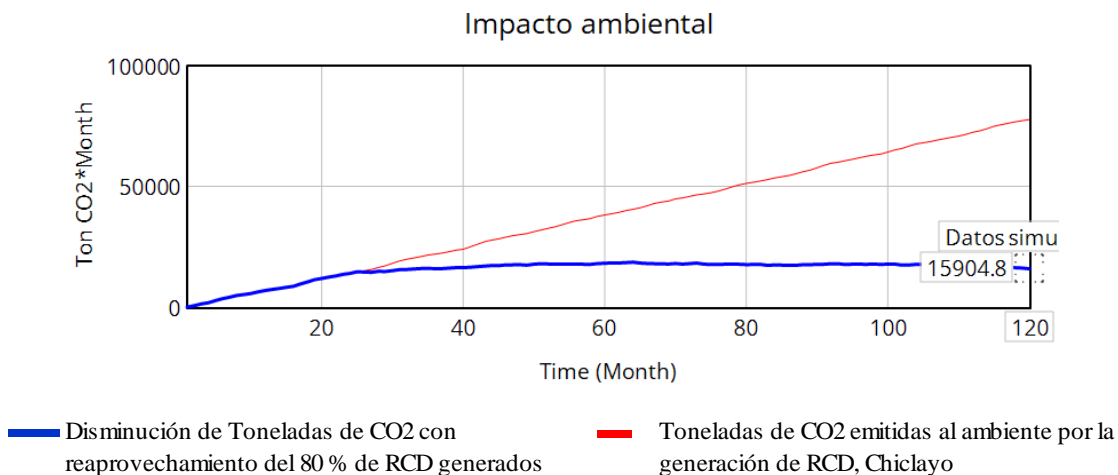
Fuente: Elaboración propia

El sistema dinámico simulado en su virtud permite que se modele un reaprovechamiento al 80% manteniendo la tasa actual de urbanización. La Figura 46, presenta la variación de la acumulación de los RCD con y sin reaprovechamiento, para este caso se tiene que en el tiempo simulado se acumulan 84 825.5 m³ de RCD generados en función a la data histórica.

Figura 46. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses con reaprovechamiento al 80%.

Fuente: Elaboración propia

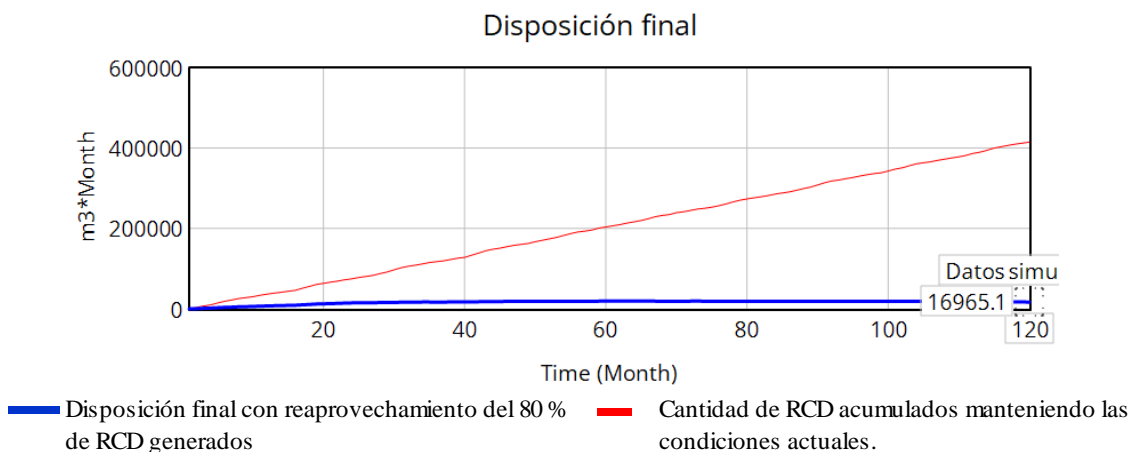
Respecto a la cantidad de toneladas de CO₂ emitidas, estas se reducen a 15 904.8 Tn de CO₂, según se contempla en la Figura 47.

Figura 47. Toneladas de CO₂ emitidas con reaprovechamiento al 80% de RCD.

Fuente: Elaboración propia

La disposición final está asociada directamente al reaprovechamiento de los RCD, por lo que, a mayor sea el porcentaje de reaprovechamiento, menor serán los RCD que llegan a la disposición final. La Figura 48 indica una disposición de 16 965.1 m³ de RCD generados en el tiempo simulado.

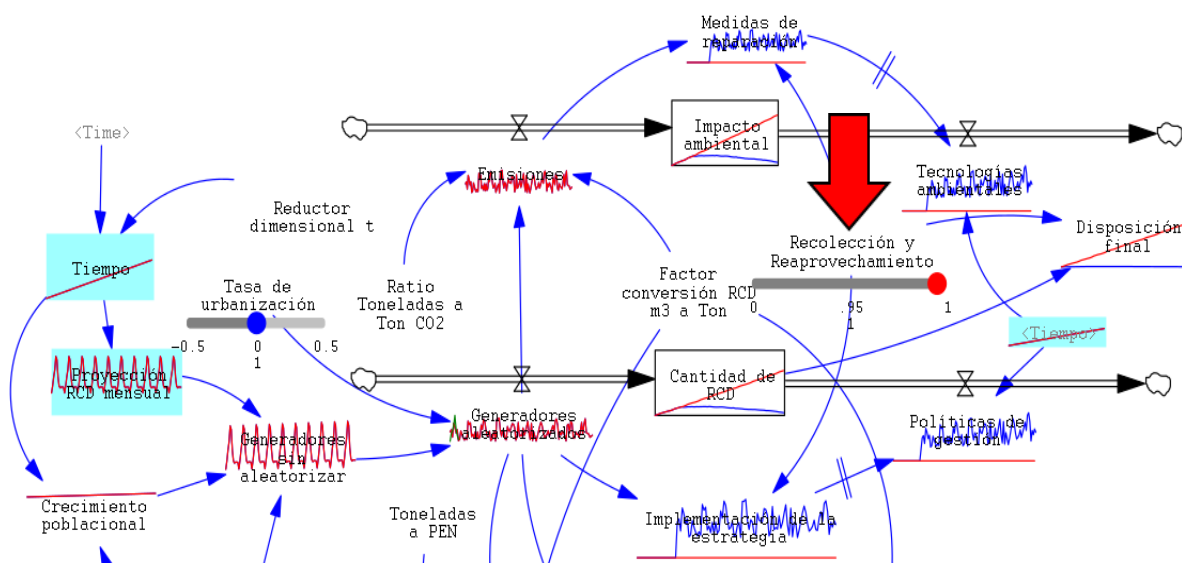
Figura 48. Volumen de RCD dispuesto con reaprovechamiento al 80%.



Fuente: Elaboración propia

- El tercer escenario simulado corresponde a un reaprovechamiento del 95 % de los RCD, tal cual se percibe en la Figura 49.

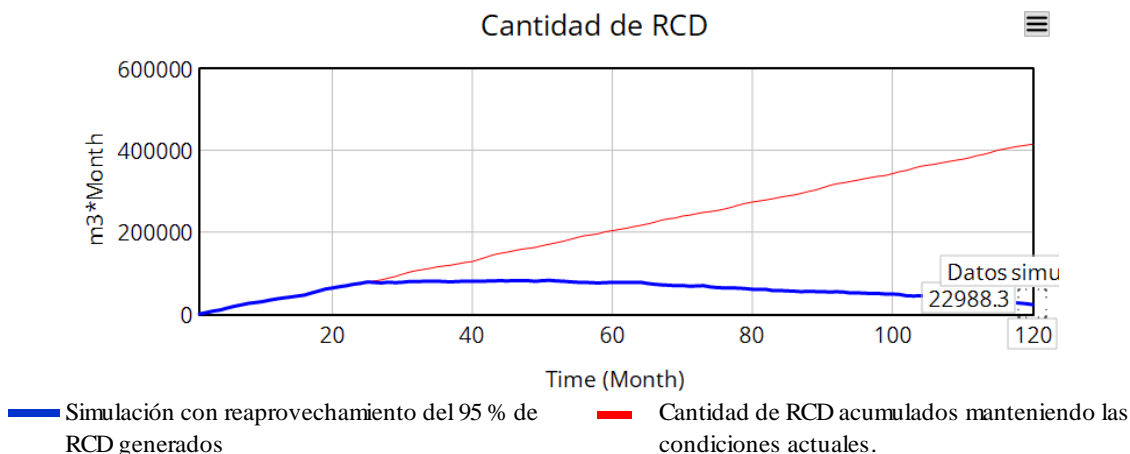
Figura 49. Constante de reaprovechamiento al 95% de RCD



Fuente: Elaboración propia

Con un reaprovechamiento del 95 % los RCD generados en el tiempo simulado, es menor al acumulado de la data histórica; siendo un volumen de 22 988.3 m3 de RCD. Esto evidencia que mientras mayor reaprovechamiento se tenga, el impacto al ambiente será menor, según la Figura 50.

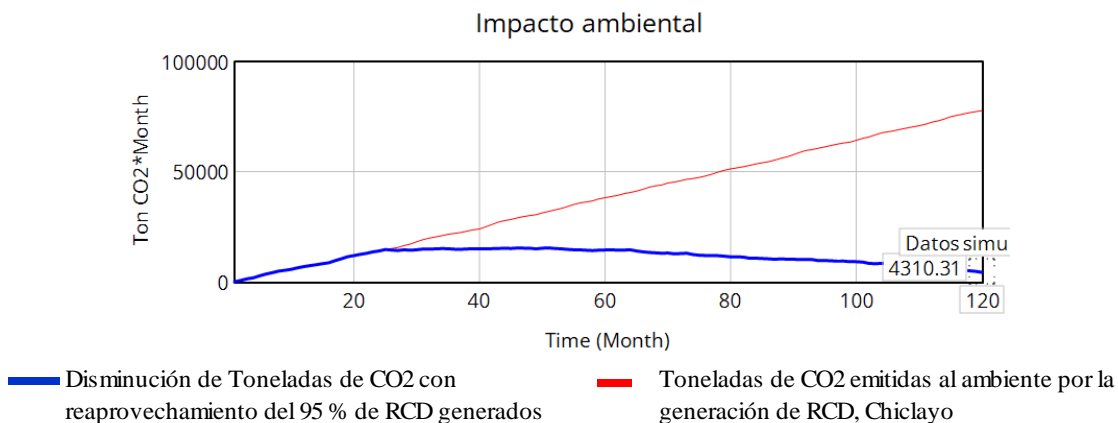
Figura 50. Cantidad de RCD acumulados en 120 meses con reaprovechamiento al 95%.



Fuente: Elaboración propia

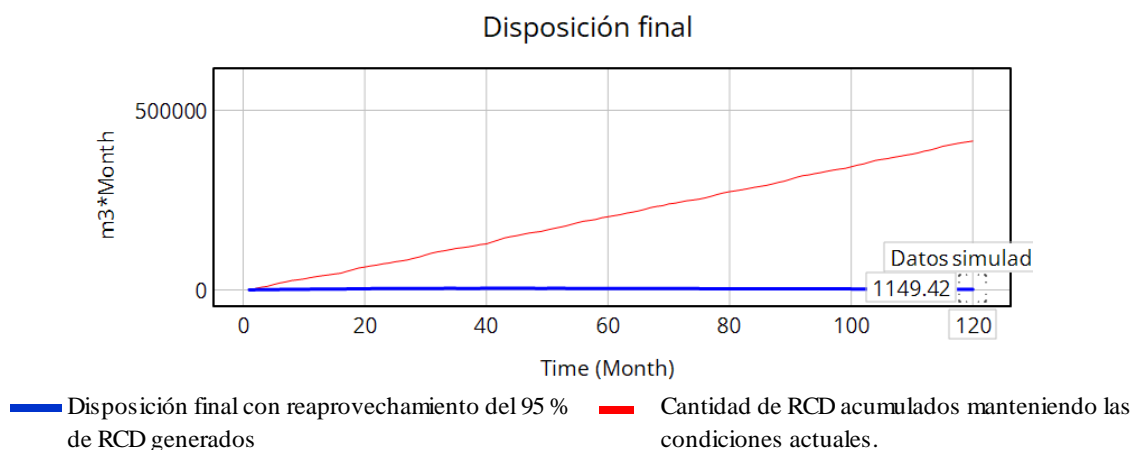
Llegar a un reaprovechamiento del 95% sería de bastante beneficio tanto para el ambiente como para favorecer en cada condición de vida de los pobladores, pues el sistema dinámico evidencia que, en el tiempo simulado, los RCD estarían aportando con 4 310.31 Tn de CO2 emitidas al ambiente; esto en contraste con las condiciones actuales tendría un alto impacto positivo en el ambiente. Ver Figura 51.

Figura 51. Toneladas de CO2 emitidas con reaprovechamiento al 95% de RCD.

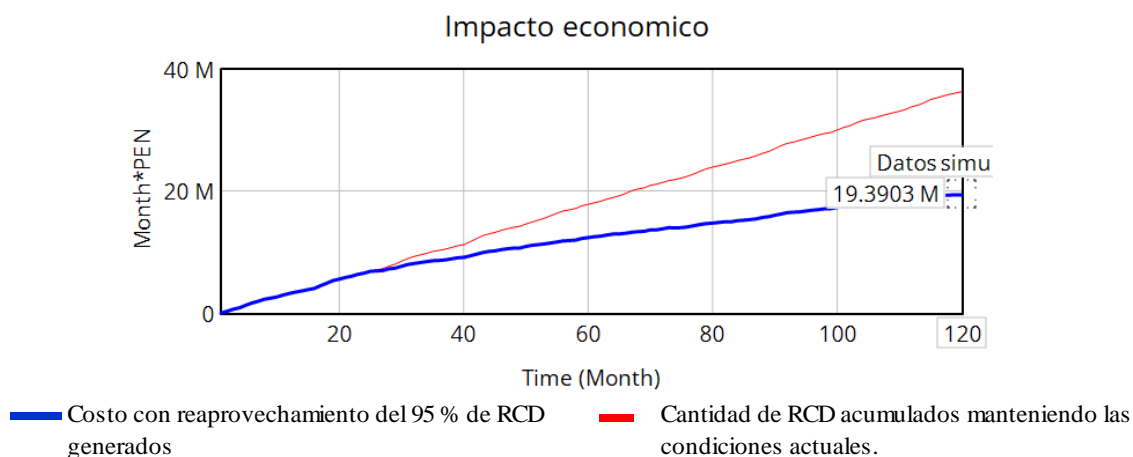


Fuente: Elaboración propia

El volumen de RCD generado en el casco urbano que llega a disponerse es de un total de 1 149.42 m3, con un reaprovechamiento del 95% tal como se percibe en la Figura 52. Asimismo, reaprovechar más RCD significa que las políticas de gestión de la construcción en general son más rigurosas y los costos van en ascenso hasta encontrar un equilibrio (ver Figura 53); es decir, que a la larga los costos asociados con cierta ejecución de políticas de gestión de los RCD resultan más baratos y sobre todo reducen el impacto negativo al ambiente.

Figura 52. Volumen de RCD dispuesto con reaprovechamiento al 95%.

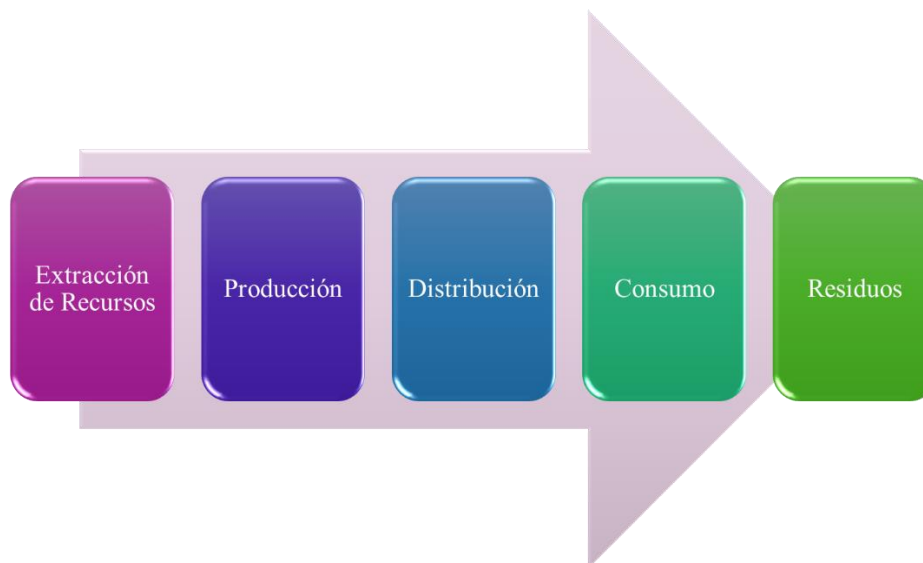
Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Costos con reaprovechamiento al 95%.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 53, los costos por la gestión correcta de RCD en el tiempo simulado son menores al costo de la situación actual; así mismo, la gráfica evidencia que al paso del tiempo los costos se equilibran.

En particular, dentro de la propuesta para la implementación de un plan se han establecido las herramientas necesarias para llegar a ejecutarse y sobre todo para conservar un sistema de monitoreo y evaluación de forma constante, con el propósito de alcanzar los resultados esperados en función a la gestión de los RCD, para de esta manera pasar de una economía Lineal como se presenta en la Figura 54 a una economía circular como se presenta en la Figura 55.

Figura 54. Economía Lineal.

Fuente: Adaptado de [64].

La economía lineal en la construcción se orienta en la adquisición del recurso natural (materiales pétreos), para luego producir en los diferentes componentes que conforman una construcción, así mismo estos son distribuidos, consumidos y finalmente después de un tiempo terminan como residuos. Por el contrario, la economía circular optimiza los recursos y aprovecha al máximo los RCD, para transfórmalos y contribuir con construcciones sostenibles, tal cual se percibe en la Figura 55.

Figura 55. Economía Circular.

Fuente: Adaptado de [64].