



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Diseño Industrial y Desarrollo de
Productos

Sistema de contenedores de residuos urbanos modulares y sostenibles para mejorar la gestión de desechos

Trabajo fin de estudio presentado por:	Cruz Carrasco, Gisela Fernández, María Jimena Priego Poyato, Salvador Rejado Viquendi, Iñaki
Tipo de trabajo:	Red Projectum
Director/a:	María Mateo Pardo
Fecha:	10 de septiembre de 2025

Resumen

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo diseñar y validar un sistema modular de contenedores semisoterrados para la recogida selectiva de residuos urbanos, incorporando criterios de sostenibilidad, accesibilidad, eficiencia operativa y adaptación al entorno urbano. En primer lugar, se ha realizado una investigación del estado del arte de la problemática, incluyendo, entre otros, un análisis de los sistemas en uso en la actualidad y una evaluación de materiales sostenibles viables como bioplásticos, caucho reciclado o áridos reutilizados. Nuestra propuesta incorpora un diseño estructural modular que incluye cinco fracciones diferenciadas, un bastidor común con sistema de elevación hidráulico y un módulo opcional de microalgas para el secuestro de gases producidos en los procesos de descomposición. Siguiendo la metodología *Design Thinking*, se incorporan una serie de modelos CAD 3D, un análisis funcional y un cálculo estimativo del retorno de la inversión (ROI). Como resultado, se ha obtenido una propuesta técnicamente viable, de fácil mantenimiento, escalable y adaptable a distintas configuraciones urbanas. La implementación de este sistema podría no solo mejorar el servicio de recogida, sino también otorgar valor ambiental y educativo al espacio público, sirviendo de infraestructura multifuncional.

Palabras clave: gestión de residuos, diseño urbano, contenedores semisoterrados, sostenibilidad, modularidad, microalgas.

Abstract

The present Master's Thesis aims to design and validate a modular system of semi-underground containers meant for selective urban waste collection, attending requirements of sustainability, accessibility, operational efficiency, and urban environment adaptability. Firstly, a state-of-the-art investigation on this matter has been carried out, including, among others, an analysis of the systems that are currently in use and an evaluation of viable sustainable materials such as bioplastics, recycled rubber, and reused aggregates. Our proposal includes a modular design consisting of five distinct fractions, a load frame with a hydraulic lifting system, and an optional module for microalgae harvesting focused on sequestering gases produced during decomposition processes. Following the Design Thinking methodology, a series of 3D CAD models, a functional analysis, and an estimated return on investment (ROI) calculation have been included. As a result, a technically viable proposal has been developed, easy to maintain, scalable, and adaptable to different urban configurations. The implementation of this system could not only improve waste collection services but also add environmental and educational value to public spaces, serving as a multifunctional infrastructure.

Keywords: waste management, urban design, semi-underground containers, sustainability, modularity, microalgae.

Índice de contenidos

1. Introducción	3
1.1. Justificación.....	5
1.2. Planteamiento del problema y finalidad	6
1.3. Objetivos del TFE.....	7
1.3.1. Objetivo principal (OP).....	7
1.3.2. Objetivos secundarios (OS)	7
2. Marco teórico	8
2.1. Introducción al marco teórico	8
2.2. Introducción al marco teórico	9
2.2.1. Contenedores en superficie	10
2.2.2. Contenedores semisoterrados	11
2.3. Implementación de sistemas de gestión inteligente en la administración de residuos urbanos.....	14
2.4. Modularidad en el diseño de contenedores de residuos.....	17
2.4.1. Punto limpio de proximidad Sanimobel	18
2.4.2. Contenedores modulares semisoterrados Molok Domino	19
2.4.3. Punto limpio de proximidad I-Recycle de Drago.....	20
2.5. Objetivo general de la propuesta.....	21
2.5.1. Innovación en el uso de materiales para la fabricación de contenedores de residuos urbanos	21
2.5.2. Innovación en el uso de materiales sostenibles para diferente mobiliario urbano	24

2.5.3.	Integración de espacios verdes en el mobiliario urbano.....	26
2.6.	El diseño industrial como instrumento para fomentar la participación ciudadana	28
2.7.	Conclusiones del marco teórico.....	30
2.7.1.	Carencias en diseño e incentivo a la participación ciudadana	30
2.7.2.	Carencias en el uso de materiales.....	31
3.	Diseño y desarrollo de la propuesta.....	32
3.1.	Objetivo general de la propuesta.....	33
3.2.	Objetivos específicos de la propuesta.....	34
3.3.	Público objetivo.....	36
3.3.1.	Administración pública	37
3.3.2.	Empresas destinadas a la gestión de residuos.....	38
3.3.3.	Ciudadanía.....	39
3.3.4.	Análisis de necesidades	40
3.3.5.	Análisis de mercado. <i>Benchmarking</i>	42
3.4.	Metodología del trabajo.....	46
3.4.1.	Mapa mental y primera exploración de ideas	48
3.4.2.	Realización de bocetos de exploración	50
3.4.3.	Matriz multicriterio para la evaluación de las propuestas indicadas.....	60
3.4.4.	Bocetos descriptivos.....	64
3.4.5.	Proceso de modelado 3D	67
3.4.6.	Ilustraciones técnicas.....	83
3.4.7.	Renderizados	97
3.5.	Temporalización.....	100

3.6.	Tareas	102
3.7.	ROI	104
3.7.1.	Costes asociados a los componentes principales del sistema	105
3.7.2.	Costes asociados a la instalación del producto.....	111
3.7.3.	Costes asociados a la promoción del producto	112
3.7.4.	Informe agregado de costos	114
3.7.5.	Cálculo del ROI.....	115
3.7.6.	Análisis de riesgos.....	118
3.7.7.	Conclusiones del estudio económico	119
4.	Resultados	120
4.1.	Selección de materiales.....	120
4.2.	Evaluación funcional del diseño presentado	122
5.	Discusión y conclusiones.....	125
5.1.	Conclusiones	125
5.2.	Consecución de los objetivos planteados	128
5.3.	Discusión.....	130
6.	Limitaciones y prospectiva.....	132
	Referencias bibliográficas	135
Anexo A.	Resumen extendido del TFE en formato artículo	141
Anexo B.	Benchmarking	145
Anexo C.	Bocetos descartados tras la etapa de exploración	155

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de contenedores.....	13
Figura 2. Diferentes sistemas inteligentes de recogida de basura.	16
Figura 3. Esquema de la estructura un sistema modular de contenedores semisoterrados de residuos.....	17
Figura 4. Punto limpio de proximidad Sanimobel y esquema de su compartimentación interna.	18
Figura 5. Contenedores modulares semisoterrados Molok Domino y esquema de su estructura.....	19
Figura 6. Punto limpio de proximidad I-Recycle de Drago: módulo individual y ejemplo de construcción de punto limpio.	20
Figura 7. Esquema del mecanismo y componentes de un fotobiorreactor.	27
Figura 8. Ejemplo de perfil de usuario: Laura Torres, representante de la administración local en gestión de residuos.....	37
Figura 9. Ejemplo de perfil de usuario: Miguel Herrera, profesional con más de 15 años de experiencia en la gestión de residuos urbanos.....	38
Figura 10. Ejemplo de perfil de usuario: Carmen Ríos, ciudadana activa que valora la accesibilidad y la integración estética de los sistemas de residuos.....	39
Figura 11. Mapa mental de conceptos.....	49
Figura 12. Esquema del funcionamiento del módulo compostador acoplado a la fracción Resto.....	51
Figura 13. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un macetero incorporado en la parte superior.	52
Figura 14. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con geometría hexagonal con pantallas individuales.....	53

Figura 15. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con geometría hexagonal y pantalla central.	54
Figura 16. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un sistema de compartimentación automático integrado.....	55
Figura 17. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un sistema de apertura automática.	56
Figura 18. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con formas poliédricas.	57
Figura 19. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un módulo integrado para el cultivo de microalgas.....	59
Figura 20. Bocetos descriptivos con dimensiones y proporciones del concepto a desarrollar.	64
Figura 21. Bocetos descriptivos para la previsualización del sistema en el entorno urbano.	65
Figura 22. Storyboard de la interacción del usuario con el producto en situaciones cotidianas.	66
Figura 23. Diseño de un bastidor metálico rectangular (A) y uniones de perfiles (B).	68
Figura 24. División del bastidor metálico (A) y detallado del suelo (B).....	69
Figura 25. Aplicación de cargas y resultado del análisis de Von Mises y deformaciones para la primera iteración.....	71
Figura 26. Alternativa de diseño y resultado del análisis de Von Mises y deformaciones para la segunda iteración.	73
Figura 27. Detalle de cancela y equipamiento del biorreactor.	74
Figura 28. Conjunto detalle de mesa elevadora con bastidor.....	75
Figura 29. Detalle módulo esquina (A), módulo central (B) y unión de 5 módulos (C).	76
Figura 30. Detalle unión mediante remaches.....	77

Figura 31. Interior del módulo de recogida.	78
Figura 32. (A) Detalles del buzón. (B) Mecanismo puerta de seguridad.	79
Figura 33. Placas solares en parte superior biorreactor.	80
Figura 34. Vista de tuberías y luz led biorreactor. Vista general.	81
Figura 35. Modelado final visto en diferentes perspectivas.	82
Figura 36. Plano del sistema completo.	84
Figura 37. Esquema de componentes del sistema completo.	85
Figura 38. Plano del bastidor principal.	86
Figura 39. Esquema de los tres tipos de módulos que componen los 5 buzones de contenedores del sistema completo.	87
Figura 40. Plano del conjunto de buzones.	88
Figura 41. Esquema detallado de los componentes del módulo buzón lateral izquierdo.	89
Figura 42. Plano del módulo buzón lateral izquierdo.	90
Figura 43. Esquema detallado de los componentes del módulo buzón central.	91
Figura 44. Plano del módulo buzón central.	92
Figura 45. Esquema detallado de los componentes del módulo buzón lateral derecho.	93
Figura 46. Plano del módulo buzón lateral derecho.	94
Figura 47. Esquema de componentes del módulo del biorreactor.	95
Figura 48. Plano del módulo biorreactor.	96
Figura 49. Renderizados realizados con Autodesk Inventor.	98
Figura 50. Renderizados realizados con realidad virtual.	99
Figura 51. Diagrama Gantt de tareas realizadas.	101
Figura 52. Concepto descartado 1.	155

Figura 53. Concepto descartado 2.	155
Figura 54. Concepto descartado 3.....	156
Figura 55. Concepto descartado 4.	156
Figura 56. Concepto descartado 5.	157
Figura 57. Concepto descartado 6.	157
Figura 58. Concepto descartado 7.....	158
Figura 59. Concepto descartado 8.....	158
Figura 60. Concepto descartado 9.....	159
Figura 61. Concepto descartado 10.....	160

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Organización del trabajo en grupo.</i>	XIII
Tabla 2. <i>Principales características de los principales tipos de contenedores usados tradicionalmente en España.</i>	12
Tabla 3. <i>Evolución de los materiales empleados en la fabricación de contenedores de residuos urbanos.</i>	22
Tabla 4. <i>Materiales alternativos empleados en la fabricación de contenedores de residuos urbanos.</i>	23
Tabla 5. <i>Materiales alternativos empleados en la fabricación de mobiliario urbano diverso.</i>	25
Tabla 6. <i>Resumen Benchmarking para el análisis de mercado.</i>	43
Tabla 7. <i>Matriz multicriterio para la evaluación de las ocho propuestas indicadas.</i>	62
Tabla 8. <i>Costes asociados a cada partida.</i>	114
Tabla 9. <i>Análisis de los materiales seleccionados.</i>	121
Tabla 10. <i>Comparación de indicadores técnicos y operativos para un sistema convencional y el sistema propuesto.</i>	122
Tabla 11. <i>Grado de consecución de los objetivos.</i>	128

Organización del trabajo en grupo

En este apartado se detallan las partes en las que se divide el presente trabajo y el porcentaje de participación de cada alumno en la elaboración de cada subapartado (Tabla 1). Del mismo modo, se proponen los objetivos a desarrollar desde el punto de vista pedagógico de los integrantes y las herramientas que se han utilizado para la coordinación entre estos.

Partes que aborda el TFE

Tabla 1. Organización del trabajo en grupo.

Apartado/ Tarea principal	Subapartados clave	Integrante y porcentaje de participación			
		Gisela	Jimena	Salvador	Iñaki
Introducción	Justificación, Planteamiento del problema, Objetivos (OP y OS)	25	10	45	20
Marco teórico	Estado del arte, <i>benchmarking</i>	10	10	70	10
Metodología	Público objetivo y análisis de necesidades y de mercado	60	-	10	30
	Mapa mental y elaboración de bocetos	30	20	30	20
	Matriz multicriterio y bocetos descriptivos	70	10	10	10
	Modelado 3D y renders	45	5	20	30
	Planos	75	-	-	25
	Temporalización	5	15	5	75
	ROI	-	40	60	-
Resultados	Análisis de materiales y funcionalidad	25	5	15	55
Discusión y conclusiones	-	15	5	30	50
Bibliografía	-	5	-	95	-
Anexos	Anexos A, B y C	30	10	30	30
Maquetado y redacción	-	30	-	70	-

Elaboración propia

Objetivo del TFE desde el punto de vista de la adquisición de conocimientos

El desarrollo de este trabajo permite la consolidación de los conocimientos adquiridos a lo largo del curso, integrándolos y aplicándolos en un proyecto simulado que responde a necesidades concretas.

Desde la perspectiva de la adquisición de conocimientos, el TFE permite:

- **Realizar el proceso completo de diseño de un producto:** Desde la fase conceptual hasta la presentación final, completando todas las etapas del proceso de diseño.
- **Aplicar las metodologías estudiadas:** Consolidar el uso de herramientas como *Design Thinking*, modelado 3D, análisis de ciclo de vida, selección de materiales, y generación de mapas mentales y diferentes tipos de bocetos, entre otros.
- **Crear una propuesta holística mediante la realización de un trabajo multidisciplinar:** Desarrollar una propuesta con valor innovador y viable, aplicando conocimientos técnicos, estéticos, funcionales, económicos y sostenibles.
- **Fomentar la capacidad de investigación y análisis:** Adquirir experiencia en el estudio de mercados y tendencias, así como en la justificación de decisiones de diseño basadas en los datos obtenidos y las necesidades reales encontradas.
- **Potenciar y practicar las habilidades técnicas y tecnológicas:** Reforzar el dominio de herramientas profesionales, en este caso del software Autodesk Inventor, generando con este el diseño del producto y diversas simulaciones de esfuerzo, además de renderizados del mismo en ubicaciones de interés.
- **Preparar para la realidad profesional:** Al crear un entorno para la toma de decisiones, resolver problemas complejos y asumir la responsabilidad de un proyecto, lo que permite adquirir experiencias prácticas y competencias clave para la inserción en la industria del diseño industrial.

Mecanismos de coordinación empleados

Con el fin de coordinar las actividades desarrolladas por cada integrante, se han utilizado una serie de herramientas con tres objetivos: i) mejorar la comunicación y el flujo de información, ii) tomar conciencia del avance de cada una de las tareas a desarrollar y iii) mejorar la toma de decisiones. Entre las herramientas utilizadas encontramos:

1. Realización de reuniones periódicas con distintos fines:
 - Reuniones entre todos los integrantes del grupo: Realizadas de manera quincenal, han servido para poner en común los resultados obtenidos por cada miembro y discutir el reparto de tareas futuras.
 - Reuniones parciales entre dos o tres integrantes del grupo: Con frecuencia variable, se han realizado, en la mayoría de los casos, para recibir retroalimentación instantánea sobre el trabajo realizado. Han sido de especial utilidad en las fases de diseño asistido por ordenador.
 - Reuniones con el director del TFE. Aproximadamente una vez al mes, el grupo se ha reunido con el director del trabajo para discutir las anotaciones realizadas en las distintas entregas de evaluación continua y resolver dudas.
2. Establecimiento de fechas de entrega para cada uno de los apartados, estableciendo objetivos claros.
3. Asignación de roles a cada uno de los miembros del grupo en base a sus habilidades y destrezas.
4. Uso de un tablero de tareas Kanban. Una vez planteadas las tareas enumeradas en el Apartado 3.5 y utilizando la plataforma Miro, se creó un tablero interactivo en el que cada alumno actualizaba el avance de cada apartado.
5. Creación de un directorio centralizado compartido en Google Drive para la administración de diferentes documentos: i) entregables, ii) papers leídos para la realización del marco teórico, iii) imágenes originales derivadas de la renderización de escenarios en Autodesk Inventor y iv) guías y rúbricas tomadas del Campus Virtual y de interés para la realización del TFE.
6. Uso de matrices multicriterio para facilitar la toma de decisiones de la manera más objetiva posible y centrada en la consecución de los objetivos planteados. Una de estas

matrices, utilizada para la elección de una de las propuestas planteadas en la fase de exploración, es presentada en el Apartado 3.4.3.

1. Introducción

El crecimiento poblacional y el aumento del consumo han supuesto la aparición de una serie de desafíos en el siglo XXI que buscan lograr un desarrollo sostenible que sea compatible con el progreso humano. En este contexto, los miembros de las Naciones Unidas presentaron en 2015 su plan de Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que aborda diferentes puntos sociales y económicos. De forma similar, en diciembre del mismo año, la Comisión Europea puso en marcha su Plan de Acción para la Economía Circular Closing the loop (European Commission, 2015). Este plan comprende 54 medidas que abarcan las distintas fases del ciclo de vida de un producto: diseño, producción, consumo, gestión de residuos y recuperación de los recursos presentes en los residuos, enfocándose en cinco áreas clave: plásticos, residuos alimentarios, materias primas críticas, construcción y demolición, y biomasa y bioproductos. Entre estas medidas, se propone la meta de alcanzar una tasa de reciclaje de residuos urbanos al 65 % y una reducción de los residuos destinados a vertederos al 10 % para 2030. En el momento de la presentación del Plan Closing the loop, en 2014, los países europeos reciclaron el 44 % de sus residuos municipales y enviaron a vertederos el 28 % de estos (Rousta et al., 2017), lo que pone en el foco la necesidad de mejorar los sistemas utilizados entonces.

El 8 de abril de 2022, España presenta la ley de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular, donde se fija el objetivo de aumentar la separación de residuos para su reutilización y reciclado a un mínimo del 60 % para 2030 y un mínimo del 65 % para 2035 (Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre). Según datos del Eurostat, España recicló un 30,8 % de sus residuos urbanos en 2014 y un 41,4 % en 2023 (Eurostat, 2025). Aunque esto suponga un aumento del 34 % en la última década, los resultados se encuentran aún lejos de los objetivos fijados, requiriéndose un aumento del 45 % en 7 años para alcanzar la meta propuesta en 2030. Un aumento tan drástico requiere de una mejora tanto por parte del comportamiento ciudadano como del sistema de reciclaje actual. La literatura muestra que las mejoras en la infraestructura de los sistemas de separación de residuos conducen a una mayor concienciación por parte de la población y un cambio en sus ámbitos de reciclaje (Rousta et al., 2017). Durante el presente trabajo se analizará el sistema de contenedores

actual en España, presentando los puntos susceptibles a mejora y una propuesta de diseño de un nuevo sistema que aumente la eficiencia del sistema de recogida y fomente la participación ciudadana.

1.1. Justificación

La creciente generación de residuos urbanos, derivada del aumento demográfico y el consumo de recursos, exige una transformación estructural y sostenible de las tecnologías empleadas para su recogida y separación. A pesar de los avances legislativos con la Ley de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular (2022), España aún se encuentra lejos de alcanzar los objetivos de reciclaje establecidos por la Unión Europea para 2030 y 2035. El análisis de los sistemas destinados a la separación de residuos en territorio español pone en evidencia una causalidad directa basada en la falta de infraestructura que promueva la participación ciudadana, la separación efectiva en origen y la integración armónica con el entorno urbano.

Actualmente, los contenedores de residuos urbanos presentan diversas limitaciones: i) escasa accesibilidad, ii) mantenimiento costoso, iii) falta de flexibilidad modular, iv) impacto visual negativo y v) débil integración con el paisaje urbano. Las soluciones existentes, aunque variadas (superficiales, soterradas, semisoterradas), no abordan de manera integral las exigencias actuales de sostenibilidad, ergonomía, durabilidad y adaptabilidad.

Frente a esta realidad, se justifica la necesidad de diseñar un sistema innovador de contenedores semisoterrados que incorpore criterios de modularidad estructural, accesibilidad universal, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental. Este proyecto propone un complejo continuo de cinco módulos acoplables, construidos con materiales reciclados, de fácil ensamblaje y mantenimiento y con un diseño estéticamente adaptable al paisaje urbano. Además, se plantea la incorporación de un módulo activo basado en microalgas, que permita captar parte del CO₂ y gases emitidos durante la descomposición orgánica, aportando valor ecológico añadido.

Este enfoque de diseño no solo considera las necesidades técnicas del sistema, sino también las sociales, institucionales y medioambientales, con el fin de generar una solución aplicable, replicable y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El sistema busca reducir el impacto ambiental, aumentar la eficiencia del servicio de recogida, y promover un cambio cultural en la ciudadanía hacia la corresponsabilidad en la gestión de residuos.

1.2. Planteamiento del problema y finalidad

El crecimiento de la población en las ciudades ha generado un aumento en la producción de residuos, lo que ha incrementado la necesidad de buscar sistemas más eficientes para su recolección y gestión. Se ha observado que los modelos de contenedores urbanos actuales presentan diversas limitaciones en el sistema de recogida y separación de residuos, como también el uso ineficiente del espacio público y la falta de integración estética con el entorno. Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar un sistema modular de contenedores de residuos urbanos, con la finalidad de optimizar la gestión de desechos y fomentar su clasificación de manera accesible y eficiente.

El diseño modular de los contenedores estará compuesto por módulos apilables y adaptables a los diferentes tipos de residuos como son los orgánicos, plásticos, papel y vidrio. A su vez, los módulos dispondrán de un sistema de ensamblaje y reconfiguración sencillo que permitirá adaptar los contenedores a diferentes espacios y necesidades, facilitando así su implementación en diferentes entornos urbanos sin comprometer su funcionalidad ni su estética. Además, el diseño propuesto será fabricado con materiales reciclados y sostenibles que permitan garantizar resistencia y durabilidad en espacios exteriores. También se priorizará un mantenimiento sencillo de los módulos, permitiendo la sustitución de componentes sin necesidad de reemplazar los contenedores completos.

En conclusión, este proyecto busca ofrecer una solución innovadora que combine la funcionalidad y la sostenibilidad, pero también busca ofrecer un diseño donde la estética del producto permita adaptarse al paisaje urbano y así mejorar la armonía visual y reducir la percepción negativa de los contenedores de residuos.

1.3. Objetivos del TFE

1.3.1. Objetivo principal (OP)

Diseñar un sistema de contenedores de residuos urbanos modulares que optimice la separación y gestión de desechos, garantizando modularidad, accesibilidad y sostenibilidad, con materiales resistentes y adecuados para entornos exteriores, integrando principios de ergonomía y estética urbana.

1.3.2. Objetivos secundarios (OS)

- OS1: Desarrollar un diseño modular y flexible que integre principios de ergonomía, accesibilidad y estética, permitiendo su adaptación a distintos espacios urbanos y tipos de residuos.
- OS2: Proponer un sistema de ensamblaje que facilite el mantenimiento, la reparación y la sustitución de piezas de manera eficiente.
- OS3: Desarrollar el diseño del producto mediante bocetos y modelado 3D en Autodesk Inventor.
- OS4: Seleccionar materiales reciclados y sostenibles, adecuados para su uso prolongado en entornos exteriores.
- OS5: Evaluar el impacto ambiental y social del sistema modular propuesto, considerando su ciclo de vida y su efecto en la experiencia urbana.

2. Marco teórico

2.1. Introducción al marco teórico

La gestión de residuos se divide en tres fases: i) depósito y recogida, ii) transporte y iii) tratamiento. Este apartado se centra en la primera de ellas, abordando diversos campos de investigación que resultan fundamentales para el desarrollo de la propuesta de diseño planteada.

Se presenta, en primer lugar, una revisión de los principales tipos de contenedores que se encuentran actualmente en uso en territorio español y de las diferentes propuestas de innovación que se han llevado a cabo recientemente a nivel global. En este contexto, se exploran diferentes estrategias que permiten una gestión inteligente de residuos, entendiéndose con ello tanto sistemas de separación automática como soluciones que permiten una mejora en la eficiencia de las rutas de recogida. Del mismo modo, se estudian con especial interés aquellas características deseadas en el diseño final y que ya han sido expuestas en el apartado de Objetivos, como la implementación de un sistema modular y el uso de materiales reciclados y sostenibles en la fabricación de contenedores. En último lugar, se incluye una revisión bibliográfica que tiene como objetivo recopilar diferentes herramientas de diseño capaces de fomentar la participación ciudadana en el ámbito de la recogida de residuos.

Este apartado permite comprender el contexto actual en torno al problema planteado además de identificar fortalezas y debilidades en los sistemas actuales, tal y como queda plasmada en el apartado de conclusiones. El análisis realizado servirá para fundamentar y dar coherencia a la propuesta desarrollada en el presente Trabajo Fin de Máster.

2.2. Introducción al marco teórico

La gestión de residuos urbanos en España se organiza en torno a un sistema de recogida selectiva en contenedores destinados a diferentes secciones, que busca facilitar el reciclaje y reducir la cantidad de residuos destinados al vertedero. Dentro de esta estrategia, el diseño de los contenedores urbanos es un elemento clave, ya que representan el punto de contacto directo entre la ciudadanía y el sistema de gestión, influyendo este directamente en la eficacia del proceso y en el comportamiento de los usuarios.

Actualmente, en España hay establecido un código de colores estandarizado con el fin de que los ciudadanos puedan identificar fácilmente el tipo de residuo al que está destinado cada contenedor y facilitar así su segregación:

- Contenedor amarillo: destinado a envases ligeros (plásticos, latas y briks).
- Contenedor azul: para papel y cartón.
- Contenedor verde iglú: para vidrio, de boca circular y carga superior.
- Contenedor marrón: para residuos orgánicos, en proceso de implantación más reciente.
- Contenedor gris o verde oscuro: para la fracción resto (residuos no reciclables).

A estos se suman los puntos limpios móviles, que permiten la recogida selectiva de residuos específicos (pilas, aceites, aparatos eléctricos, etc.) en barrios y zonas alejadas de centros de reciclaje fijos. De manera tradicional, los contenedores se clasifican según su ubicación (en superficie o soterrados) y el tipo de carga (García-Espinosa et al., 2022; *La Gestión de Residuos Municipales*, 2015). A continuación, se incluye una revisión de los sistemas más comunes en España, resumidos en la Tabla 2, mientras que en el [Anexo 2](#) se añade un *benchmarking* de soluciones específicas presentadas por distintas marcas.

2.2.1. Contenedores en superficie

Contenedores de carga trasera

Los contenedores de carga trasera (Fig. 1A) disponen de ruedas para facilitar su movimiento durante la recogida, lo que además facilita su cambio de ubicación. Durante la recogida, un operario debe transportarlo con ayuda de las ruedas hasta el camión y volver a posicionarlo en su ubicación original.

Contenedores de carga superior

Estos contenedores disponen de un mecanismo en su zona superior que permite su enganche por una grúa durante la recogida (Fig. 1B, C). Durante la recolección, el conductor debe bajarse del vehículo, desplegar el brazo de la grúa y colocar el sistema de enganche del contenedor para después elevarlo sobre la tolva del vehículo y activar el dispositivo de vaciado.

Contenedores de carga lateral

En los sistemas de carga lateral el camión recoge los contenedores desde un lado del vehículo en lugar de hacerlo desde la parte trasera (Fig. 1D). Debido a ello, resulta especialmente útil en entornos urbanos estrechos donde los camiones de carga trasera no pueden acceder fácilmente. Durante la recogida, el camión se posiciona junto al contenedor, paralelo a él, y extiende un brazo lateral que dispone de una garra que se adapta al diseño del recipiente. Posteriormente, el brazo eleva y voltea el contenedor hacia el camión para vaciar su contenido en el compartimiento de residuos del vehículo. Una vez vaciado, el brazo devuelve el contenedor a su posición original.

Contenedores de recogida bilateral

Los contenedores de recogida bilateral (Fig. 1E) se basan en los mismos principios que los de carga lateral, pero pueden ser accedidos desde ambos lados del camión, lo que aporta una mayor flexibilidad para ser recogido sin importar la orientación del vehículo.

2.2.2. Contenedores semisoterrados

Los contenedores semisoterrados (Fig. 1F) presentan parte de su estructura enterrada bajo tierra, lo que les permite alcanzar mayores capacidades de almacenamiento sin suponer un volumen adicional en la vía urbana. La zona superior queda accesible para la deposición de residuos y suele estar compuesta por una boca de carga que puede ser de tipo rectangular o circular dependiendo del modelo. Durante la recogida, un sistema de elevación hidráulica o mecánica permite levantar el contenedor hacia el camión de recolección. Los más usados son los elevadores hidráulicos en tijera, cuyo funcionamiento depende de una bomba que genera un flujo de líquido que permite la expansión de la estructura y su elevación.

Tabla 2. Principales características de los principales tipos de contenedores usados tradicionalmente en España.

Tipo de contenedor	Material fabricación	Capacidad	Precio	Puntos positivos	Puntos negativos	Referencias
Carga trasera	HDPE	Hasta 700 L (2 ruedas), hasta 1100 L. (4 ruedas)	De 100 a 400 €	- Idóneo para zonas de difícil acceso - Fácil de reubicar	- La recogida depende de un conductor y dos operarios que muevan el contenedor - Fácil apertura, lo que lo hace más susceptible a actos de vandalismo	La Gestión de Residuos Municipales, 2015; Contelogic, 2024
Carga superior	- Base de HDPE con chapa de acero galvanizado - Caucho reciclado	Hasta 3200 L	De 500 a 600 €	- Mecanismo de recogida simplificado, pudiendo ser llevado a cabo por el conductor cómodamente - Resistencia a los impactos - Resistencia al desgaste - Bajo ruido en su recolección	- El sistema de recogida necesita de gran espacio - Los contenedores de caucho, al ser este un material maleable, no permiten grandes tamaños	La Gestión de Residuos Municipales, 2015; Rototank, 2023; Sanimobel, 2022a
Carga lateral	Base de HDPE con fondo de acero galvanizado	Hasta 3200 L	≈ 700 €	- Ideal en vías de circulación de doble sentido - Un único operario necesario en la recogida	- Maquinaria de carga compleja y más cara de mantener	La Gestión de Residuos Municipales, 2015; Sanimobel, 2022b
Recogida bilateral		Hasta 3500 L	≈ 1000 €	- Útil en zonas estrechas, donde el camión puede acceder por un solo lado		La Gestión de Residuos Municipales, 2015; Contenur, s.f.
Semisoterrado	Buzones generalmente construidos en acero inoxidable troquelado o aluminio 3 mm	Hasta 5000 L	Gran variabilidad	- Escaso impacto en la estética urbana - Ideales para zonas de parque o montaña - Gran capacidad - Resistencia a la corrosión	- Instalación costosa - Mantenimiento complicado	La Gestión de Residuos Municipales, 2015

Elaboración propia

Figura 1. Tipos de contenedores.



Elaboración propia

A, Contenedores de carga trasera de cuatro y dos ruedas. Imagen tomada de *Contelogic, 2024*.

B, Contenedor de carga superior. Imagen tomada de *Rototank, 2023*.

C, Contenedor de carga superior de acero galvanizado. Imagen tomada de *Sanimobel, 2022a*.

D, Contenedor de carga lateral. Imagen tomada de *Sanimobel, 2022b*.

E, Contenedor de recogida bilateral. Imagen tomada de *Contenur, s.f.*

F, Contenedor soterrado. Imagen tomada de *Padros, O., 2017*.

2.3. Implementación de sistemas de gestión inteligente en la administración de residuos urbanos

En la última década han aparecido nuevas soluciones que integran el uso de las nuevas tecnologías de comunicación con el fin de mejorar la eficiencia y automatización de los sistemas de recogida de residuos. De manera general, estos sistemas suelen basarse en la integración de sensores dentro del contenedor capaces de medir parámetros como la temperatura y el nivel de llenado, y el envío de esta información a una estación centralizada, que recoge los datos y calcula en tiempo real la ruta más eficiente de recogida de residuos (Vishnu et al., 2022).

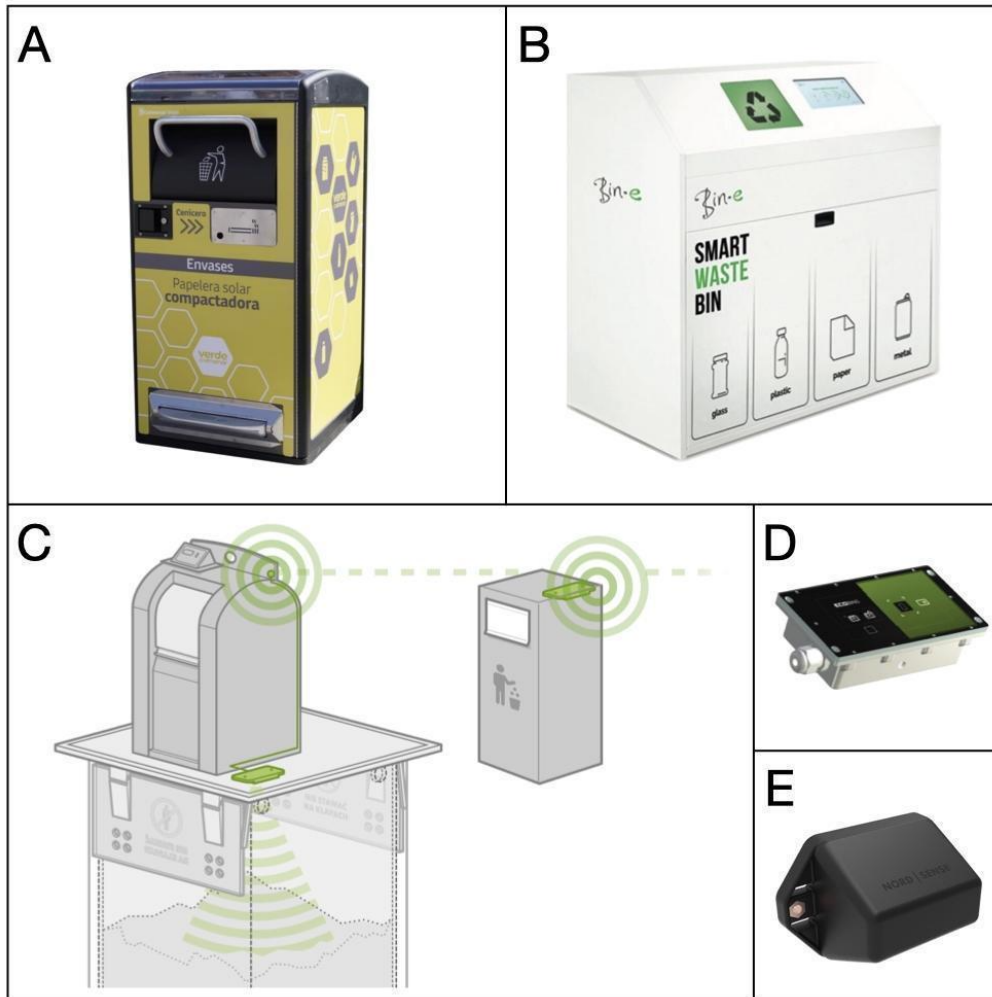
La tecnología asociada a estos sensores ha ido evolucionando con el tiempo y atendiendo a diferentes necesidades específicas. La primera en ser aplicada en el contexto de la recogida de residuos fue el uso de etiquetas RFID (*Radio-Frequency Identification*) para la identificación individual de contenedores. Los datos obtenidos son útiles para registrar información sobre la recogida, pero esta tecnología es capaz de ofrecer únicamente información sobre la identidad del contenedor, sin otorgar otros datos como el nivel de llenado (Vishnu et al., 2022). Para registrar otros parámetros, las etiquetas RFID pueden usarse conjuntamente a otro tipo de sensores, pero, por comodidad, con el tiempo este tipo de tecnologías han sido sustituidas por sensores capaces de enviar individualmente más información. Por ello, los sensores que hacen uso de WSN (*Wireless Sensor Network*), con tecnología Wi-Fi o Zigbee y, sobre todo, la integración de IoT (*Internet of Things*) con sensores LoRaWAN son los más empleados actualmente (Vishnu et al., 2022; Ramson et al., 2021). La mayoría de estos sensores son capaces de calcular el nivel de llenado con tecnología ultrasónica, mientras que otros hacen uso de infrarrojos o cámaras (Vishnu et al., 2022). Para conseguir mayor autonomía, el diseño de los contenedores que hacen uso de estos sensores suele contar con paneles solares.

Dos de las marcas con mayor cuota de mercado en contenedores inteligentes actualmente son Bigbelly, con contenedores instalados en varias ciudades de España, y Bin-e. Los contenedores de Bigbelly (Fig. 2A) tienen un diseño semisoterrado, contando con una boca que puede ser abierta de manera manual con una palanca o con un pedal, un cenicero, y un

panel solar en la parte superior. Además de contar con tecnología compactadora de residuos, hacen uso de IoT para la comunicación del nivel de llenado del contenedor a un servidor que calcula las rutas más eficientes de recogida. Los contenedores de Bin-e (Fig. 2B), por otro lado, no hacen uso de ningún tipo de sensor para informar sobre el nivel de llenado, sino que usan inteligencia artificial para el reconocimiento de los residuos insertados y realizar una separación automática de estos en diferentes tipos.

Otras marcas han basado su estrategia en ofrecer únicamente sensores que pueden ser instalados en todo tipo de contenedores ya existentes, semisoterrados o superficiales, para calcular el nivel de llenado (Fig. 2C). Entre ellas, encontramos el sensor C3 de EcoBin (Fig. 2D) y Nordsense (Fig. 2E).

Figura 2. Diferentes sistemas inteligentes de recogida de basura.



Elaboración propia

A, Contenedor Bigbelly. Imagen tomada de *Ser Madrid Norte*, 2022.

B, Contenedor Bin-e. Imagen tomada de *BiN-E*, s. f.

C, Esquema de funcionamiento de sensor de llenado. Imagen tomada de *EcoBins*, s. f.-a.

D, Sensor de llenado EcoBins C3. Imagen tomada de *EcoBins*, s. f.-b.

E, Sensor de llenado de Nordsense. Imagen tomada de *Nordsense*, 2023.

2.4. Modularidad en el diseño de contenedores de residuos

La modularidad es un principio fundamental en el diseño industrial. Un sistema modular se caracteriza por estar compuesto por unidades independientes pero capaces de unirse entre sí, que pueden combinarse de distintas formas para responder a contextos diversos. En el caso de los contenedores de residuos, esto permite crear configuraciones adaptadas al volumen de generación, a las características del espacio urbano o a los requisitos del servicio de recogida. Además, posibilita la reconfiguración del sistema sin necesidad de sustituir todo el conjunto, lo que reduce costes, facilita la gestión y supone mayor eficiencia en términos de mantenimiento y sostenibilidad. En este sentido, apostar por un diseño modular permite: i) reducir el uso de materiales y energía requeridos en la fabricación, ii) facilitar el reciclaje de cada componente al final de su ciclo de vida y iii) optimizar el transporte y almacenamiento mediante unidades compactables. La Fig. 3 presenta un ejemplo de estructura modular para contenedores.

Figura 3. Esquema de la estructura un sistema modular de contenedores semisoterrados de residuos.

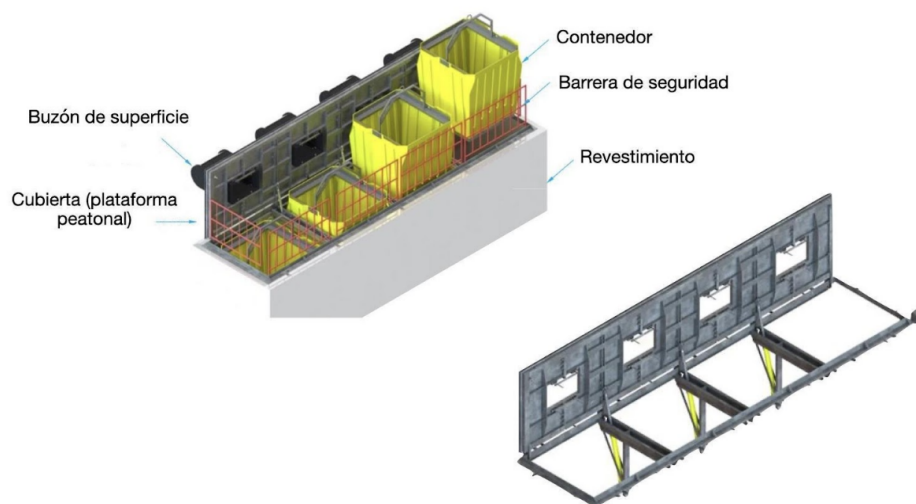


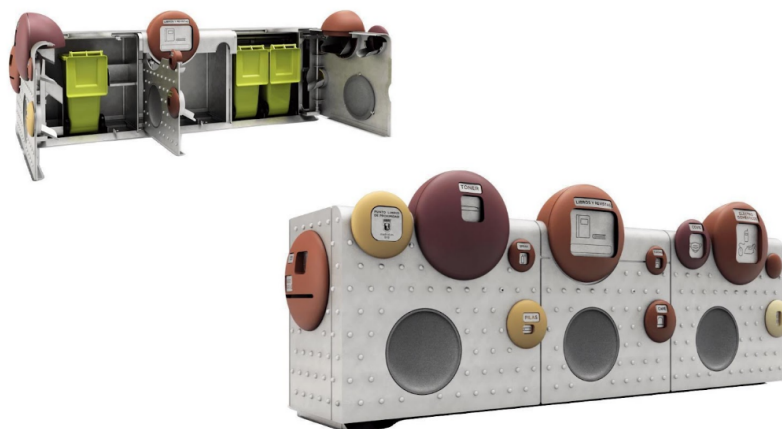
Imagen adaptada de Costa et al., 2022.

En España, la incorporación del diseño modular en contenedores de residuos aún no se ha extendido en todo el territorio. Los sistemas actuales, tal y como se ha visto en el apartado 2.2, suelen estar basados en la agrupación de varios tipos de contenedores de gran volumen, lo que dificulta su transporte, almacenamiento y mantenimiento. Esta rigidez impide una adaptación eficaz a los cambios en el entorno urbano o a la evolución de los hábitos de reciclaje de la población. Sin embargo, algunos fabricantes y administraciones públicas han comenzado a incorporar sistemas modulares en sus estrategias de recogida de residuos urbanos. A continuación, se describen varios casos reales que destacan por su innovación, su enfoque adaptable y su integración en el entorno urbano.

2.4.1. Punto limpio de proximidad Sanimobel

Diseñado para facilitar la recogida separada de hasta 12 fracciones de residuos en un único módulo compacto, este sistema ha sido adoptado en otras ciudades como Cádiz, Elche, Cascais o Padova. Su estructura modular (Fig. 4) permite configuraciones personalizadas según las necesidades de cada municipio, facilitando su implementación en espacios urbanos reducidos (Ayuntamiento de Madrid, 2022).

Figura 4. Punto limpio de proximidad Sanimobel y esquema de su compartimentación interna.



Elaboración propia a partir de las imágenes tomadas de la fuente Sanimobel, 2022.

2.4.2. Contenedores modulares semisoterrados Molok Domino

MolokDomino (Fig. 5) es un sistema modular que permite combinar unidades de diferentes fracciones bajo una misma estructura semisoterrada, optimizando la capacidad del sistema de recolección de residuos sin suponer un aumento en el espacio utilizado en superficie. Su diseño mejora la eficiencia de recogida y reduce olores y emisiones (Molok, s.f.).

Figura 5. Contenedores modulares semisoterrados Molok Domino y esquema de su estructura.



Elaboración propia a partir de las imágenes tomadas de la fuente Molok, 2025.

2.4.3. Punto limpio de proximidad I-Recycle de Drago

El punto limpio de proximidad I-Recycle de Drago (Fig. 6) está diseñado para adaptarse a las necesidades de cada zona de la ciudad. Se compone de varios módulos que pueden ser combinados de forma diferente, aceptando hasta 20 tipos de residuos (DRAGO, 2024). Está fabricado en acero galvanizado con opción de acero inoxidable AISI304 o 316 con imprimación en polvo de poliéster y dispone de una capacidad total superior a 740 litros, pudiendo hacer uso de diferentes módulos:

- Hasta 4 módulos frontales de 120 L.
- 1 módulo central de 100 L.
- Hasta 10 compartimentos laterales con capacidad de entre 10 y 20 L.
- Módulos laterales con paneles publicitarios.

Figura 6. Punto limpio de proximidad I-Recycle de Drago: módulo individual y ejemplo de construcción de punto limpio.



Elaboración propia a partir de las imágenes tomadas de la fuente DRAGO SL, 2024.

2.5. Objetivo general de la propuesta

2.5.1. Innovación en el uso de materiales para la fabricación de contenedores de residuos urbanos

Mientras que las principales apuestas actuales por la sostenibilidad en el campo de la gestión de residuos están centradas en la innovación tanto en el diseño de los propios contenedores como en la mejora de la eficiencia de las rutas de recogida, un diseño sostenible debe atender a la elección de los materiales utilizados. De esta manera, una mejora en la sostenibilidad del producto podría conseguirse i) reduciendo la cantidad de materiales utilizados, ii) usando materiales con mayor reciclabilidad, resistentes o que tengan una menor huella de carbono asociada y iii) añadiendo elementos terceros que permitan alcanzar un balance positivo final.

Desde la aparición de los sistemas de recogida de basura durante la Revolución Industrial, los materiales empleados en la fabricación de contenedores de residuos urbanos han ido evolucionando de acuerdo a las necesidades de mejora en los procesos de gestión y logística, la conciencia sanitaria y la sostenibilidad medioambiental (Tabla 3). Sin embargo, tras la introducción en la década de 1960 del polietileno de alta densidad (HDPE), este material ha sido el más empleado en la industria debido a las numerosas ventajas que conlleva su uso, surgiendo pocas innovaciones al respecto. El uso de nuevos materiales en contenedores de residuos se limita principalmente a proyectos en fase de desarrollo y de uso limitado ([Ledur et al., 2013](#); [Liliani, E., 2024](#)), con nuevas marcas emergentes intentando hacerse hueco en un mercado en el que sus soluciones no suelen ser tan económicas como las tradicionales ([ESE, s.f.](#)). En la Tabla 4 se enumeran algunos de estos materiales sostenibles que presentan actualmente una cuota de mercado baja, y sus ventajas y desventajas de uso.

Tabla 3. Evolución de los materiales empleados en la fabricación de contenedores de residuos urbanos.

Época	Material	Ventajas	Desventajas	Referencias
Antes del Siglo XIX	Madera	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia básica - Fáciles de conseguir 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesados - Susceptibles a humedad - No higiénicos 	Recicla Más, 2024
	Hierro forjado			
	Cerámica			
Siglo XIX	Hierro galvanizado	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor durabilidad - Resistente a la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesados - Costosos - Limitados para grandes volúmenes 	Recicla Más, 2024
	Cobre			
Siglo XX (inicios)	Acero galvanizado	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia estructural - Mayor durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso excesivo - Riesgo de oxidación 	Recicla Más, 2024
	Aluminio			
	Madera tratada			
Siglo XX (finales)	HDPE (polietileno de alta densidad)	<ul style="list-style-type: none"> - Ligero - Económico - Fácil de moldear - Resistente a impactos - Adecuado para uso exterior 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependencia de petróleo - No biodegradable 	Recicla Más, 2024

Elaboración propia

Tabla 4. *Materiales alternativos empleados en la fabricación de contenedores de residuos urbanos.*

Material	Ventajas	Desventajas	Referencias
Plástico reciclado	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de residuos plásticos - Bajo costo de producción - Ligero y fácil de moldear - Resistente a la humedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto ambiental del plástico - Menor tiempo de vida que el plástico virgen - Difícil de reciclar posteriormente 	Ledur et al., 2013
Desechos de madera	<ul style="list-style-type: none"> - Reutilización de materiales orgánicos - Buen aislamiento térmico 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia a la humedad - Necesita adhesivos o compuestos sintéticos - Tiempo de vida escaso 	Liliani, E., 2024
Caucho reciclado	<ul style="list-style-type: none"> - Altamente resistente a las inclemencias climáticas - Aislamiento térmico - Gran reducción del impacto ambiental derivado del caucho. 	<ul style="list-style-type: none"> - Largo proceso de producción - Necesita ser mezclado con resinas para conseguir ciertos acabados - Puede retener olores si no se trata de forma adecuada 	Neusus Urban, s.f.; RETEMA, s. f.
Bioplásticos	<ul style="list-style-type: none"> - Biodegradable - Menor huella de carbono - Se puede producir a partir de fuentes renovables como almidón o maíz 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesitan ser tratados de forma especial al final de su ciclo de vida - Alto coste de producción 	ESE, s.f.
Acero inoxidable	<ul style="list-style-type: none"> - Resistente a oxidación y degradación ambiental - Gran resistencia mecánica - No requiere recubrimientos adicionales - Superficie lisa y no porosa que dificulta la acumulación de suciedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Precio elevado - Pesado - Puede presentar restricciones en cuanto a las formas y acabados capaces de conseguir 	Suministros Salazar, 2025

Elaboración propia

2.5.2. Innovación en el uso de materiales sostenibles para diferente mobiliario urbano

Cuando hablamos del diseño de mobiliario urbano hemos de tener en cuenta la adecuación de los materiales elegidos, ya que deben ser capaces resistir las inclemencias del clima o actos de vandalismo. En primera instancia, esto puede acotar el abanico de materiales susceptibles a ser usados en este contexto. Sin embargo, la gran variedad de estructuras urbanas, como sistemas de iluminación o paradas de autobús, nos permite estudiar las innovaciones que han sido adoptadas en otros tipos de construcciones y extrapolables a nuestro diseño. Así, por ejemplo, algunas pruebas de concepto han determinado que el uso de fibras de vidrio, paneles solares, *ashcrete* y acero reciclado supondría una disminución en el 30% de la huella de carbono asociada a la construcción de paradas de autobús (Yahya et al., 2022). Por otro lado, el uso de árido reciclado (Sánchez-Roldán et al., 2020) nos permitiría crear una plataforma sostenible para nuevos contenedores semisoterrados. Los materiales estudiados durante esta etapa de investigación, así como sus principales ventajas y desventajas, aparecen detallados en la Tabla 5.

Tabla 5. *Materiales alternativos empleados en la fabricación de mobiliario urbano diverso.*

Material o mecanismo	Ventajas	Desventajas	Referencias
Hoja de fibra de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> - Ligero - Fácil manejo y ensamblaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil reciclaje - Su uso en exteriores puede resultar en deterioros estéticos 	Yahya et al., 2022
Panel solar	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de energía renovable - Económico 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso limitado a zonas que superen un límite de horas de sol anuales 	Yahya et al., 2022
Ashcrete	<ul style="list-style-type: none"> - Impermeable - Acabado liso de superficies 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad limitada - Variabilidad en la calidad 	Yahya et al., 2022
Árido reciclado	<ul style="list-style-type: none"> - Permite conseguir gran variedad de formas y tamaños - Reducción de extracción de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor resistencia mecánica - Calidad variable 	Sánchez-Roldán et al., 2020; Sánchez-Roldán, 2019
Acero reciclado	<ul style="list-style-type: none"> - No costoso - Propiedades similares al acero original 	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades mecánicas variables dependiendo del origen y tratamiento del material virgen 	Yahya et al., 2022
Mecanismo de recolección de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Permite tener un suministro de agua que puede ser usada para limpiar el contenedor 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad limitada a épocas con periodicidad de lluvias moderada 	Yahya et al., 2022

Elaboración propia

2.5.3. Integración de espacios verdes en el mobiliario urbano

Otra estrategia de construcción sostenible se basa en crear espacios verdes de manera paralela a la edificación de nuevas estructuras. Quizás el planteamiento más extendido actualmente sea la incorporación de jardines verticales en la fachada de edificios. Estos cultivos de plantas tienen efectos positivos en la calidad del aire urbano y en el control de temperatura, además de tener el potencial de mejorar la estética urbana de determinadas zonas (Davis et al., 2016). Sin embargo, la captación de CO₂ de estos sistemas es muy limitada, por lo que la idea de implementar biorreactores de microalgas en zonas urbanas cada vez tiene más auge. La Figura 7 muestra el sistema de funcionamiento y componentes de un fotobiorreactor típico. El cultivo de microalgas es capaz de secuestrar hasta cinco veces más CO₂ que el de plantas y duplicar su biomasa en un período reducido de siete días (Villalba et al., 2023). Además, esta biomasa producida puede ser utilizada en la generación de biofuel y fertilizantes agrícolas. En cuanto a la construcción de estos sistemas, se estima que solo se necesitan 11 años en secuestrar todo el CO₂ asociado a su producción, y el transcurso de toda su vida útil supone una captación de 27 toneladas de dióxido de carbono atmosférico (Villalba et al., 2023). Algunas empresas, como Liquid3 ya comercializan fotobiorreactores urbanos disponibles a pie de calle (LIQUID3, s.f.), y la generación de nuevas estructuras de biorreactores ligeros amoldables a diferentes tipos de superficies está en boga (Villalba et al., 2023; Bogias, P., 2014). Además, en el contexto de un diseño de contenedor de residuos urbanos, la adición de un módulo de cultivo de microalgas supondría la eliminación de parte de los gases de efecto invernadero producidos en los procesos de descomposición, además de permitir otorgarle un uso al lixiviado producido, que podría ser empleado como nutriente para las algas.

Figura 7. Esquema del mecanismo y componentes de un fotobiorreactor.

MECHANICS:

NUTRIENT DELIVERY (INOCULATION)

The nutrient delivery system injects the appropriate fluids into the solar array at a given time through plumbing outfitted with controlled valves and manifolds.

For Starting a New Culture:

The reactor is filled with a 1:10 ratio of concentrated algae culture and growth medium (water and nutrients). This starts the first growth cycle in the reactor.

For Maintaining an Existing Culture:

After growth, one tenth of the aged culture is extracted from the solar array and sent to a collection tank for further processing. Then, the system only injects growth medium into the solar array. This replaces what was extracted, creating a new diluted culture within the array and, thus, starting a new growth cycle.

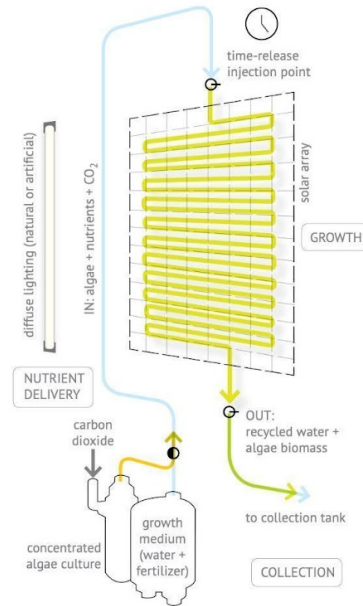
GROWTH

Once the nutrient delivery system has injected the appropriate fluids, the air pump runs continuously to circulate the culture as it is exposed to light within the array. The air pump can either pull in CO₂-rich interior/exterior air, or from a CO₂ tank. In either case, a micron filter should be installed on the end of the pipeline to avoid contamination of the culture.

COLLECTION

After a set growth period, the initial culture will have grown greener and denser. This signifies that the culture is ready for collecting and resetting.

1–03 Basic photobioreactor components. Developed in consultation with Heather Rashon, technical curator of the Canadian Phylogenical Culture Centre.



- algae in
- algae out
- ⊗ time-release valve
- manifold

Imagen tomada de Bogias, P., 2014.

2.6. El diseño industrial como instrumento para fomentar la participación ciudadana

La incorrecta separación de los residuos por parte de los ciudadanos supone un aumento directo en los costes de los programas de reciclaje, al incrementar el tiempo y mano de obra necesarios para volver a clasificar correctamente estos artículos (Wu et al., 2018). Por ello, una mejora en esta actividad en los hogares españoles no solo tendría consecuencias ambientales positivas a largo plazo, sino también económicas a corto plazo. En los últimos años, esta idea se ha traducido al diseño industrial mediante la implantación de los sistemas PAYT (*Pay-As-You-Throw*), que se basan en la reducción de impuestos fiscales mediante la identificación personal de los residuos y la evaluación de la calidad en la segregación de estos. La introducción de este tipo de sistemas en algunas localidades españolas como en Bellús, Valencia, ha sido exitosa, consiguiendo superar los objetivos fijados por el Gobierno de España y la Unión Europea (Cebriá, L., 2025). Otras iniciativas, como RECICLOS, desarrollada por Ecoembes, premian a los usuarios que depositan correctamente sus residuos en el contenedor amarillo: escaneando el código de barras que aparece en los envases aceptados y posteriormente el código QR de un contenedor amarillo, la aplicación identifica una correcta separación y otorga puntos al usuario que pueden ser canjeados por diferentes recompensas (Reciclos, 2024). Sin embargo, numerosos estudios señalan que la implantación de estos sistemas no es suficiente para mejorar la actividad ciudadana (Saldivia-Gonzatti et al., 2022; Rousta et al., 2017), sino que son más bien las mejoras en infraestructura de los sistemas de reciclaje las que implican efectos a largo plazo en el comportamiento de los ciudadanos (Rousta et al., 2017).

En este contexto, diseñar un sistema de contenedores que no solo sea eficiente, sino que también fomente la participación de la población es nuestra responsabilidad como diseñadores industriales. Estudios que analizan las poblaciones de Cataluña (Saldivia-Gonzatti et al., 2022) y Valencia (Moreno Solaz et al., 2023) nos ayudan a entender los comportamientos de sus habitantes y las deficiencias en sus sistemas de separación de residuos. En las localidades de Cataluña, los hogares sin hijos reciclan menos y un aumento de la densidad de población y el turismo están relacionadas con un decremento en la calidad de

separación de residuos (Saldivia-Gonzatti et al., 2022). Un sistema actualizado de gestión de residuos debería ser capaz de ayudar a paliar estas deficiencias encontradas. Por otro lado, en el caso de Valencia, los planes de acción que suponen una optimización tanto en las frecuencias de recogida de residuos como en la distribución de rutas de recolección parecen estar teniendo efectos positivos a corto plazo (Moreno Solaz et al., 2023). Así, un plan de recolección que trate de mejorar la concienciación de la población debería tener en cuenta diferentes puntos:

- **Concienciación y sensibilización:** La utilización de soportes publicitarios en los contenedores puede ser útil para informar y sensibilizar a los ciudadanos sobre la importancia del reciclaje y la correcta separación de residuos.
- **Diseño inclusivo:** El diseño de contenedores debe ser inclusivo, considerando las necesidades de todos los ciudadanos, incluyendo aquellos con discapacidad visual. La transición del uso exclusivo del color a señales auditivas y el uso de braille son ejemplos de cómo se puede mejorar la accesibilidad.
- **Información y transparencia:** Aplicaciones móviles como *City in touch* de Distromel (Distromel, 2023) permiten acercar el servicio de recogida de residuos al ciudadano de una manera transparente, informativa y participativa.
- **Comportamiento solidario:** La disposición de los contenedores en diferentes ubicaciones debe tener en cuenta la tendencia o no de los ciudadanos a llevar sus residuos a contenedores ligeramente más alejados de su domicilio, optimizando el despliegue.

2.7. Conclusiones del marco teórico

La investigación presentada a lo largo de este marco teórico permite identificar determinadas carencias presentes en el sistema de separación y recolección de residuos actual en España. A continuación, se exponen los puntos susceptibles de mejora en dos diferentes apartados: diseño e incentivo a la participación ciudadana y uso de materiales.

2.7.1. Carencias en diseño e incentivo a la participación ciudadana

Desde una perspectiva de diseño, gran parte de los modelos de contenedores más ampliamente extendidos (Fig. 1) presentan carencias significativas en términos de accesibilidad y ergonomía. En particular, las personas mayores, con movilidad reducida o que usan sillas de ruedas encuentran dificultades para acceder a las bocas de vertido, especialmente en los contenedores de carga superior o con tapas pesadas. Algunos ayuntamientos han comenzado a incorporar mejoras como pedales, sensores de apertura, bocas accesibles o pictogramas más claros, pero estas soluciones aún no están implementadas en todo el territorio.

Por otro lado, la integración estética de los contenedores en el entorno urbano no parece ser tomada en especial consideración durante el desarrollo de los mismos. A menudo, los contenedores se perciben como elementos invasivos y visualmente discordantes con el paisaje urbano, especialmente en zonas históricas, turísticas o de alto valor patrimonial. Además, en su gran mayoría, no cuentan con sistemas que faciliten su limpieza o vaciado, lo que disminuye su eficiencia y aumenta los costos de mantenimiento, a la vez que genera problemas de olores o derrames. Estas cuestiones conllevan consecuencias que van más allá de la propia funcionalidad básica de los contenedores y suelen provocar una percepción negativa de estos elementos como puntos sucios. Una consecuencia directa es la dificultad de mejorar las tasas de participación ciudadana y concienciación sobre la importancia de la población en las labores de separación. En algunos municipios se han ensayado soluciones alternativas, como la instalación de envolventes decorativas, paneles de madera o integración con bancos y jardines, pero siguen siendo medidas puntuales.

Por último, aunque algunos de los sistemas más recientes incorporan tecnologías de recogida inteligente (sensores de llenado, tarjetas de acceso o apertura, identificación del usuario, etc.), su implementación aún es limitada a nivel nacional. Esto evidencia un desfase entre los avances tecnológicos disponibles y su aplicación práctica en el diseño de sistemas de recogida más eficientes y orientados al usuario.

2.7.2. Carencias en el uso de materiales

La evolución de los materiales utilizados en la fabricación de contenedores de basura muestra el desarrollo histórico de la gestión de residuos y las prioridades de cada época. Se evidencia un proceso constante de mejora en funcionalidad, higiene, durabilidad y sostenibilidad. El reto actual y futuro reside en optimizar estos materiales para reducir su impacto ambiental sin comprometer su rendimiento y accesibilidad.

En síntesis, las limitaciones detectadas en términos de accesibilidad, integración estética, ergonomía, mantenimiento y uso de materiales sostenibles ponen de manifiesto la necesidad de replantear el diseño de los sistemas de recogida de residuos urbanos. Estas carencias justifican la propuesta de un sistema modular, capaz de adaptarse a diferentes contextos urbanos, facilitar el mantenimiento y la reparación, y mejorar la experiencia de uso tanto para los ciudadanos como para las instituciones responsables de su gestión. La modularidad, unida a la incorporación de materiales reciclados e innovaciones ambientales, se plantea, así como la vía más coherente para responder a los retos actuales de sostenibilidad y eficiencia en la gestión de residuos.

3. Diseño y desarrollo de la propuesta

Este apartado expone el proceso completo de diseño y desarrollo de la propuesta planteada, enmarcada dentro de un proyecto práctico orientado a la mejora del sistema de recogida de residuos urbanos mediante contenedores sostenibles e integrados estéticamente en el entorno urbano.

Se trata de un proyecto de **diseño y desarrollo de producto**, cuyo objetivo es ofrecer una solución innovadora, funcional y sostenible que responda a las necesidades del mercado. Para ello, se ha seguido la metodología *Design Thinking*, que ha permitido guiar el desarrollo de la propuesta desde la identificación del problema hasta la fabricación final del producto.

A lo largo de este apartado se detallan los objetivos planteados para la propuesta: el público objetivo, la definición de la metodología empleada y las diferentes fases del proceso de diseño desde la conceptualización inicial de la idea y la elaboración de bocetos, hasta el modelado 3D, los planos técnicos, los renderizados y la planificación temporal del proyecto.

3.1. Objetivo general de la propuesta

El objetivo general de este proyecto es desarrollar un sistema de contenedores modulares semisoterrados para la recogida selectiva de residuos urbanos, que integre innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental, accesibilidad y eficiencia operativa. La propuesta nace como respuesta a diversas carencias detectadas en los modelos actuales, tales como la escasa modularidad estructural, la falta de integración en el entorno urbano y la limitada incorporación de tecnologías ambientales activas.

El diseño contempla una estructura **modular, desmontable y adaptable**, que incluye un sistema de elevación optimizado y un **módulo de cultivo de microalgas** destinado a la captación de gases de efecto invernadero procedentes de la descomposición de la materia orgánica. Todo ello se conceptualiza desde una perspectiva funcional y estética, con el objetivo de integrarse armónicamente en el paisaje urbano.

Además de cumplir con funciones técnicas, esta propuesta busca **modernizar el mobiliario urbano asociado a la gestión de residuos**, optimizando el uso del espacio en la vía pública mediante un conjunto compacto de cinco contenedores que minimizan la superficie ocupada. El sistema añade valor desde tres perspectivas: **ambiental, educativa y estética**, en línea con los principios de la economía circular y los objetivos de sostenibilidad establecidos en el plan Closing the loop.

En conclusión, este proyecto pretende transformar el contenedor urbano en un elemento de valor añadido y capaz de contribuir a la eficiencia del reciclaje, a la revalorización del espacio público y a la concienciación ambiental de la ciudadanía.

3.2. Objetivos específicos de la propuesta

OE1. Conseguir un diseño funcional y modular

Diseñar un sistema semisoterrado de recogida de residuos estructurado en cinco módulos diferenciados para las fracciones orgánica, papel/cartón, plásticos/envases, vidrio y resto. Cada módulo contará con una boca de vertido accesible, un diseño estéticamente integrado y un diseño escalable que, al agrupar varios módulos, genere una única unidad visual. Esta propuesta busca facilitar el uso por parte de la ciudadanía, reducir el impacto visual en el entorno urbano y mejorar la eficiencia de los procesos de recogida.

OE2. Desarrollar un sistema de elevación eficiente

Seleccionar un mecanismo de elevación para el bastidor semisoterrado tras la evaluación de diferentes soluciones presentes en el mercado, prestando especial atención a: i) la facilidad de uso, ii) la simplicidad de mantenimiento, iii) el coste de operación, iv) la seguridad para el operario y v) su adaptabilidad a distintos entornos. La plataforma deberá permitir la elevación simultánea de los cinco módulos, garantizando su compatibilidad con vehículos de recogida de carga trasera y cumpliendo con normativas de seguridad y accesibilidad vigentes.

OE3. Integrar un módulo biorreactor para el cultivo de microalgas

Diseñar e incorporar un módulo experimental destinado al crecimiento de microalgas con el fin de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero generados en el interior de los contenedores. Este módulo aprovecha el CO₂ y otros residuos líquidos lixiviados, generando un subproducto con un valor añadido que puede ser utilizado como fertilizante agrícola. El diseño de este sistema se realizará buscando un bajo consumo energético, idealmente autónomo, haciendo uso de una placa fotovoltaica instalada en la parte superior del módulo. Además, se pretende optimizar el proceso de absorción de gases y su facilidad de mantenimiento.

OE4. Establecer un sistema de ensamblaje modular y reparable

Diseñar una solución constructiva basada en módulos ensamblables y fácilmente desmontables, que permita i) la sustitución individual de componentes dañados sin necesidad de desensamblar todo el sistema y ii) la elección del tipo de fracción al que se destina cada sistema. Esta característica pretende facilitar las labores de mantenimiento, reducir el coste de reparación y prolongar la vida útil del mobiliario urbano, favoreciendo un enfoque de diseño sostenible y económicamente eficiente.

OE5. Incorporar materiales sostenibles o reciclados en la fabricación

Analizar la viabilidad técnica y ambiental que supondría la incorporación de materiales reciclados, como bioplásticos, caucho reciclado, áridos reciclados, residuos de madera o material metálico reciclado. Dichos materiales serán utilizados tanto en los componentes estructurales subterráneos como en los elementos visibles del sistema. El objetivo es reducir la huella de carbono asociada al mobiliario urbano, fomentar el uso de materiales provenientes de residuos y dotar al sistema de una narrativa coherente con los principios de sostenibilidad e innovación ambiental.

3.3. Público objetivo

En este apartado se pretende explicar en qué sectores se han detectado necesidades o a qué perfil le reportaría beneficio la contribución y por qué, alineando estos datos a los del marco teórico. La identificación del público objetivo es fundamental en diseño industrial, ya que permite garantizar la eficiencia y la viabilidad de la propuesta. Conocer a quién se va a dirigir el producto y comprender sus necesidades, facilita el proceso de toma de decisiones relacionadas con los aspectos técnicos, estéticos y funcionales, lo que contribuye a una mayor aceptación social y asegurar que el producto cumpla con los objetivos planteados.

En la gestión de residuos se ha detectado la necesidad de mejorar los sistemas de recogida selectiva. Los modelos de contenedores de reciclaje actuales presentan carencias en cuanto a accesibilidad, integración estética, eficiencia operativa y sostenibilidad. Estas limitaciones afectan directamente tanto a las administraciones públicas y empresas de gestión de residuos como a la ciudadanía, lo que requiere de soluciones efectivas que respondan a las demandas del público objetivo, las cuales se detallarán en el apartado 3.3.4 Análisis de necesidades.

Para este proyecto, el público objetivo se ha segmentado en tres grupos: administraciones públicas, empresas destinadas a la gestión de residuos, y la ciudadanía general. A continuación, se detallan los intereses de cada uno de estos subgrupos.

3.3.1. Administración pública

Los ayuntamientos, diputaciones provinciales y gobiernos autonómicos son los principales responsables de la planificación, contratación y supervisión del servicio de recogida. Sus principales necesidades son optimizar recursos municipales, cumplir con la normativa ambiental vigente, mejorar la eficiencia y ofrecer infraestructuras que contribuyan a los objetivos de sostenibilidad y economía circular.

Figura 8. Ejemplo de perfil de usuario: Laura Torres, representante de la administración local en gestión de residuos.

Laura Torres



Laura coordina la planificación y evaluación de los sistemas de recogida selectiva en la ciudad. Su trabajo incluye analizar datos de generación de residuos, coordinar campañas de concienciación y supervisar la instalación de nuevos contenedores. Está siempre buscando soluciones que mejoren la eficiencia del servicio y reduzcan el impacto visual del mobiliario urbano.

Edad: 38
Género: Mujer
Localización: Barcelona
Ocupación: Técnica municipal de medio ambiente
Situación social: Vive con su pareja y su hijo
Intereses: Innovación en sostenibilidad urbana, gestión de proyectos, optimización de recursos
Frustraciones: Sistemas obsoletos, dificultades para integrar nuevas tecnologías sin sobrecostes, problemas de vandalismo y mantenimiento.


Elaboración propia

3.3.2. Empresas destinadas a la gestión de residuos

Incluye tanto personal del ayuntamiento como trabajadores de empresas concesionarias. Se encargan de la instalación, mantenimiento y operación del sistema. Este grupo valora especialmente la durabilidad de los materiales, la compatibilidad con los equipos existentes, la facilidad de vaciado y el bajo coste de mantenimiento.

Figura 9. Ejemplo de perfil de usuario: Miguel Herrera, profesional con más de 15 años de experiencia en la gestión de residuos urbanos.

Miguel Herrera



Miguel trabaja desde hace más de 15 años en la recogida de residuos urbanos. Conoce bien las limitaciones de los sistemas actuales: problemas de accesibilidad a los depósitos subterráneos, mecanismos de elevación que se bloquean y materiales que se deterioran rápidamente. Para él, un diseño eficiente significa menos averías, menos tiempo por recogida y mayor seguridad en su trabajo.

Edad: 46
Género: Hombre
Localización: Sabadell (Barcelona)
Ocupación: Operario de recogida y mantenimiento de contenedores
Situación social: Casado con dos hijos adolescentes.
Intereses: Seguridad laboral, herramientas y maquinaria eficientes, mantenimiento preventivo.
Frustraciones: Equipos pesados y difíciles de manejar, piezas de repuesto caras o difíciles de conseguir, falta de formación para operar nuevos sistemas.

Elaboración propia

3.3.3. Ciudadanía

Usuarios finales que realizan la separación y el depósito de los residuos. La propuesta debe atender a sus necesidades en cuanto a accesibilidad, ergonomía y facilidad de uso, prestando especial atención a aquellos usuarios con dificultades añadidas como son las personas de edad avanzada o con movilidad reducida. Factores como la ubicación de los puntos de recogida y la percepción estética del mobiliario condicionan su aceptación y uso continuado.

Figura 10. *Ejemplo de perfil de usuario: Carmen Ríos, ciudadana activa que valora la accesibilidad y la integración estética de los sistemas de residuos.*

Carmen Ríos



Carmen recicla de forma habitual, pero a veces le resulta difícil acceder a los contenedores, especialmente cuando las bocas de vertido están altas o los pedales son duros. Aprecia los diseños que se integran bien en la ciudad y que no generan malos olores en verano. Para ella, un sistema óptimo es aquel que le permita reciclar sin esfuerzo físico y que además sea estéticamente agradable.

Edad: 62
Género: Mujer
Localización: Tarragona
Ocupación: Jubilada
Situación social: Vive sola
Intereses: Vida activa en la ciudad, espacios públicos limpios y accesibles, actividades culturales.
Frustraciones: Contenedores poco accesibles, falta de información clara sobre cómo reciclar, olores desagradables.

Elaboración propia

3.3.4. Análisis de necesidades

La gestión de residuos urbanos en Europa hoy en día continúa siendo un reto crítico para las administraciones y la ciudadanía. Según datos recientes de [Eurostat \(2025\)](#), en la Unión Europea se generaron una media por persona de 511 kg de residuos municipales en 2023. Esta cifra, aún siendo ligeramente inferior a la del 2022 con 513 kg generados por persona ([European Commission, 2025b](#)), mantiene la tendencia al alza en presentada en la última década, con los datos de 2013 situándose en torno a 480 kg por habitante ([European Commission, 2025a](#)). Si bien cerca del 48 % de estos residuos son reciclados, el resto es destinado a vertederos o a procesos de incineración, generando un impacto ambiental considerable y evidenciando la necesidad de optimizar los sistemas de recogida y tratamiento de residuos ([European Commission, 2025a](#)). En este contexto, los entornos urbanos se enfrentan al desafío de mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental de sus infraestructuras, garantizando al mismo tiempo la integración estética y funcional.

Los contenedores convencionales presentan ciertas limitaciones relacionadas con el espacio superficial que ocupan, la falta de modularidad y su adaptabilidad a diferentes entornos. Por otro lado, existe una escasa incorporación de tecnologías que permitan mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de residuos. Del mismo modo, el impacto visual negativo de la mayoría de los sistemas actuales afecta a la percepción ciudadana, lo que puede reducir la implicación de la población en el proceso de reciclaje.

Las políticas de sostenibilidad urbanas señalan un amplio margen para incorporar soluciones tecnológicas que mejoren el rendimiento ambiental y operativo de los sistemas de recogida de residuos. De igual manera, como ya se ha comentado en el Marco Teórico, la aplicación de herramientas como la sensorización IoT para el control de llenado, las tecnologías de compactación automática o la monitorización remota permite optimizar las rutas de recogida, reduciendo costes y minimizando la huella de carbono asociada al transporte ([Redol Project, 2024](#)). Paralelamente, el desarrollo de aproximaciones ambientales activas como son los sistemas de filtración de aire, la biofiltración o el aprovechamiento de subproductos, representa una oportunidad para que las infraestructuras de contenedores convencionales no solo permitan la gestión de residuos, sino que generen beneficios ambientales adicionales.

Asimismo, se identifica la necesidad de que los sistemas de recogida desempeñen un papel activo en la educación y sensibilización ciudadana. La inclusión de elementos informativos, señalética clara o herramientas de retroalimentación inmediata puede favorecer la colaboración de la población en la separación de residuos y mejorar los índices de reciclaje. Este enfoque responde a la creciente demanda de estrategias que combinen eficacia operativa con impacto social positivo (Guna et al., 2022).

Por lo tanto, las necesidades detectadas son:

- **Optimización del espacio urbano:** reducir la superficie que ocupan los sistemas de recogida, favoreciendo un uso más eficiente del espacio disponible en entornos con alta densidad de población.
- **Integración estética:** desarrollar soluciones que se integren visualmente en el paisaje urbano, contribuyendo a un entorno más armónico y agradable.
- **Accesibilidad universal:** garantizar que el mobiliario urbano pueda ser utilizado de forma cómoda y segura por todas las personas, independientemente de su edad o condición física.
- **Eficiencia operativa:** implementar diseños que faciliten las tareas de recogida, mantenimiento y gestión, optimizando tiempos y recursos.
- **Innovación ambiental:** incorporar tecnologías o sistemas que contribuyan a la reducción del impacto ambiental, fomentando la transición hacia modelos más sostenibles.
- **Sostenibilidad de materiales:** utilizar materiales reciclados, reciclables o de bajo impacto ambiental que prolonguen la vida útil del producto y reduzcan la generación de residuos.
- **Concienciación ciudadana:** integrar elementos que promuevan el conocimiento y la implicación de la población en la correcta gestión de residuos y el cuidado del entorno.

3.3.5. Análisis de mercado. *Benchmarking*

El análisis de mercado es una fase esencial para comprender el estado actual de las soluciones disponibles en el sector de la recogida de residuos urbanos, identificar tendencias emergentes y detectar oportunidades para innovar en el sector.




Para la realización del estudio de mercado se ha llevado a cabo un *benchmarking*, un documento que recoge ejemplos de los contenedores urbanos de la competencia, seleccionados en función de su relevancia en cuanto a sostenibilidad, funcionalidad, integración estética y uso de tecnologías innovadoras. Este análisis comparativo permite identificar tanto las buenas prácticas como limitaciones recurrentes, aportando una visión completa del sector.




En la tabla 6 se presenta un resumen del benchmarking realizado, el cual se muestra en mayor detalle en el [Anexo 2](#) de este documento.





El análisis comparativo realizado evidencia que los sistemas de recogida de residuos urbanos han evolucionado hacia propuestas más modulares, estéticamente adaptables y con un uso creciente de materiales reciclables o duraderos. Sin embargo, también se han identificado limitaciones recurrentes, como la necesidad de obra civil compleja en los modelos semisoterrados, los elevados costes de mantenimiento o la falta de accesibilidad universal en determinadas soluciones.

A partir de la realización de este *Benchmarking* se ha detectado un espacio de mejora en la integración de sistemas que, además de ser funcionales y sostenibles, respondan a las demandas de accesibilidad, flexibilidad y eficiencia operativa.

Tabla 6. Resumen Benchmarking para el análisis de mercado.

Imagen	Marca	Modelo	Tipo de sistema	Materiales	Aspectos positivos	Aspectos negativos
	Sanimobel	PLP	Sistema compacto y modular para recogida separada de hasta 14 fracciones en zonas urbanas densas	Chapa de acero galvanizado pintada con pintura en polvo poliéster termo endurecida	Modular, adaptable, acerca el reciclaje al ciudadano	Requiere espacio, mantenimiento regular
	Molok	Domino	Contenedores semisoterrados modulares, personalizables y combinables	PEAD, acero galvanizado/inoxidable, madera tratada o compuestos	Modular, estética adaptable al entorno	Requiere obra civil, posible confusión sin etiquetas claras
	Drago	I-Recycle	Punto limpio modular de proximidad, recoge hasta 20 tipos de residuos (740 L)	Acero galvanizado/inoxidable, pintura en polvo poliéster	Alta versatilidad, admite muchas fracciones	Capacidad limitada en zonas de alta densidad, gestión exigente

	<p>Nord Engineering</p>	<p>Semi Underground</p>	<p>Contenedores semisoterrados de gran capacidad (3.000 a 5.000 L)</p>	<p>Acero galvanizado, revestimientos personalizables (madera, piedra, metal)</p>	<p>Gran capacidad, identificación electrónica, extracción optimizada</p>	<p>Requiere obra civil, vaciado con equipos especializados</p>
	<p>Molok</p>	<p>Classic</p>	<p>Contenedor semisoterrado cilíndrico (800 a 5.000 L), 60 % enterrado</p>	<p>PEAD, acero galvanizado, revestimientos locales (madera, piedra, cerámica)</p>	<p>Gran capacidad, personalizable, alta durabilidad</p>	<p>Requiere obra civil, vaciado con equipos especializados</p>
	<p>Sotkon</p>	<p>Qubus</p>	<p>Sistema semisoterrado (de 3 a 5 m³) que minimiza olores y espacio</p>	<p>PEAD, acero galvanizado, estructura de hormigón impermeable</p>	<p>Alta capacidad, control de olores y ruido, durabilidad</p>	<p>Requiere obra civil, vaciado con equipos especializados</p>
	<p>Bin-e</p>	<p>Smart Bin</p>	<p>Contenedor inteligente con IA, compactación y monitoreo en tiempo real</p>	<p>Estructura metálica, componentes electrónicos y mecánicos</p>	<p>Alta tecnología, compacta, datos en tiempo real, pantalla opcional</p>	<p>Coste elevado, mantenimiento especializado, gran tamaño</p>

	Bigbelly	Smart Max	Contenedor inteligente con compactación, incorpora energía solar y sensores	Acero galvanizado pintado, plástico reciclado, LDPE interior	Compactación alta, resistencia extrema, gestión remota, sostenible	Precio alto, mantenimiento especializado
	Contelagic	Serie Urban	Contenedor urbano resistente sin tecnología avanzada	PEAD reciclable, estructura metálica opcional, bisagras inoxidable	Gran capacidad, resistente, fácil manejo, bajo mantenimiento	Sin compactación, sin sensores o conectividad
	Conteneur	CL360	Contenedor urbano de carga lateral (2.750 L), accesible y personalizable	PEAD con refuerzo mineral, pedal inox, tapa con amortiguación	Diseño accesible, opción de sensorización, sostenible	Sin compactación, peso elevado
	Rototank	Rotocube	Contenedor industrial de alta capacidad para recogida mecanizada	PEAD rotomoldeado, estructura bilateral	Alta capacidad, diseño higiénico, versátil, normativas CE/DALCO	Requiere camiones especializados, sin tecnología inteligente

Elaboración propia

3.4. Metodología del trabajo

El desarrollo de este proyecto se ha llevado a cabo mediante la aplicación de la metodología *Design Thinking*, un enfoque de carácter iterativo y colaborativo que permite comprender en detalle las necesidades del usuario, la exploración de las diferentes alternativas y la validación continua de ideas. Por lo tanto, esta metodología no solo asegura que la solución planteada resuelva un problema funcional, sino que integre criterios de sostenibilidad, accesibilidad e innovación tecnológica, respondiendo así a las necesidades reales del público objetivo y del entorno urbano.

El proyecto ha sido desarrollado por los cuatro integrantes del grupo siguiendo una dinámica colaborativa, basada en reuniones de seguimiento semanales, sesiones de trabajo conjunto y mentorías periódicas con el tutor del Trabajo Fin de Máster en momentos clave del proceso. Todas estas acciones se han llevado a cabo gracias al uso de herramientas digitales como Microsoft Teams y Google Drive, ya que facilitaron la comunicación y el proceso de trabajo de los integrantes del grupo. Siguiendo con la dinámica de trabajo, el reparto de tareas se ha realizado de manera flexible en función de los conocimientos de cada integrante.

En cuanto a los recursos materiales utilizados, se han empleado técnicas de boceto manual y digital con la aplicación Procreate. Para el modelado 3D, la elaboración de planos, ilustraciones técnicas y generación de renderizados se ha utilizado el software Autodesk Inventor. Finalmente, para los renderizados también se ha utilizado la función de realidad virtual de los dispositivos Apple, lo que ha permitido validar con mayor claridad la integración estética del modelo en el entorno urbano.

El proceso metodológico seguido en el desarrollo del proyecto se ha estructurado en una serie de fases, que se detallan a continuación:

- **Fase 1. Planteamiento inicial:** se definen el objetivo general y los objetivos específicos de la propuesta, alineados con las necesidades detectadas en la gestión de residuos urbanos y con los principios de sostenibilidad.

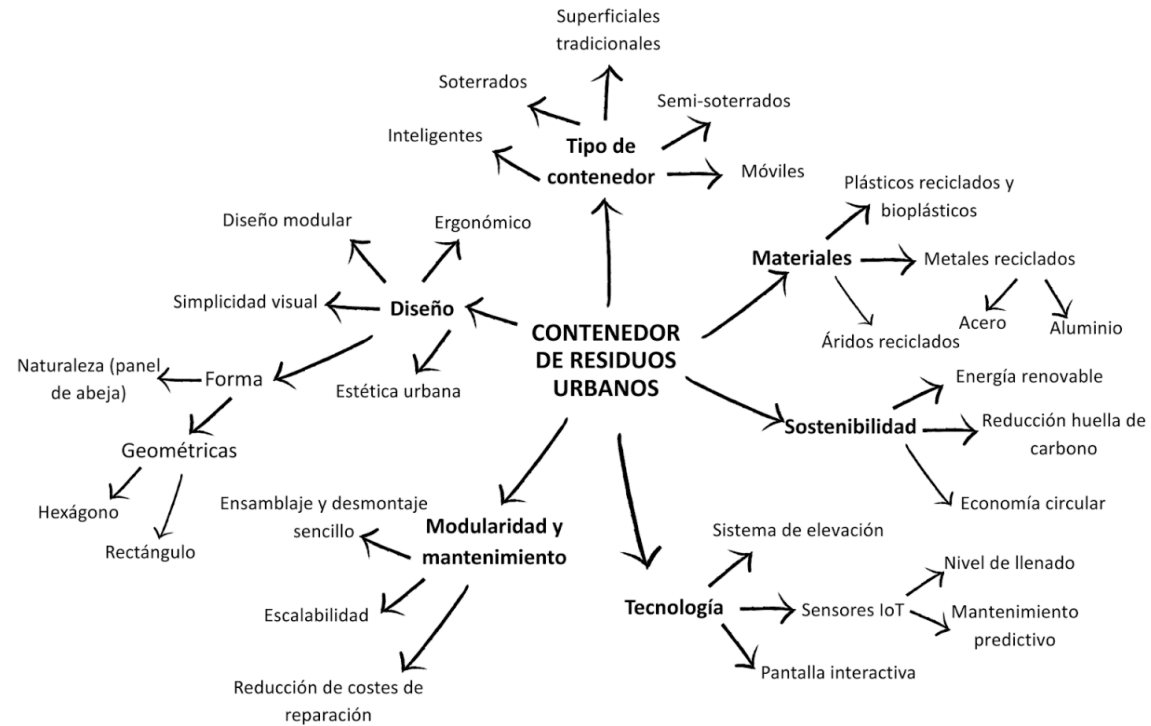
- **Fase 2. Exploración conceptual:** se elabora un mapa mental con el fin de identificar conceptos clave y posibles enfoques, complementado con una primera serie de bocetos de exploración que permite abrir un abanico de alternativas de diseño.
- **Fase 3. Selección de la propuesta:** se aplica la matriz multicriterio como método de evaluación cooperativo. Permite comparar los bocetos en función de criterios previamente definidos (funcionalidad, estética, sostenibilidad y viabilidad técnica) y seleccionar el modelo más adecuado.
- **Fase 4. Desarrollo de la propuesta:** se generan bocetos descriptivos que detallan la propuesta seleccionada. Esto sirve de base para el modelado 3D en Autodesk Inventor, donde se definen los materiales, estructura y el resto de elementos constructivos.
- **Fase 5. Definición técnica:** se elaboran planos e ilustraciones técnicas necesarios para detallar dimensiones, ensamblajes y funcionamiento del sistema.
- **Fase 6. Validación visual y funcional:** se realizan renderizados y análisis estructurales en Autodesk Inventor y simulaciones de integración en el entorno urbano mediante la función de realidad virtual de dispositivos Apple. Esto permite comprobar tanto la integración estética y funcional como la estabilidad estructural del modelo.

Este enfoque metodológico refleja el trabajo llevado a cabo por el equipo para desarrollar el TFM, garantizando un proceso de diseño estructurado, creativo y colaborativo. Gracias a ello, la propuesta final se presenta como una solución técnica, que además integra los principios de sostenibilidad e innovación que actualmente guían la gestión de residuos urbanos.

3.4.1. Mapa mental y primera exploración de ideas

En esta fase inicial se elabora un mapa mental con la finalidad de organizar de forma visual los conceptos clave que deben guiar el desarrollo del proyecto. Esta herramienta permite explorar abiertamente las distintas líneas de diseño e identificar conexiones entre los diferentes criterios de funcionalidad, estética, tecnología y sostenibilidad, aportando una primera visión estructurada que servirá de base para realizar los bocetos de exploración y así finalizar la primera fase del proceso de diseño. El mapa mental generado es presentado en la Figura 11.

Figura 11. Mapa mental de conceptos.



Elaboración propia

3.4.2. Realización de bocetos de exploración

Para continuar con la fase inicial, tras la elaboración del mapa mental, se procede a desarrollar los bocetos de exploración que permitirán conceptualizar las primeras ideas surgidas en el proyecto. En este proceso se han realizado un total de 18 bocetos conceptuales, de los cuales se presentan a continuación los 8 más representativos. Los 10 restantes se incluyen en el [Anexo 3](#) como bocetos descartados tras la etapa de exploración.

Estos bocetos han facilitado la exploración de alternativas en cuanto a diseño, estética, funcionalidad y forma, constituyéndose como un recurso fundamental para contrastar distintas posibilidades y sirviendo de base para la posterior selección del modelo mediante la matriz multicriterio.

Concepto 1. Integración de un módulo compostador

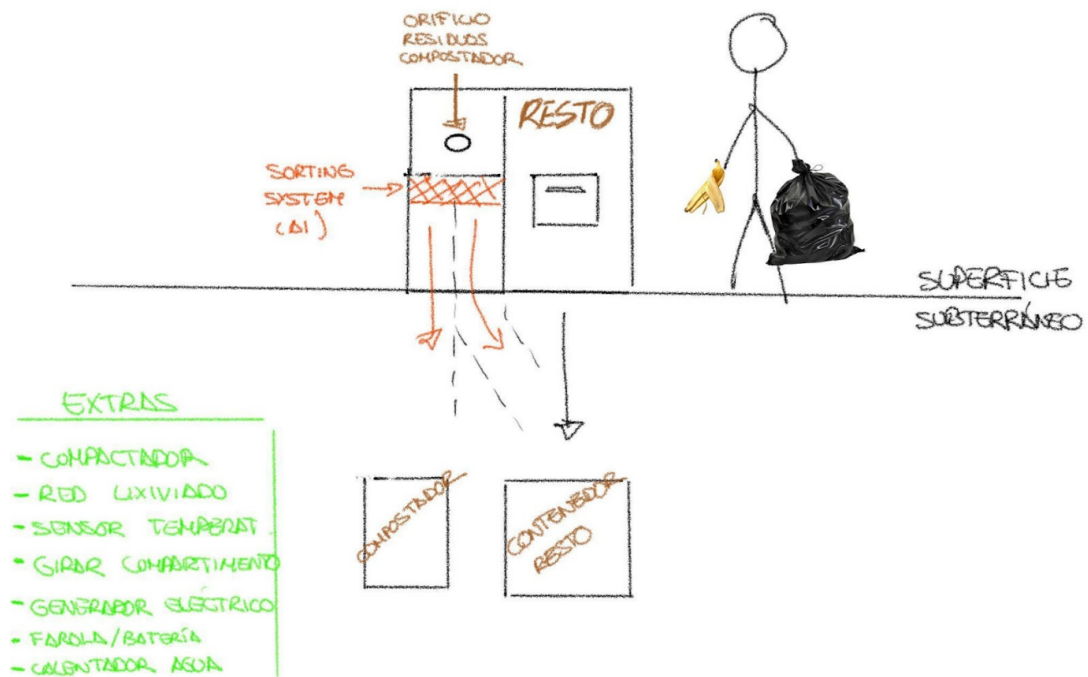
Este primer concepto surge de la necesidad de promover un mejor uso de las fracciones Orgánico y Resto. La tardía implementación en muchas localidades de un contenedor destinado únicamente a desechos orgánicos ha dificultado la creación de un nuevo hábito por buena parte de la ciudadanía, que tradicionalmente se deshacía de sus residuos orgánicos mezclados con aquellos destinados a la fracción resto.

Se propone así la implementación de un módulo compostador de uso comunitario junto al módulo Resto (Fig. 12). Los vecinos se ven incentivados a usar este compostador para verter sus desechos orgánicos, ya que al completar cada ciclo de compostaje el producto final queda a disposición pública. Los ciudadanos pueden repartirse este compost y verse beneficiados de manera directa por separar correctamente sus residuos.

Con el fin de mantener este compostador funcional, su orificio de entrada sería pequeño, de modo que cada residuo debe ser introducido de manera individual. Esto permite la identificación de cada elemento por un sistema integrado de inteligencia artificial. Si el residuo es identificado como apto para compostaje pasa por el conducto 1, con destino al compostador. Si no es apto, pasa al conducto 2, conectado al contenedor de fracciones Resto. La energía térmica producida durante el compostaje es aprovechada para cargar una batería

que aporta autonomía al mecanismo de identificación de residuos por inteligencia artificial. La batería, que también es cargada gracias a placas solares presentes en la zona superior del contenedor, puede ser usada para la recarga en la superficie de bicicletas eléctricas en caso de superávit energético.

Figura 12. Esquema del funcionamiento del módulo compostador acoplado a la fracción Resto.

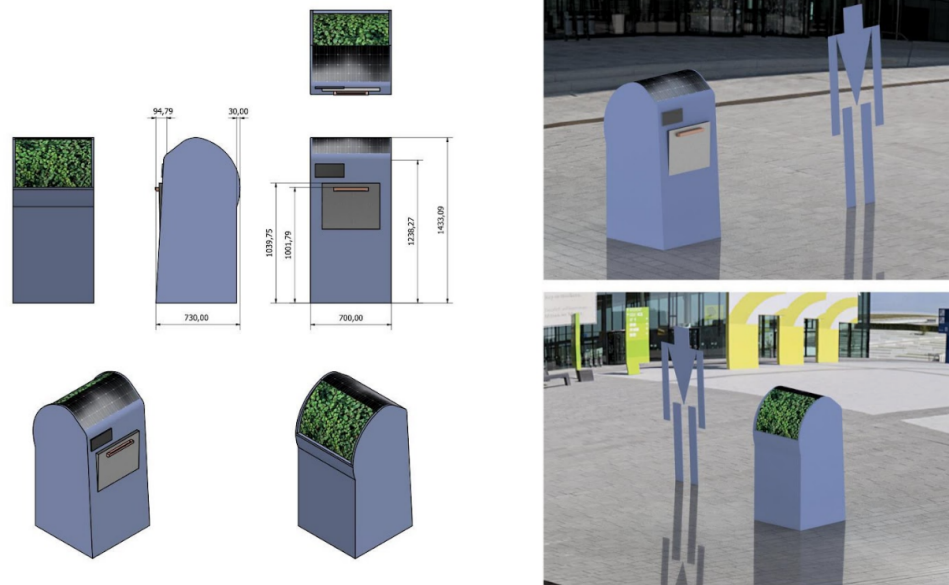


Elaboración propia

Concepto 2. Contenedor semisoterrado con macetero incorporado

Los malos olores y suciedad frecuentemente asociados a las zonas de contenedores son una de las razones por las que existe una percepción negativa de estos lugares por gran parte de la sociedad. Para paliar este problema, se propone la incorporación de un macetero en la zona posterior del contenedor que sirva para el cultivo de hierbas aromáticas como el jazmín. De este modo, la zona superior del contenedor queda dividida en dos partes, una destinada a la instalación de placas solares que aumenten la autonomía de las tecnologías informáticas y sensores que incorpora el sistema, y otra compuesta por una cavidad donde cultivar estas plantas (Fig. 13). Esta última quedará, si bien lo suficientemente profunda para alojar una cantidad de tierra adecuada para que las plantas puedan enraizar, seguiría suponiendo una parte mínima del conformado de modo que no conlleve un aumento sustancial del peso del conjunto.

Figura 13. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un macetero incorporado en la parte superior.

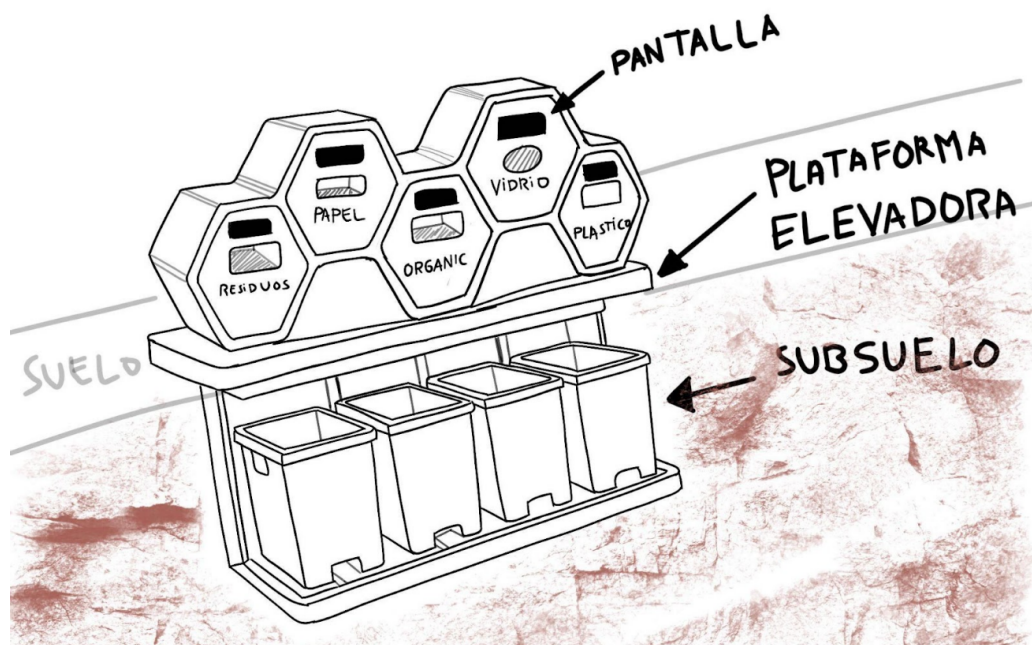


Elaboración propia

Concepto 3. Diseño modular basado en panales de abeja

En este caso, el diseño de la parte superficial del contenedor semisoterrado toma como referencia la geometría de los panales de abejas (Fig. 14). El uso de esta estructura permite optimizar el espacio y la resistencia del conjunto completo. Cada módulo hexagonal queda destinado a un tipo específico de residuo (papel, vidrio, plástico, orgánicos y generales), y es diferenciado por un sistema de colores y símbolos, creando un sistema de reciclaje intuitivo. Además, los contenedores incorporan una pantalla interactiva: al depositar los residuos, el sistema analiza la correcta clasificación y proporciona una retroalimentación instantánea, indicando si la separación se ha realizado de manera correcta. Más que un simple depósito de desechos, este diseño convierte el reciclaje en un acto consciente, casi lúdico, incentivando la participación mediante mensajes personalizados, acumulación de puntos o consejos ecológicos. La estructura semisoterrada no solo minimiza el impacto visual, sino que también optimiza la accesibilidad y la gestión de residuos.

Figura 14. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con geometría hexagonal con pantallas individuales.

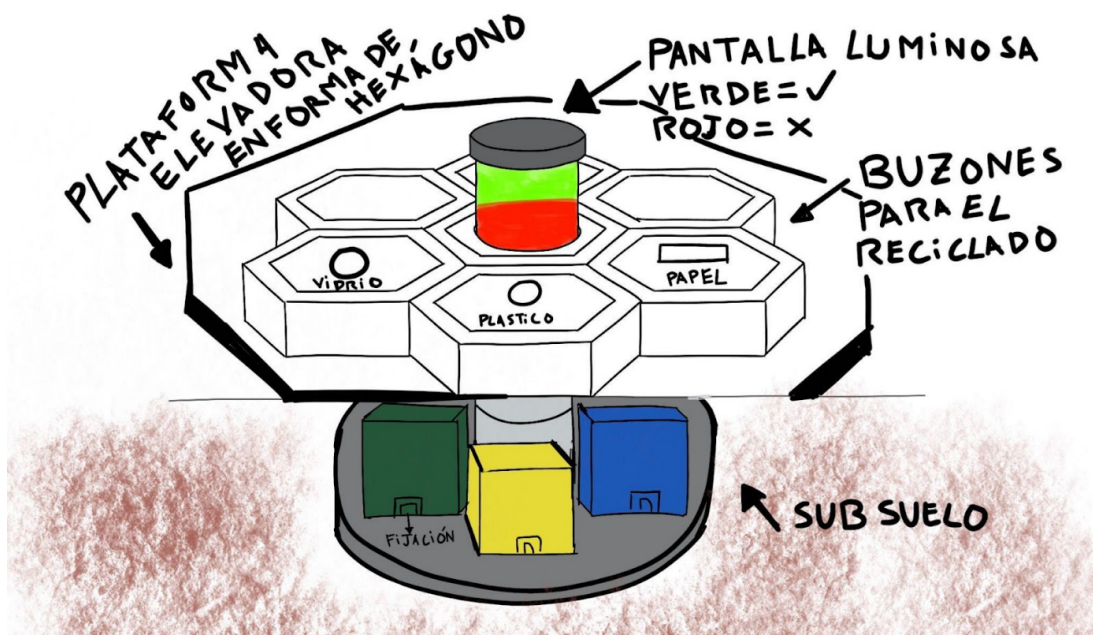


Elaboración propia

Concepto 4. Diseño modular basado en el uso de hexágonos y un panel central

Siguiendo la inspiración del diseño anterior, esta propuesta hace uso del hexágono como elemento repetitivo. En la Figura 15 se observa la introducción de una plataforma elevadora hexagonal para este sistema. Al igual que en el caso anterior, una tecnología de inteligencia artificial analiza la correcta deposición de los desechos por fracciones y, mediante una pantalla luminosa, proporciona información al usuario. En este caso, sin embargo, se trata de una pantalla central que se mostrará de color verde en caso de una separación correcta y en color rojo para mostrar un error. Este diseño optimiza el espacio en la vía urbana además de minimizar el impacto visual, integrándose con fluidez en el paisaje de la ciudad.

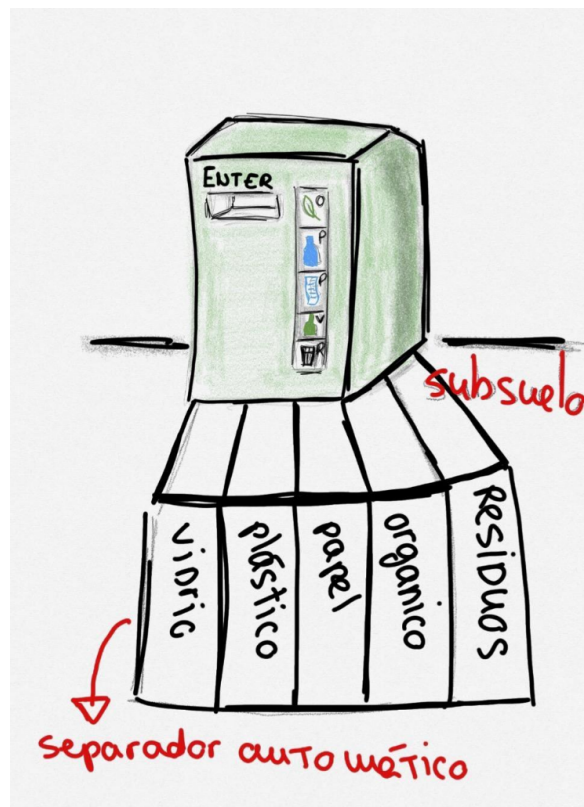
Figura 15. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con geometría hexagonal y pantalla central.



Elaboración propia

Concepto 5. Contenedor semisoterrado con separador automático de residuos

Dos tecnologías ya propuestas basadas en la integración de inteligencia artificial en el diseño se combinan en este concepto. Por un lado, la identificación y separación automática de los residuos, ya vista en el Concepto 1, y por otro, la aportación de retroalimentación al usuario mediante pantallas informando si ha realizado esta separación previamente de manera correcta (Conceptos 3 y 4). Mediante un único módulo superficial, la asignación por botones del tipo de fracción elegida permite la activación de mecanismos que conducen a compartimientos subterráneos diferenciados y el envío de los residuos a contenedores concretos (Fig. 16). Esta compartimentación, además, es cotejada por la tecnología presente en el propio sistema. El objetivo de este concepto es facilitar el reciclaje en entornos urbanos, reduciendo el impacto visual de los contenedores y optimizando el espacio público.



Elaboración propia

Figura 16. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un sistema de compartimentación automático integrado.

Concepto 6. Contenedor semisoterrado con sistema de apertura automática

Utilizando los Conceptos 4 y 5 como base, este diseño de contenedor semisoterrado está compuesto por cinco secciones triangulares que componen el área superior del módulo superficial (Fig. 17). Se incluye en la zona lateral un compartimento específico para recoger excrementos de perro (DOG) con el fin de mejorar la limpieza en parques públicos. El diseño incorpora botones destinados a cada tipo de residuo, que al ser pulsados permiten la apertura automáticamente de la sección correspondiente para que el usuario deposite sus desechos correctamente. Una pantalla adicional muestra mensajes que aportan información sobre la asignación realizada, reforzando el comportamiento positivo. Finalmente, el diseño exterior queda rodeado de plantas, como forma de generar una imagen más verde y amigable.

Figura 17. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un sistema de apertura automática.

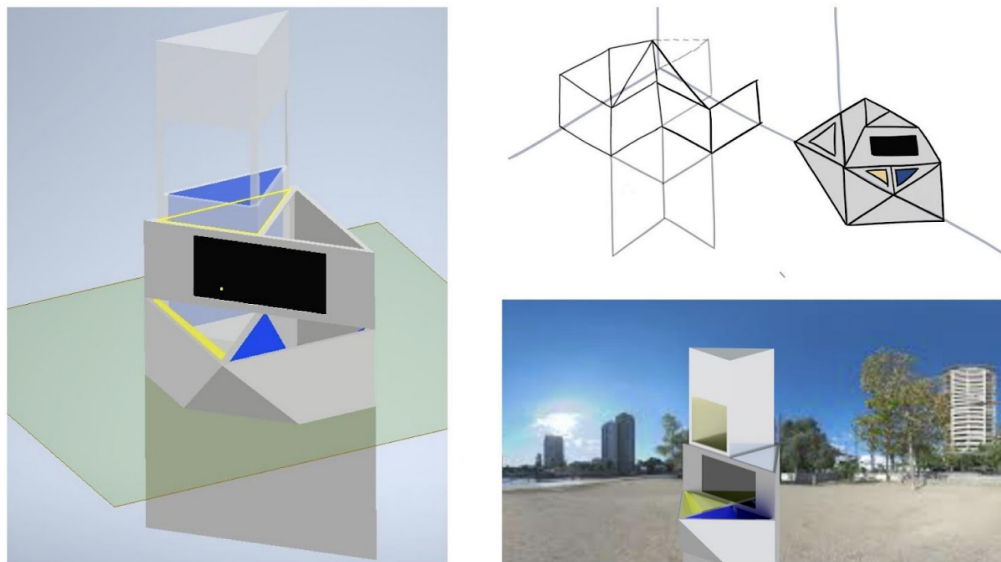


Elaboración propia

Concepto 7. Contenedor semisoterrado de formas poliédricas

Tras el estudio en los conceptos 3 y 4 del uso de formas hexagonales, esta propuesta se basa en el uso de geometría triangular, donde cada módulo se ensambla en una estructura en red que permite una organización flexible y adaptable (Fig. 18). Los contenedores están dispuestos en módulos poliédricos que se interconectan, para optimizar espacio y facilitar la separación de residuos por tipo. Cada unidad tiene zonas diferenciadas para entradas o señalización visual, aportando un diseño pensado tanto para funcionalidad como para integración estética en el entorno urbano.

Figura 18. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con formas poliédricas.



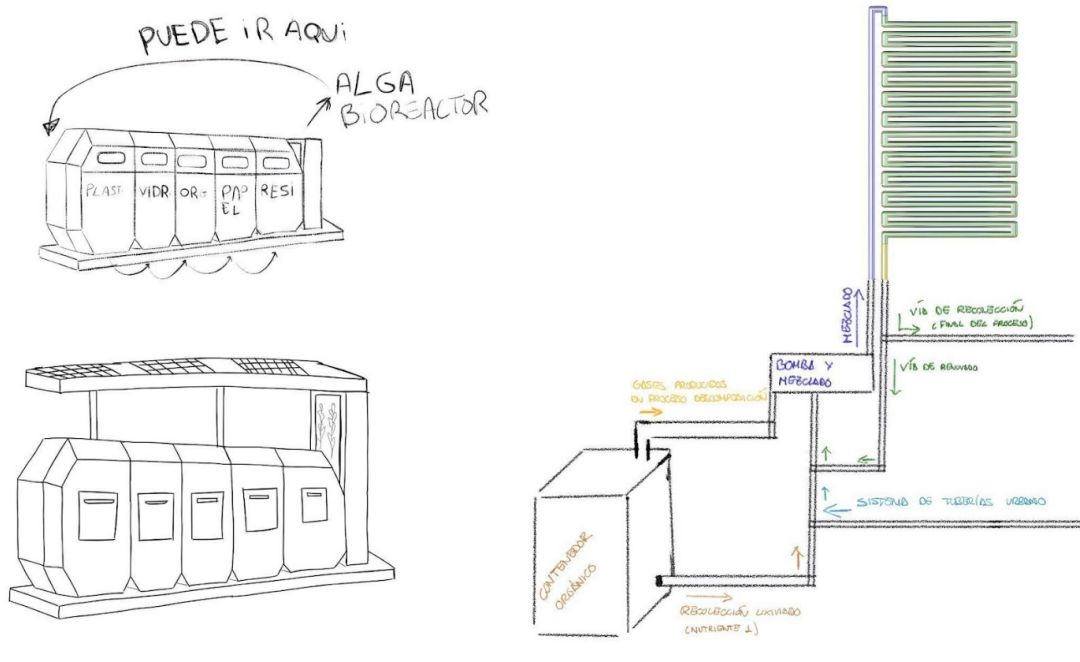
Elaboración propia

Concepto 8: Contenedor semisoterrado con módulo fotobiorreactor para el cultivo de alga

Esta propuesta se basa en varios principios que quedan representados en la Figura 19:

- Modularidad y uso eficiente del espacio en la calzada. Este sistema semisoterrado se compone de cinco módulos contenedor, cada uno de ellos destinado a una fracción diferente. Las zonas superficiales o 'buzones' correspondientes a cada uno de los módulos se encuentran en contacto, lo que disminuye el espacio total necesario para su instalación. La zona inferior es elevada mediante un mecanismo de elevación neumática.
- Facilidad en reparación o reemplazo. Los módulos, aunque interconectados entre sí, son capaces de desmontarse y separarse fácilmente.
- Apuesta por la economía circular y el aprovechamiento de todos los recursos y procesos. La incorporación de un módulo adicional de cultivo de cultivo de microalgas permite:
 - Eliminar los gases producidos en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos y hacer uso del lixiviado producido durante el mismo proceso como nutrientes para el cultivo de microalgas.
 - Obtener un nuevo producto final, un cultivo de microalgas, que puede ser utilizado como fertilizante para las zonas verdes de la ciudad.

Figura 19. Conceptualización de un diseño de contenedor semisoterrado con un módulo integrado para el cultivo de microalgas.



Elaboración propia

3.4.3. Matriz multicriterio para la evaluación de las propuestas indicadas

Tras la fase de generación de bocetos, se inicia la tercera etapa del proceso de diseño, donde se lleva a cabo un proceso de selección con el objetivo de identificar la propuesta más adecuada para continuar con el desarrollo del proyecto. Para ello, se utiliza una matriz multicriterio, herramienta que permite comparar de manera objetiva las diferentes ideas planteadas en los bocetos de exploración a partir de una serie de parámetros definidos previamente por los integrantes del grupo.

Los criterios de evaluación definidos fueron los siguientes:

- **Modularidad:** capacidad del sistema para incrementar el número de compartimentos con el fin de satisfacer diferentes necesidades en entornos urbanos diversos mediante un sistema flexible y combinable.
- **Sostenibilidad:** uso de materiales reciclados o reciclables, apoyo a la economía circular y reducción del impacto ambiental.
- **Accesibilidad:** facilidad en el uso y acceso por parte de la ciudadanía, incluyendo personas con movilidad reducida u otras limitaciones.
- **Integración en el paisaje:** adaptación en la estética urbana.
- **Viabilidad funcional:** adecuación del diseño a los requisitos técnicos y operativos de los sistemas de recogida de residuos.
- **Viabilidad económica:** relación entre coste y beneficio, considerando la fabricación, la implementación y el mantenimiento del sistema.
- **Incentivo al reciclaje:** potencial del diseño para incentivar a la ciudadanía a separar correctamente los residuos mediante elementos pedagógicos o interactivos.

Cada concepto fue puntuado en una escala del 1 al 5, siendo 1 la puntuación menos favorable y 5 la más favorable. Esta evaluación se ha realizado de manera colaborativa por los cuatro integrantes del grupo, donde posteriormente se suman las puntuaciones obtenidas para cada concepto obteniendo como resultado un modelo seleccionado. La ponderación de cada criterio es igual para todos ellos.

La matriz elaborada se presenta en la tabla 7, incluyendo un resumen de las puntuaciones y observaciones correspondientes a los ocho conceptos evaluados.

Tabla 7. Matriz multicriterio para la evaluación de las ocho propuestas indicadas.

Propuesta	Modularidad	Sostenibilidad	Accesibilidad	Integración paisaje	Viabilidad funcional	Viabilidad económica	Incentivo al reciclaje	Total	Observaciones
1	2	4	1	2	2	1	4	16	Requiere un plan de mantenimiento riguroso para evitar malos olores. Necesita simplificar la interacción con el usuario para no desincentivar su uso.
2	1	2	3	4	2	3	1	16	Añadir más valor funcional: sensores o mecanismo de gestión de residuos. El uso de vegetación no justifica el valor de la sostenibilidad.
3	4	3	4	4	4	2	5	26	Reducir coste y complejidad de pantallas (riesgo de vandalismo). Posible versión más simple con app móvil o indicadores LED en lugar de pantallas grandes.
4	4	3	4	4	4	3	3	25	Mejorar el atractivo hacia el usuario con funciones adicionales (ej. gamificación o datos de reciclaje).
5	2	3	5	3	5	1	4	23	Necesita simplificar la mecánica y abaratar costes. Alto riesgo de fallos técnicos: modo manual alternativo.
6	3	3	4	4	3	2	3	22	El compartimento DOG requiere mantenimiento especial (bolsas, limpieza frecuente).
7	4	3	3	4	2	3	2	21	Ajustar diseño para mejorar logística de recogida. Riesgo de priorizar estética frente a eficiencia: habría que validar funcionalidad real en pruebas piloto.
8	5	5	4	5	5	4	5	33	Asegurar viabilidad técnica del módulo de microalgas con pruebas piloto. Controlar costes de instalación. Garantizar la seguridad del sistema frente al vandalismo.

Elaboración propia

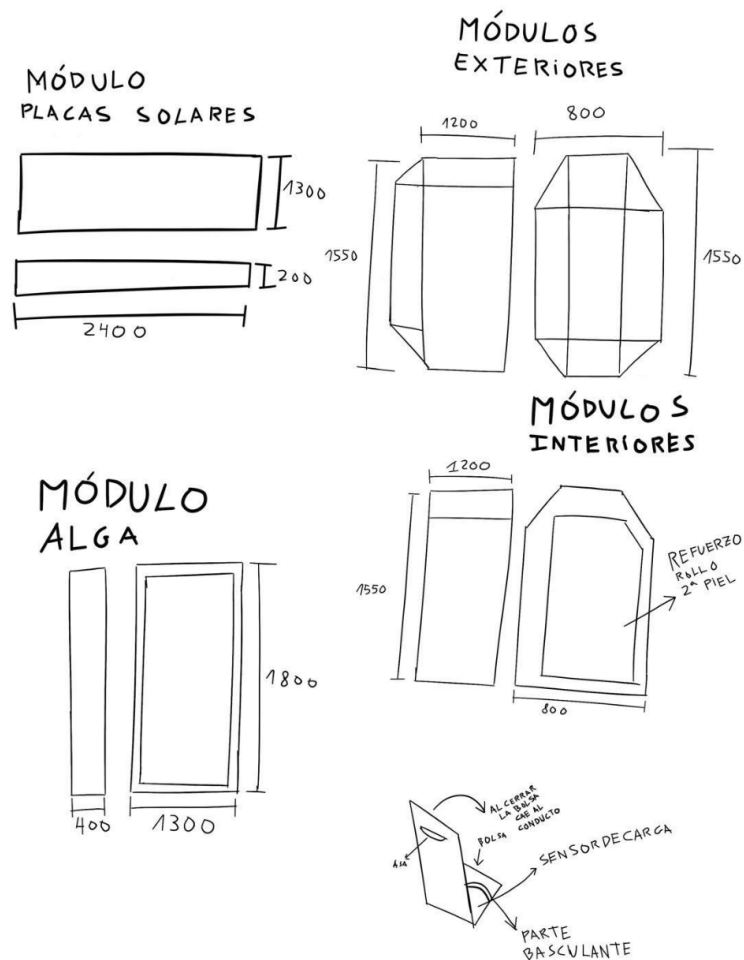
Los resultados muestran que el concepto 8 ha alcanzado la puntuación más elevada (33 puntos), destacando por su modularidad, su innovación en cuanto a sostenibilidad y su integración estética. Como otras alternativas viables se identifican los conceptos 3 y 4 (25 y 26 puntos respectivamente), ambos basados en geometrías hexagonales y centrados en la interacción con el usuario, aunque con grandes limitaciones en términos de coste y resistencia al vandalismo.

En conclusión, empleando una matriz multicriterio se estima la idoneidad del concepto 8 como propuesta final para continuar con su evolución, al ser la opción que mejor responde a los objetivos planteados en este proyecto. Este diseño integra modularidad, estética y funcionalidad dentro del entorno urbano gracias a su sistema semisoterrado. La incorporación de un módulo de microalgas aporta valor añadido en términos de sostenibilidad, al transformar los gases y lixiviados en un recurso útil. Además, su montaje sencillo facilita el mantenimiento y prolonga la vida útil del sistema, lo que hace que se trate de una propuesta coherente con los principios de sostenibilidad y economía circular.

3.4.4. Bocetos descriptivos

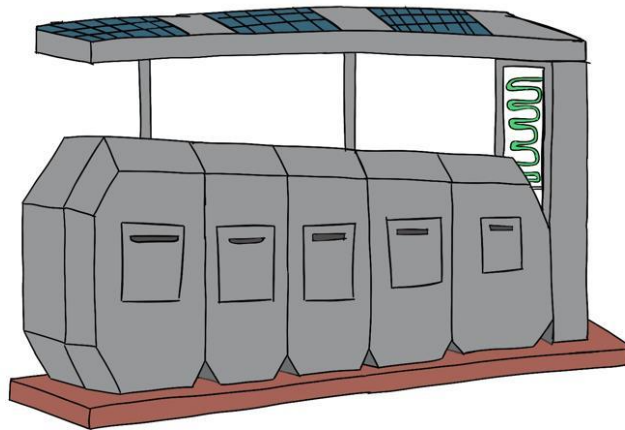
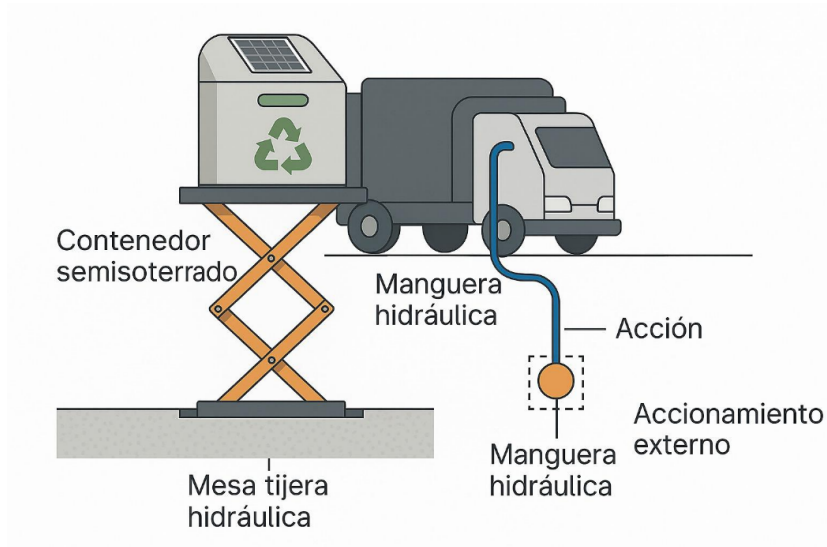
En la fase cuatro de desarrollo del proyecto se presentan los bocetos descriptivos, cuya finalidad es detallar y comunicar con mayor claridad los aspectos fundamentales del diseño. En estos bocetos se incluyen representaciones que muestran las dimensiones y las proporciones del sistema (Fig. 20), y se incorporan vistas en perspectiva isométrica que permiten visualizar su configuración espacial en el entorno urbano (Fig. 21). A ello se suma un esquema del funcionamiento general del sistema y un *storyboard* (Fig. 22) que ilustra de manera gráfica la interacción del usuario con el producto en situaciones cotidianas.

Figura 20. Bocetos descriptivos con dimensiones y proporciones del concepto a desarrollar.



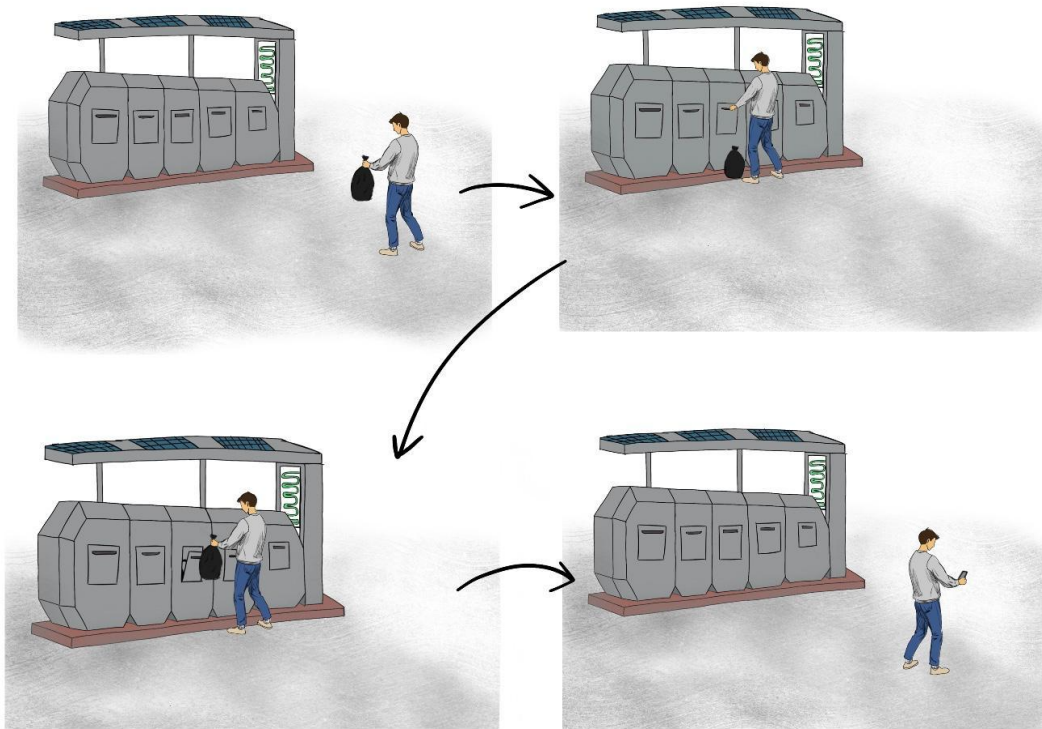
Elaboración propia

Figura 21. Bocetos descriptivos para la previsualización del sistema en el entorno urbano.



Elaboración propia

Figura 22. Storyboard de la interacción del usuario con el producto en situaciones cotidianas.



Elaboración propia

3.4.5. Proceso de modelado 3D

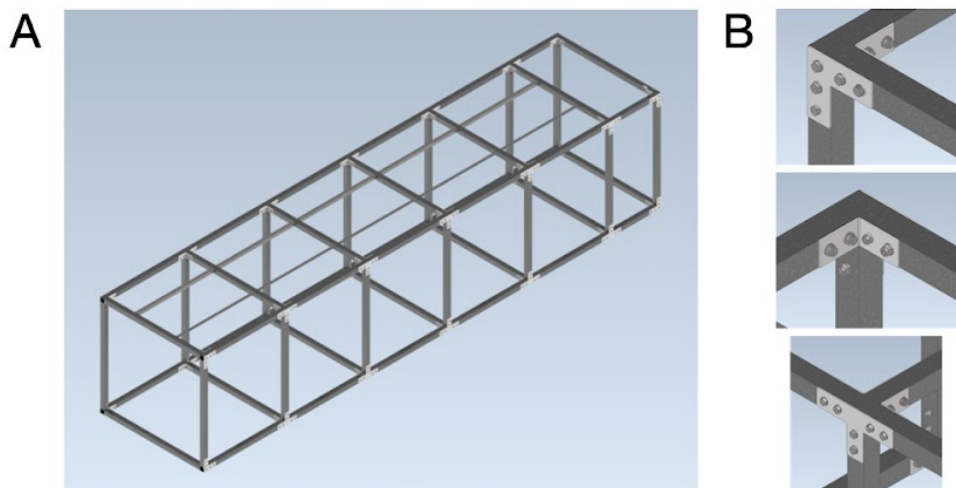
El proceso de modelado forma parte de la fase 4 de desarrollo de la propuesta, y tiene como finalidad trasladar las ideas conceptuales a un diseño técnico detallado y preparado para su futura fabricación. Para ello, se emplea el software Autodesk Inventor, que permite generar modelos 3D con gran precisión y realizar análisis estructurales para estudiar la viabilidad del diseño y renderizados con la herramienta Autodesk Inventor Studio.

Por lo que respecta a nuestro modelo, el diseño 3D se dividió en tres partes: la estructura soterrada, los módulos superficiales y el módulo del biorreactor de microalgas. Este enfoque permite abordar de manera ordenada tanto la geometría de la parte superficial como la definición interna del sistema semisoterrado así como facilitar a los miembros del equipo de trabajo repartir de forma estructurada las tareas de modelado 3D.

3.4.5.1. Parte soterrada

El modelado de la parte soterrada se inicia con el diseño de un bastidor metálico rectangular (Fig. 23A), que sirve como estructura común para sostener todos los módulos, con capacidad para resistir cargas verticales de hasta 1.000 kg por módulo y preparado para su elevación mediante un sistema hidráulico de doble pistón. Para el diseño de la estructura, se han elegido perfiles de sección cuadrada de acero galvanizado S275JR, de 60 x 60 mm de sección y 3 mm de espesor (Fig. 23B). Las uniones entre los perfiles del bastidor se han diseñado mediante uniones atornilladas utilizando tornillería M10 DIN-931, donde la parte del vástago del perno sin rosca absorbe los principales esfuerzos, reduciendo así el riesgo de rotura por cizalladura. Estas uniones se complementan con arandelas DIN-125 y tuercas autoblocantes DIN-985, fijadas a través de pletinas reforzadas que garantizan la estabilidad estructural. Esta solución evita el uso de soldaduras y aporta diferentes ventajas: rápido montaje de los módulos para tareas de mantenimiento y facilita el modularidad total del sistema, al permitir el ensamblaje o sustitución de módulos de manera independiente.

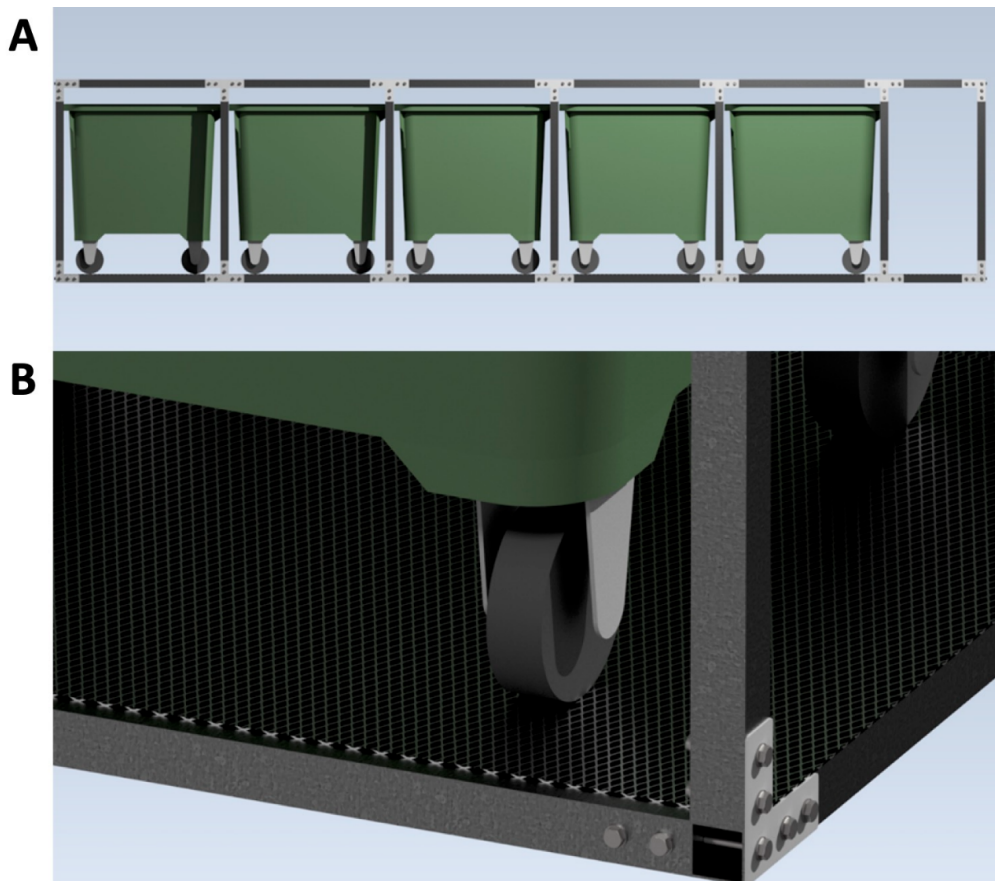
Figura 23. *Diseño de un bastidor metálico rectangular (A) y uniones de perfiles (B).*



Elaboración propia

En cuanto a la división del bastidor (Fig. 24A), la estructura consta de seis cavidades independientes, una centrada en ubicar todos los componentes necesarios para el módulo del biorreactor de algas, y el resto para incorporar los contenedores de residuos soterrados correspondientes a cada fracción de residuo: orgánico, papel/cartón, plásticos/envases, vidrio y resto. Para definir dimensiones de los cubículos, se ha usado como referencia las medidas estandarizadas de ancho, altura y profundidad, con el objetivo de albergar un contenedor de carga trasera estándar. El suelo elegido para el soporte de los contenedores es chapa de 3mm de espesor de acero galvanizado S275JR. Dicha chapa tiene una textura rugosa en forma de rombos con la finalidad de impedir el deslizamiento de los contenedores.

Figura 24. División del bastidor metálico (A) y detallado del suelo (B).



Elaboración propia

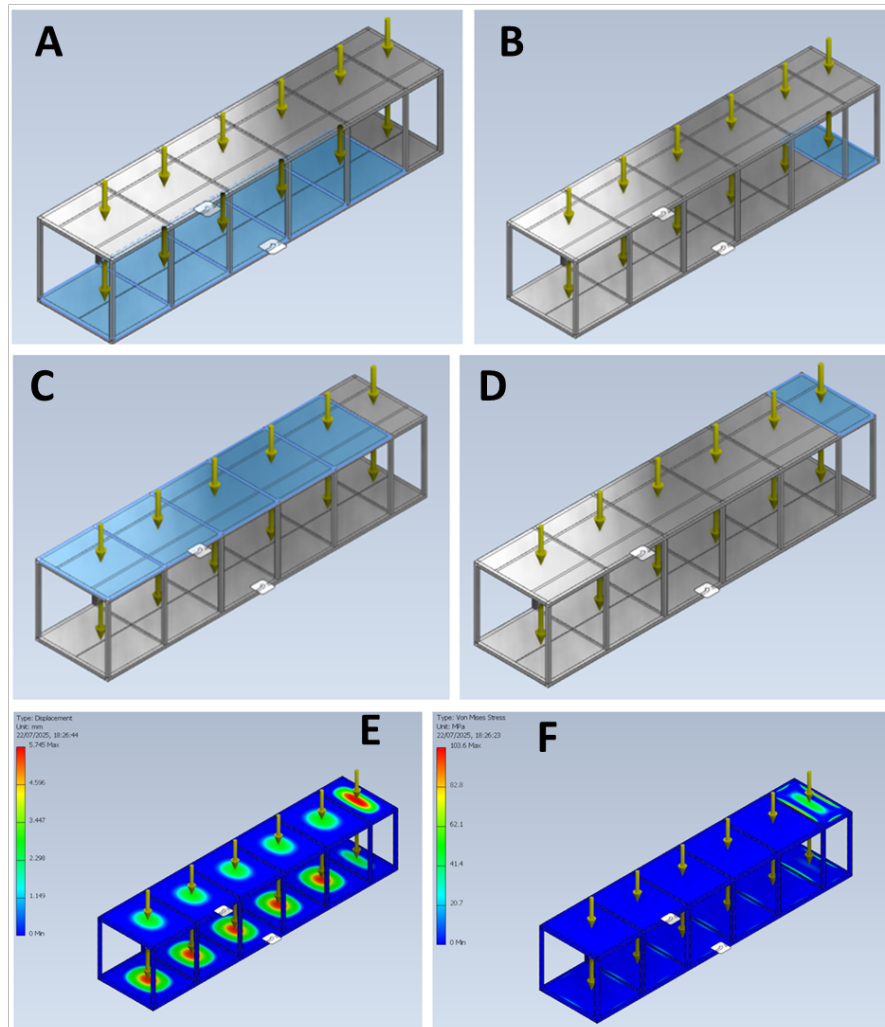
Una vez finalizado el diseño del bastidor, se realizó un análisis de resistencia simulando las cargas que debería soportar una vez quedaran instalados el resto de elementos de la parte superficial.

Para la simulación, se han aplicado las cargas de la siguiente manera:

- En los cubículos de los contenedores (Fig. 25A), se ha utilizado una carga de 8000N. Dicha carga resulta de aplicar un factor de seguridad de 1,2 a un peso estimado de 640 kg (peso del contenedor junto con el peso de los residuos).
- El módulo situado en el extremo derecho (Fig. 25B), donde se ubican los útiles necesarios para el biorreactor, se ha utilizado una carga de 1500 N. Esta carga únicamente contempla el peso del operario que va a realizar el mantenimiento, ya que el equipamiento del biorreactor se sitúa directamente anclado a los pilares de la estructura.
- En la base superior donde se sitúan los buzones de recogida de residuos (Fig. 25C), se ha aplicado una carga de 2500 N. Esta carga se obtiene de la suma del peso del módulo, 1150 N aproximadamente, y el peso de un adulto medio, 850 N, y todo ello mayorado con un coeficiente de 1,2.
- En la superficie donde se unirá el módulo del biorreactor (Fig. 25D), se utiliza una carga de 4000 N, correspondiente al peso del armazón, las placas solares, todas las tuberías del sistema y el líquido del interior.

En esta primera iteración del diseño (Fig.25 E y F), el análisis inicial evidenció que esta estructura no garantiza un factor de seguridad suficientemente válido para poder ser utilizado en la vía pública.

Figura 25. Aplicación de cargas y resultado del análisis de Von Mises y deformaciones para la primera iteración.



Elaboración propia

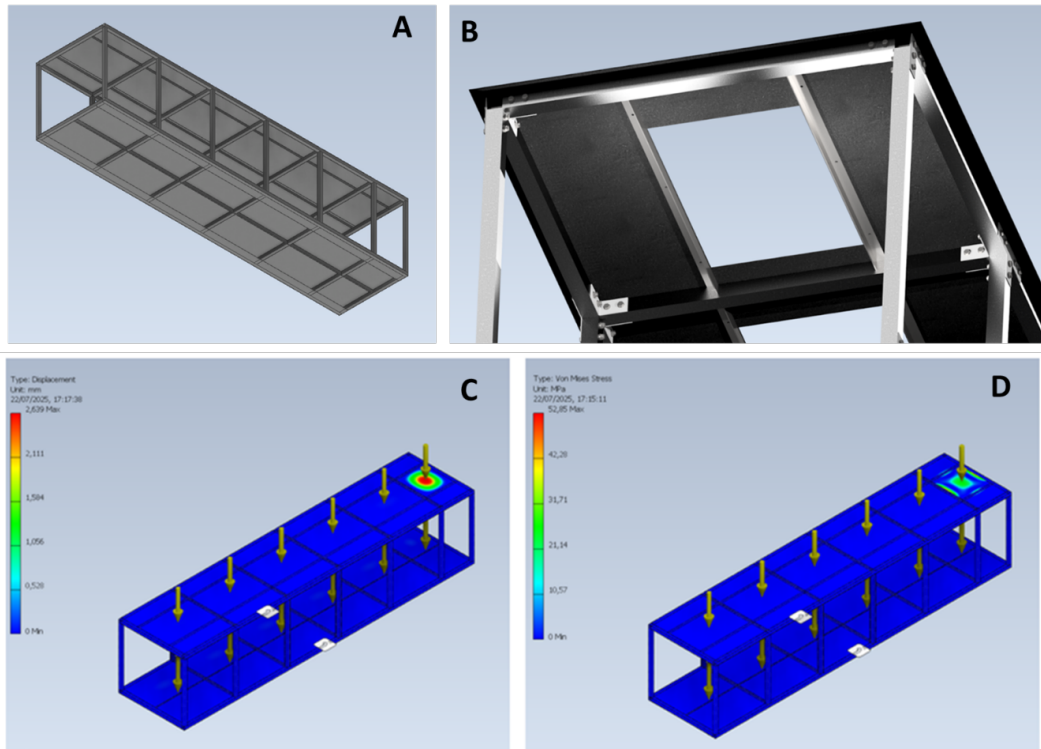
- A,** Aplicación de cargas en la zona de los contenedores estándar parte inferior del bastidor.
- B,** Aplicación de cargas en la zona del biorreactor parte inferior del bastidor.
- C,** Aplicación de cargas en la zona de los buzones de vertido parte superior del bastidor.
- D,** Aplicación de cargas en la zona del biorreactor parte superior del bastidor.
- E,** Resultados para el análisis de deformaciones.
- F,** Resultados para el análisis de Von Mises.

En la segunda iteración del diseño, se plantea incorporar refuerzos tubulares de acero galvanizado de sección rectangular de 20x60 mm y 3 mm de espesor, colocados en el centro del bastidor (Fig. 26A). Estos refuerzos ayudan a mantener el peso de los contenedores y asegurar que la base de la estructura no sufra deformaciones.

Para reforzar la superficie de unión del bastidor con los buzones de vertido y el módulo del biorreactor, se incorporaron refuerzos en forma de L de 40 x 40 mm de acero galvanizado S275JR (Fig. 26B).

Se realiza un nuevo análisis estructural (Fig. 26 C y D), donde se confirma que el uso de refuerzos elimina las deformaciones en la superficie inferior. Por otro lado, en la superficie superior en la zona del biorreactor se percibe una deformación de 2,63 mm, lo que no supone un impedimento para el desarrollo del sistema.

Figura 26. Alternativa de diseño y resultado del análisis de Von Mises y deformaciones para la segunda iteración.



Elaboración propia

A, Vista inferior del bastidor con refuerzos

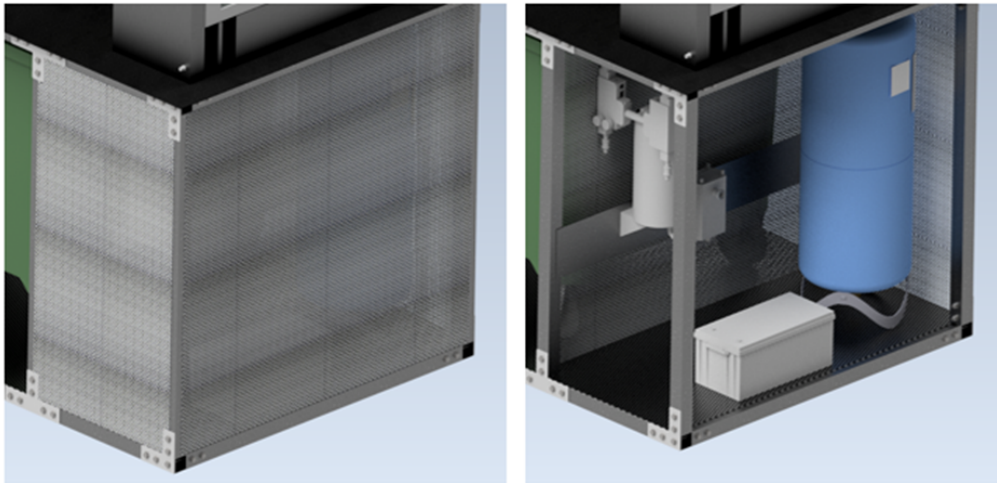
B, Detalle de refuerzos y unión con los módulos exteriores.

C, Resultados para el análisis de deformaciones.

D, Resultados para el análisis de Von Mises.

Siguiendo con el diseño del bastidor, como se ha comentado anteriormente, se diseña un pequeño cubículo para albergar todo el equipamiento necesario relacionado con el biorreactor (Fig. 27). Como los componentes son delicados, se cierra con unas paredes y una cancela con el propósito de proteger todo el equipo. De esta manera sólo es accesible para el personal cualificado y se reduce el riesgo a recibir impactos.

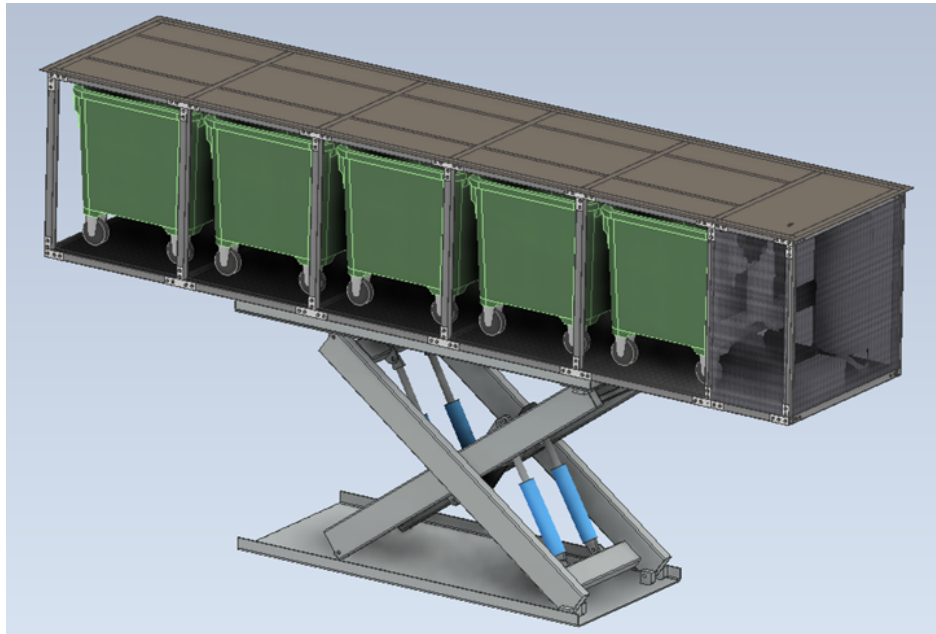
Figura 27. *Detalle de cancela y equipamiento del biorreactor.*



Elaboración propia

El sistema de elevación planteado es una mesa elevadora o también comúnmente conocida como mesa tijera (Fig. 28.). La unión de esta con el bastidor se realiza mediante tornillería con el objetivo de facilitar los procesos de mantenimiento.

Figura 28. *Conjunto detalle de mesa elevadora con bastidor.*

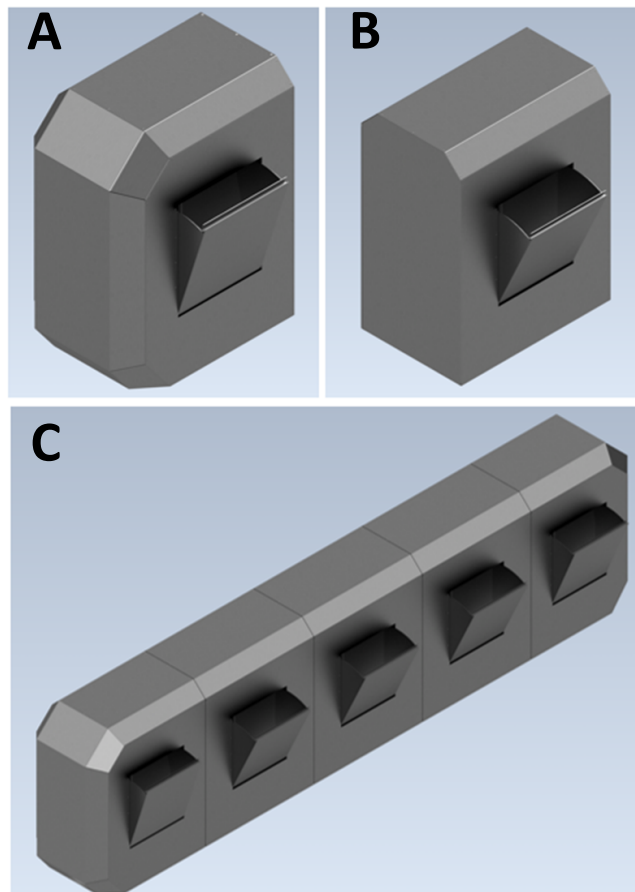


Elaboración propia

3.4.5.2. Parte superficial

El diseño de la parte superficial se ha planteado a partir de una estrategia modular simétrica, que permite organizar los cinco buzones de vertido mediante la combinación de dos tipos de módulos: uno central (Fig. 29A) y otro de esquina (Fig. 29B). Gracias a esta configuración, el sistema puede escalar fácilmente a un mayor número de fracciones sin necesidad de rediseñar las piezas. Aunque estructuralmente se trata de módulos independientes, al ensamblarse transmiten la apariencia de un único cuerpo compacto y coherente, reforzando la integración estética en el entorno urbano.

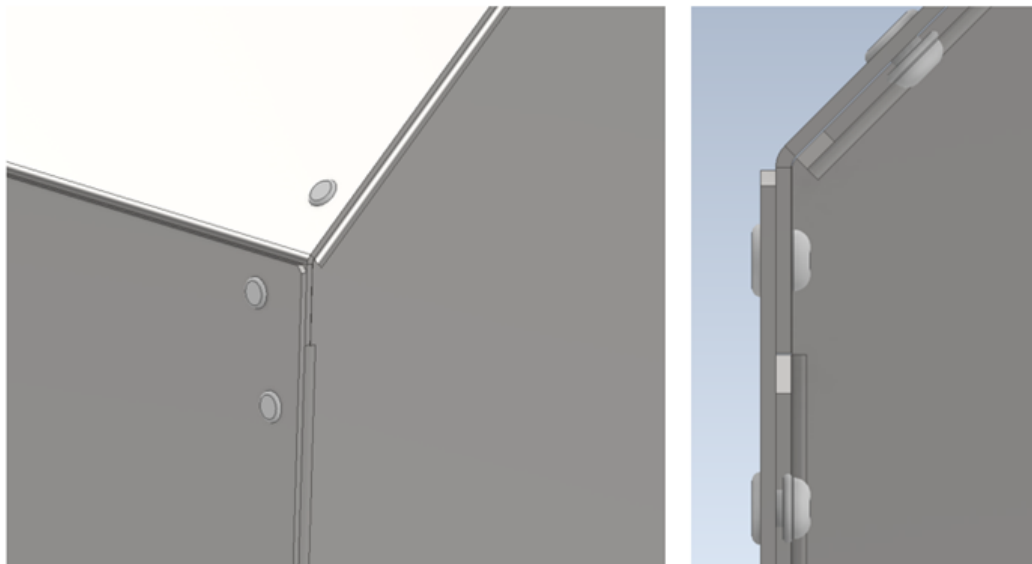
Figura 29. Detalle módulo esquina (A), módulo central (B) y unión de 5 módulos (C).



Elaboración propia

Los buzones de vertido se han diseñado con chapa de acero inoxidable AISI 317 de 2 mm de espesor. Este material es muy utilizado en mobiliario urbano por tener gran resistencia a la corrosión y durabilidad. Del mismo modo, se ha planteado el uso de chapa metálica, ya que este material permite obtener acabados de alta calidad mediante procesos de conformado como el corte por láser y el plegado. Estas técnicas, además de ser fácilmente accesibles en la industria, aseguran una gran precisión dimensional y permiten optimizar los costes de fabricación. La unión de las piezas se realiza mediante remaches (Fig. 30), una solución que permite agilizar los procesos de montaje y mantenimiento del módulo.

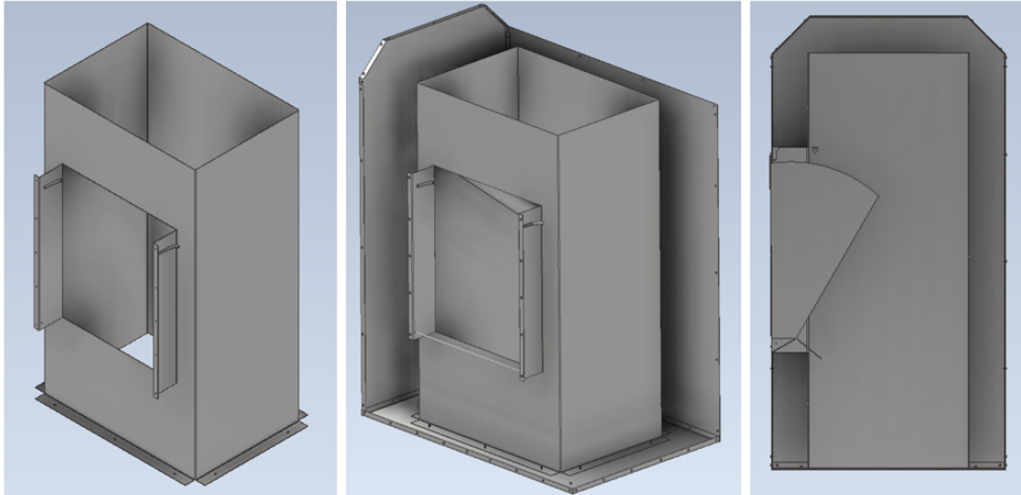
Figura 30. *Detalle unión mediante remaches.*



Elaboración propia

Cada módulo está compuesto por un revestimiento exterior, que constituye la parte visible y estética del sistema, y un conducto interno diseñado específicamente para guiar las bolsas de residuos hacia los contenedores estándar situados en la parte soterrada (Fig. 31). Esta configuración asegura un correcto vertido de los residuos, evitando posibles atascos y garantizando la correcta canalización hacia los depósitos inferiores.

Figura 31. Interior del módulo de recogida.



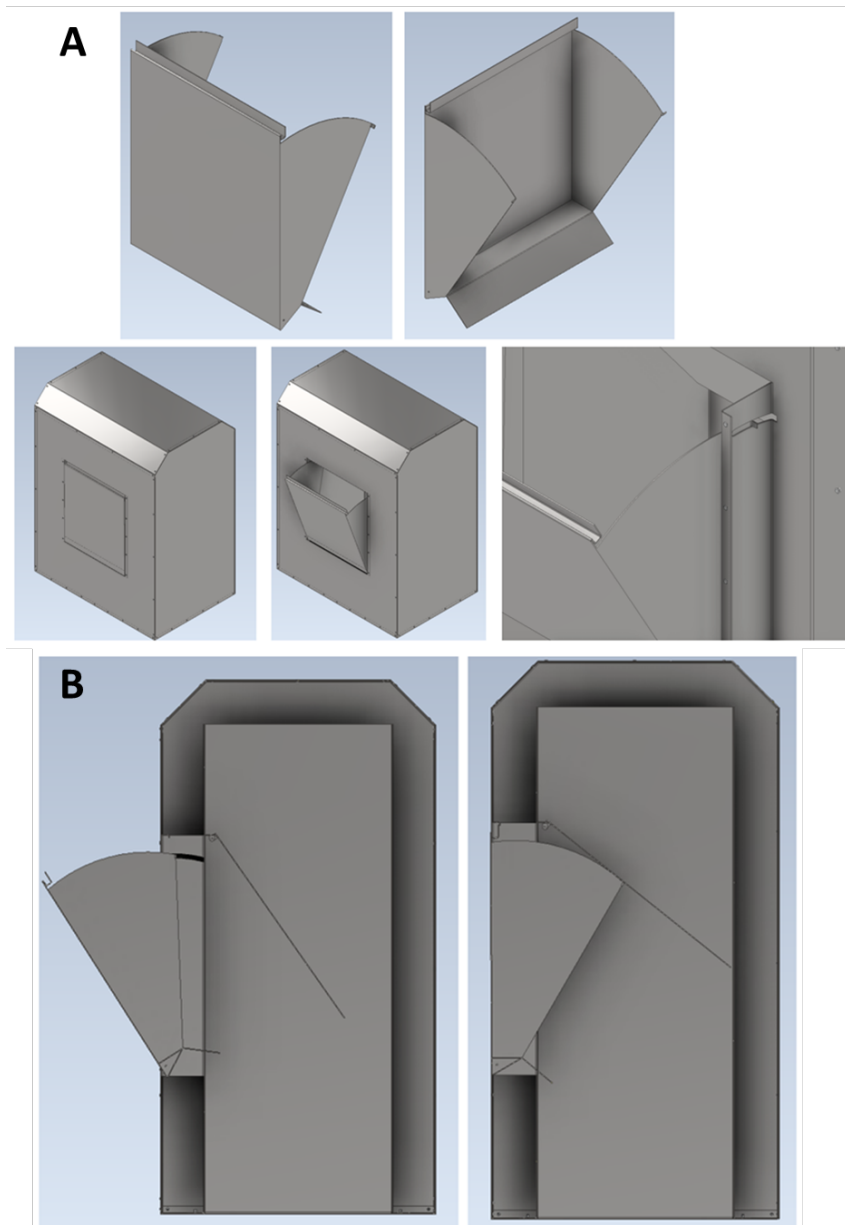
Elaboración propia

Una de las partes más importantes en el diseño de contenedores es el sistema de boca de vertido, ya que determina tanto la comodidad de uso como la seguridad del conjunto. En este caso, se ha desarrollado una compuerta de tipo buzón, equipada con un sistema de agarre totalmente integrado en la propia chapa (Fig. 32A). Este se realiza mediante un doblado de la propia chapa que forma la puerta, de modo que no sobresale de la superficie frontal. Cuando la puerta está cerrada, el agarre queda alineado con el plano exterior, ofreciendo un acabado limpio y compacto, reduciendo el riesgo de accidentes en zonas de tránsito y evitando un impacto visual negativo.

Adicionalmente, se incorpora un sistema de seguridad interno compuesto por una compuerta móvil que permanece cerrada cuando el buzón está abierto, bloqueando el conducto (Fig. 32B). Al cerrarse, la compuerta se abre de manera sincronizada, permitiendo que la bolsa de residuos caiga al contenedor soterrado. Este mecanismo se plantea para prevenir accidentes en caso de manipulación indebida o caídas accidentales, especialmente en entornos con presencia de niños.

Por último, la unión de las bocas de vertido con la estructura principal se realiza con tornillos DIN-933 M10, tuercas remachables y arandelas de seguridad DIN 7980. Esta elección responde a la necesidad de poder cambiar el módulo de forma rápida en caso de deterioro o avería.

Figura 32. (A) *Detalles del buzón.* (B) *Mecanismo puerta de seguridad.*



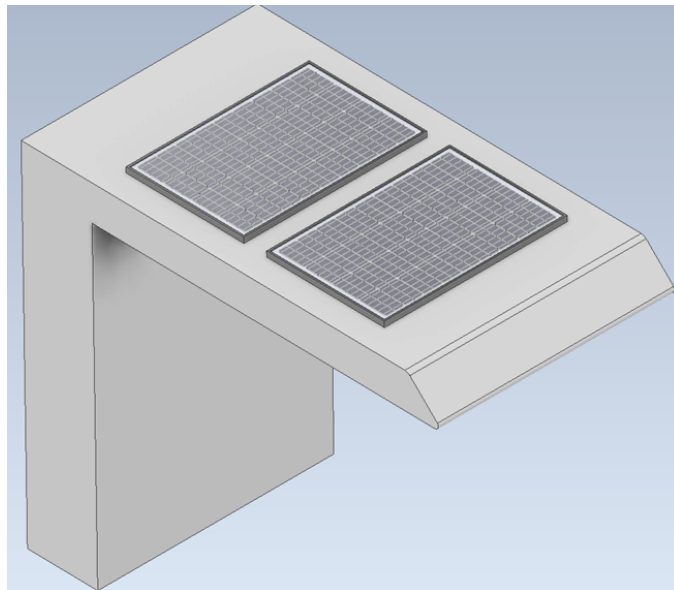
Elaboración propia

3.4.5.3. Módulo del biorreactor

Para el diseño del módulo de biorreactor se plantea una colaboración con la empresa AlgaEnergy Iberia, especializada en biotecnología de microalgas, con el objetivo de obtener el sustrato de *Chlorella vulgaris*. De este modo, el diseño del módulo y su integración en el sistema urbano son desarrollados por el equipo de trabajo del presente proyecto, mientras que el diseño específico de los conductos internos del biorreactor se atribuye a la empresa colaboradora.

El diseño de la estructura del módulo en forma de L, permite que en su parte superior se instale un conjunto de placas solares (Fig. 33) cuya función es aportar la energía necesaria para dar iluminación mediante luces al cultivo de microalgas durante todo el día, garantizando así un funcionamiento autosuficiente y sostenible.

Figura 33. Placas solares en parte superior biorreactor.



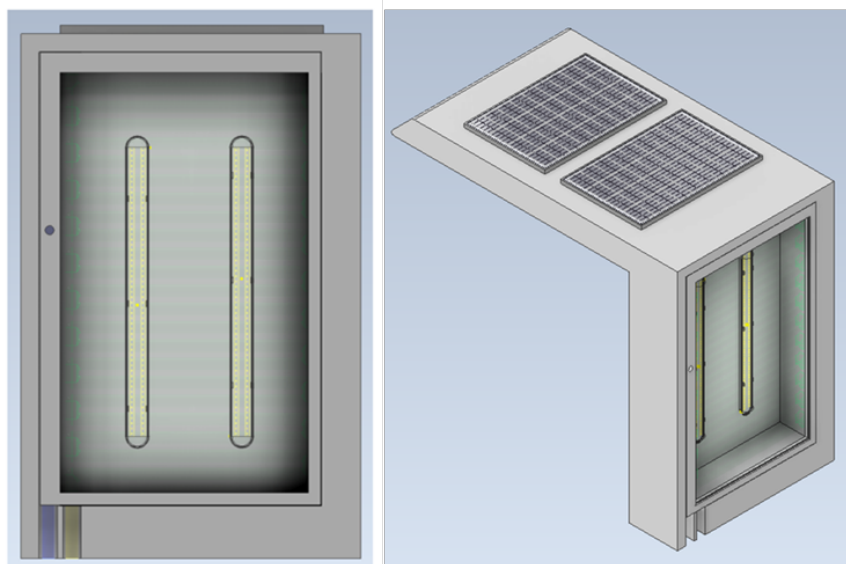
Elaboración propia

En la zona frontal del módulo se incorpora un registro, que alberga el cultivo de microalgas mediante un sistema de tuberías de polietileno dispuestas en forma de serpentín (Fig. 34). Este diseño facilita la circulación del sustrato y maximiza la superficie de exposición a la luz, optimizando la productividad del cultivo. Para proteger la instalación, pero manteniendo su accesibilidad al personal cualificado, se implementa un mecanismo de bisagras, que permite abrir una puerta móvil de forma sencilla y segura.

Dicha puerta se compone de un perfil PDS26 en acero inoxidable AISI 304, que aporta resistencia estructural, junto con una plancha de metacrilato que permite la entrada de luz natural.

El resto de la estructura está conformado por chapa de acero inoxidable AISI 317 de 2 mm de espesor, pero a diferencia de los módulos de vertido, en este caso se opta por uniones soldadas, dado que el módulo no requiere desmontajes frecuentes y la soldadura garantiza mayor rigidez estructural frente a vibraciones y esfuerzos ambientales.

Figura 34. Vista de tuberías y luz led biorreactor. Vista general.

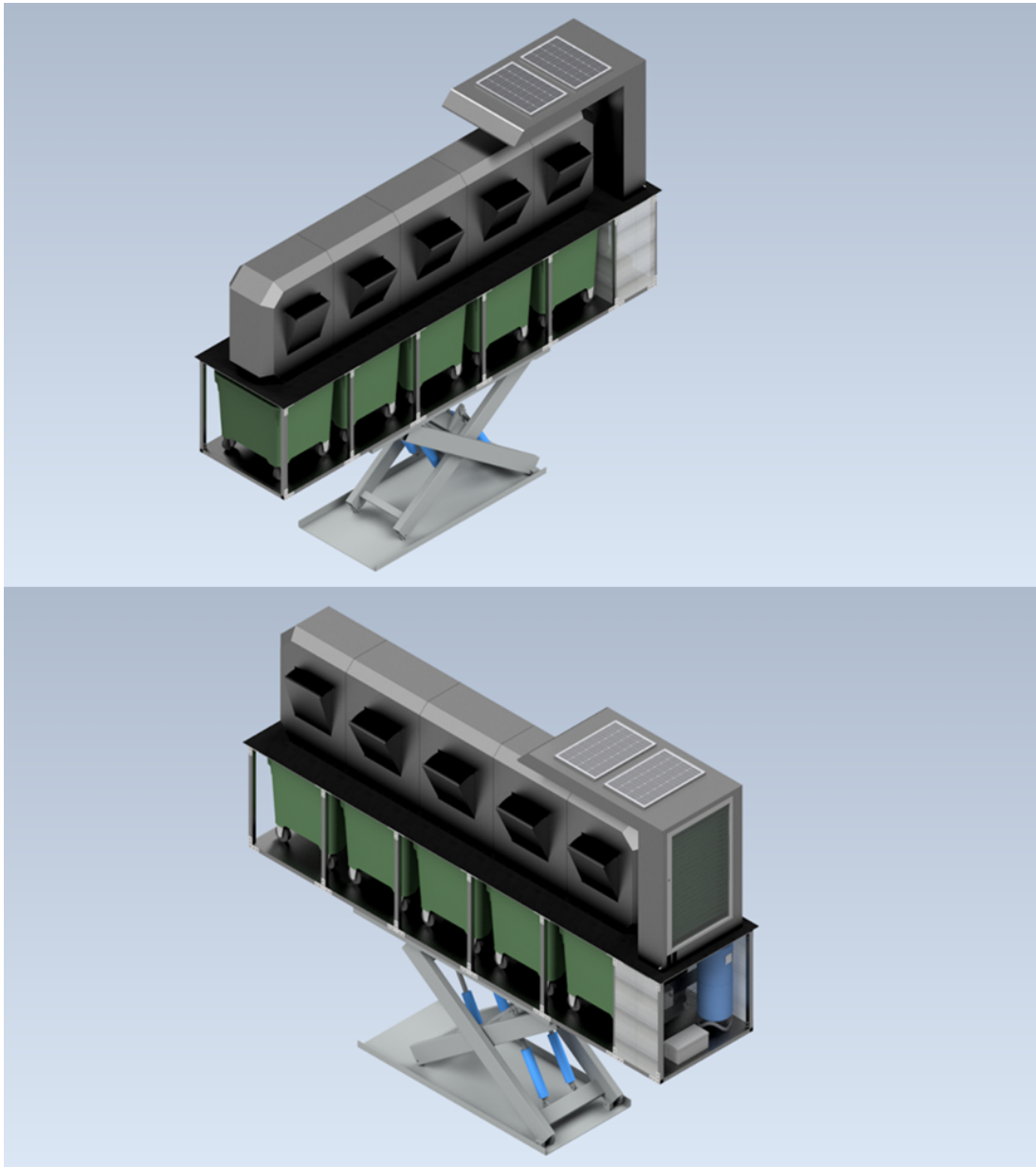


Elaboración propia

3.4.5.4. Conjunto final

La Figura 35 muestra el ensamblaje del modelo completo.

Figura 35. *Modelado final visto en diferentes perspectivas.*



Elaboración propia

3.4.6. Ilustraciones técnicas

A continuación, se incluyen los planos en detalle del conjunto realizados en Autodesk Inventor correspondientes a la fase 5 de validación técnica del proceso de diseño.

Figura 36. Plano del sistema completo.

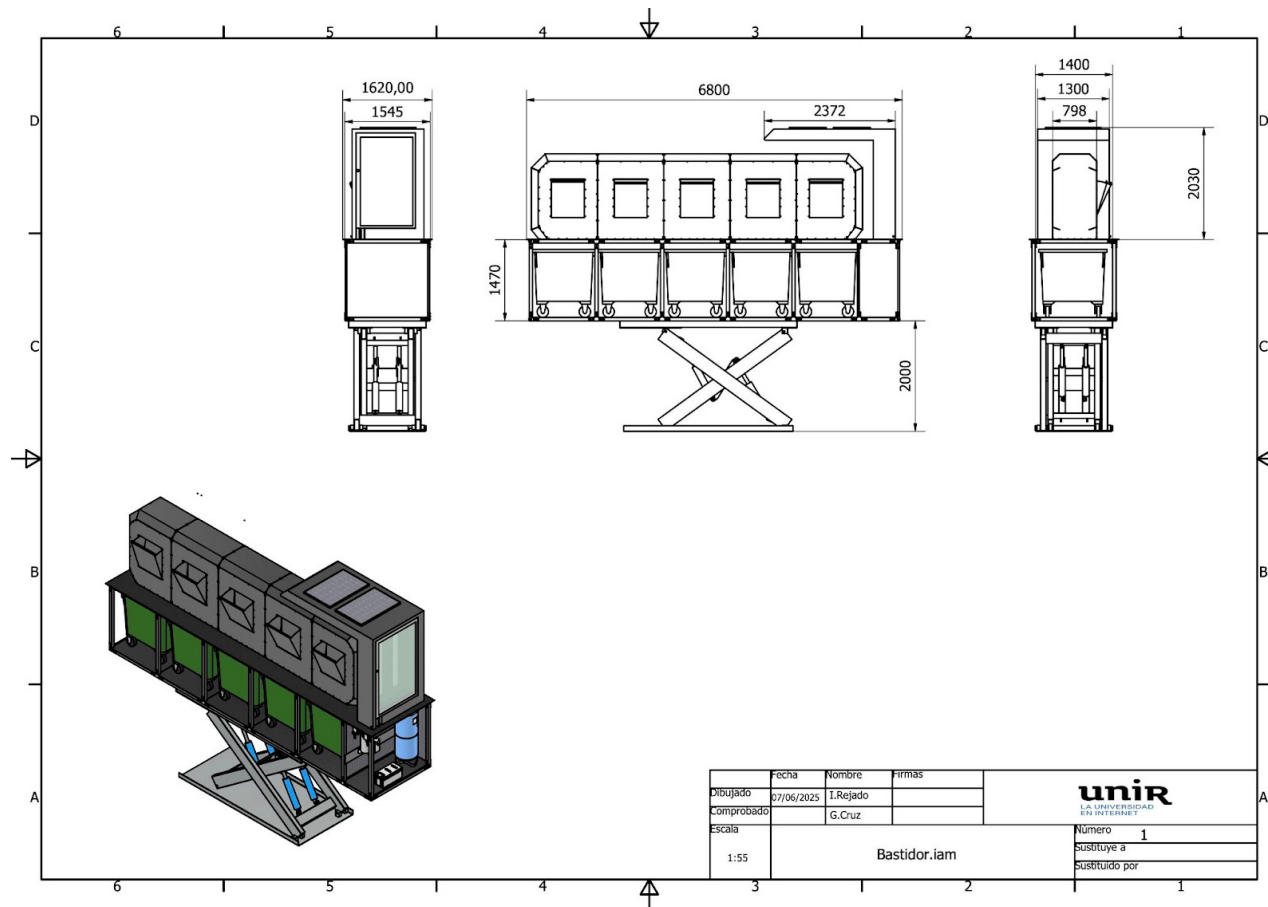


Figura 37. Esquema de componentes del sistema completo.

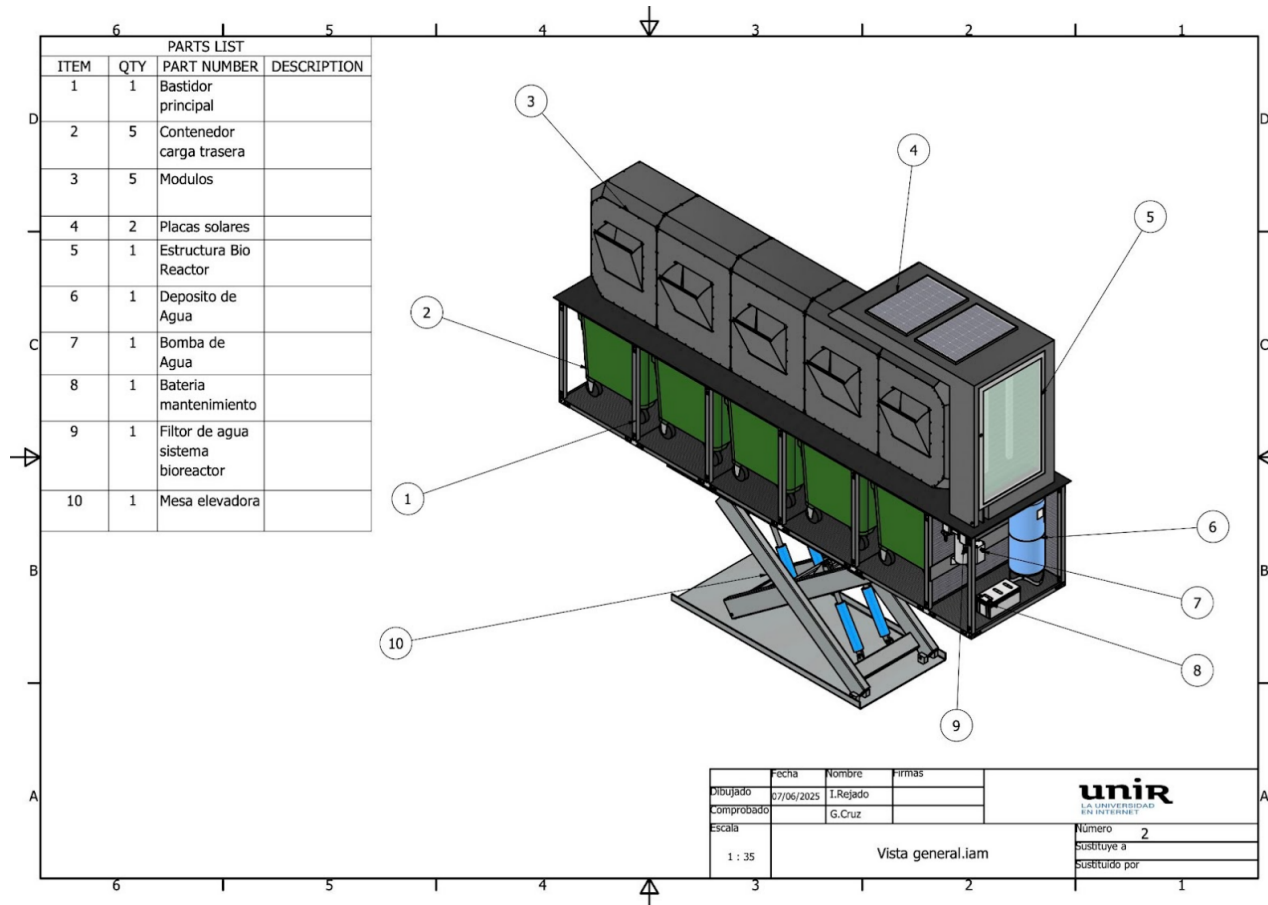


Figura 38. Plano del bastidor principal.

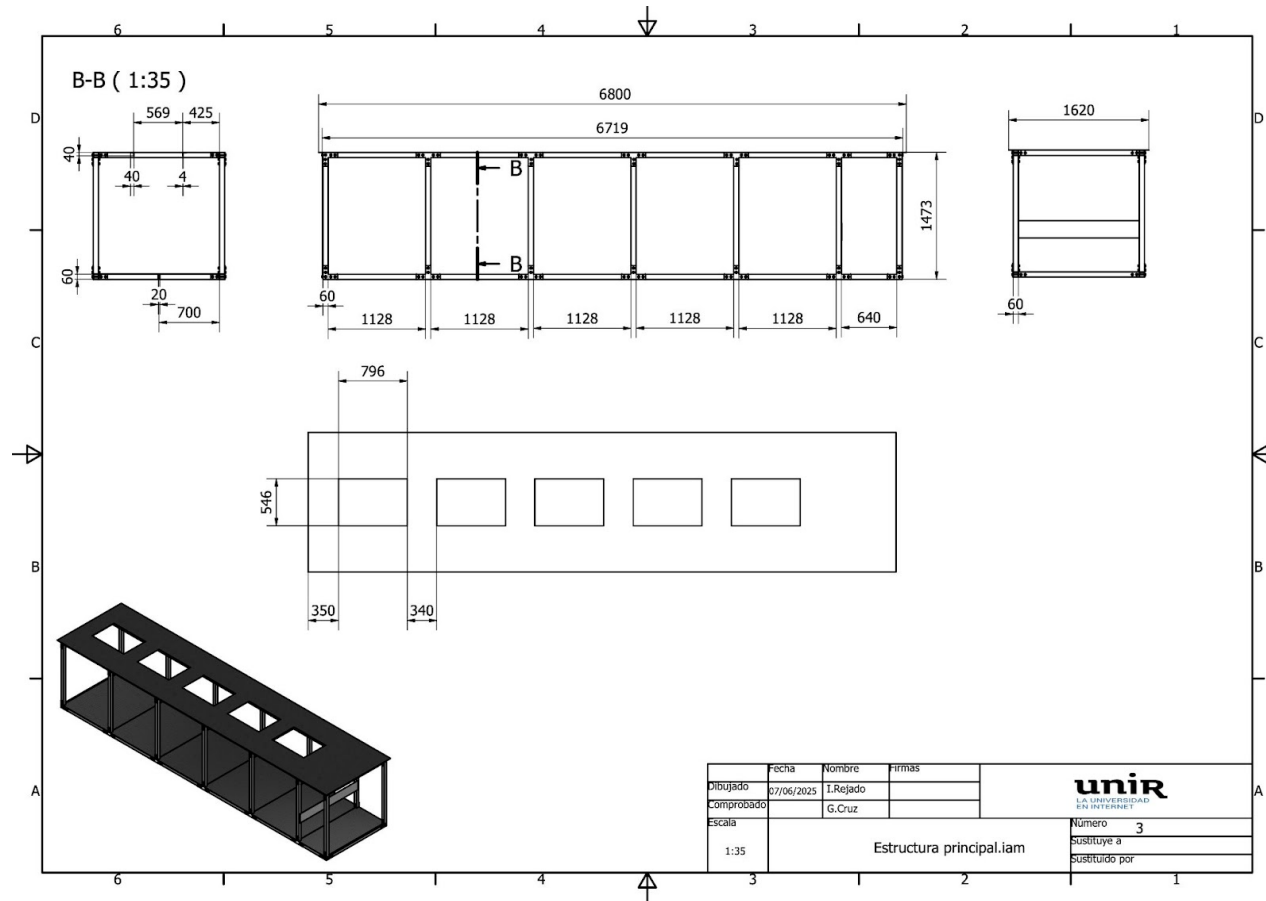


Figura 39. Esquema de los tres tipos de módulos que componen los 5 buzones de contenedores del sistema completo.

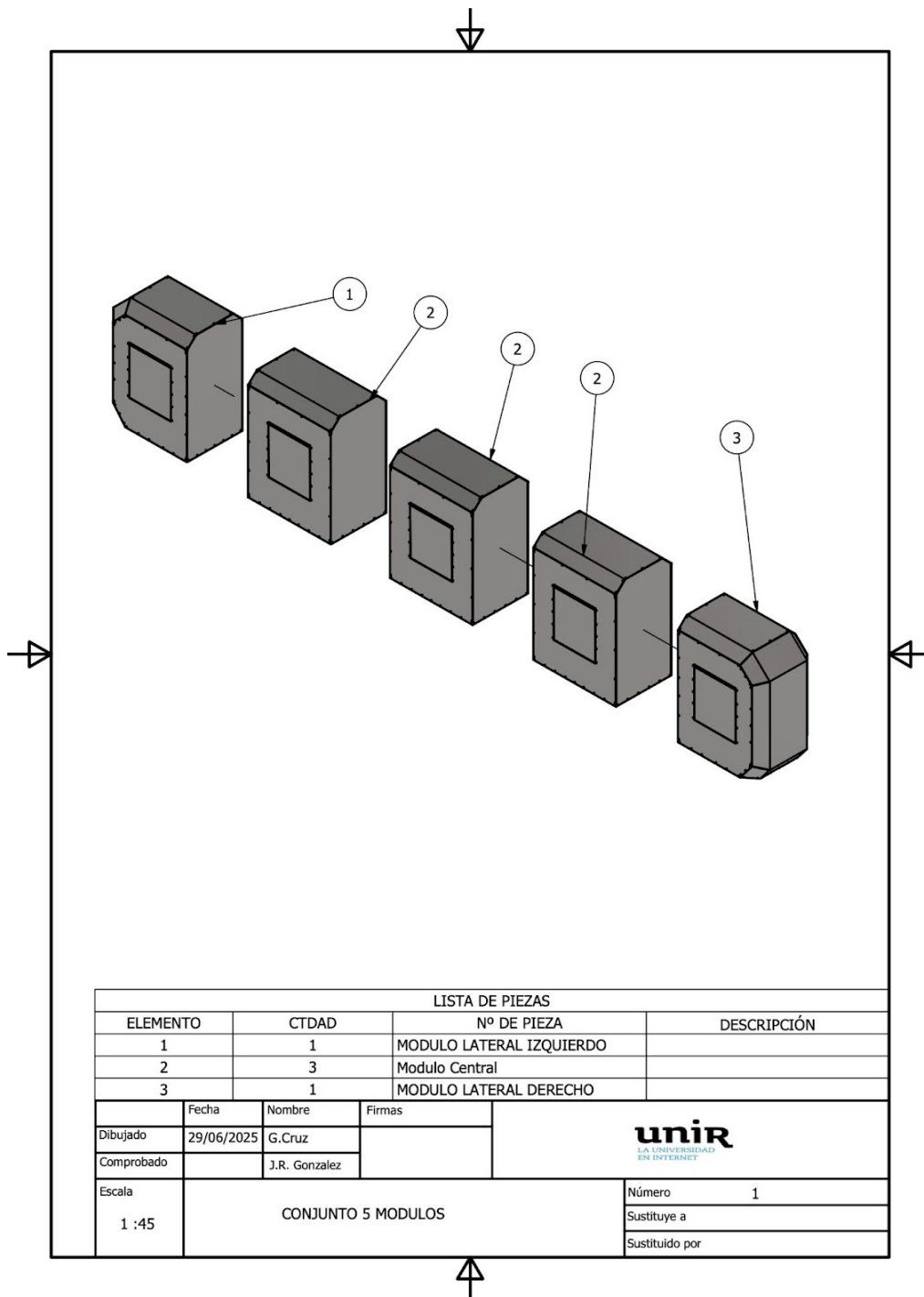


Figura 40. Plano del conjunto de buzones.

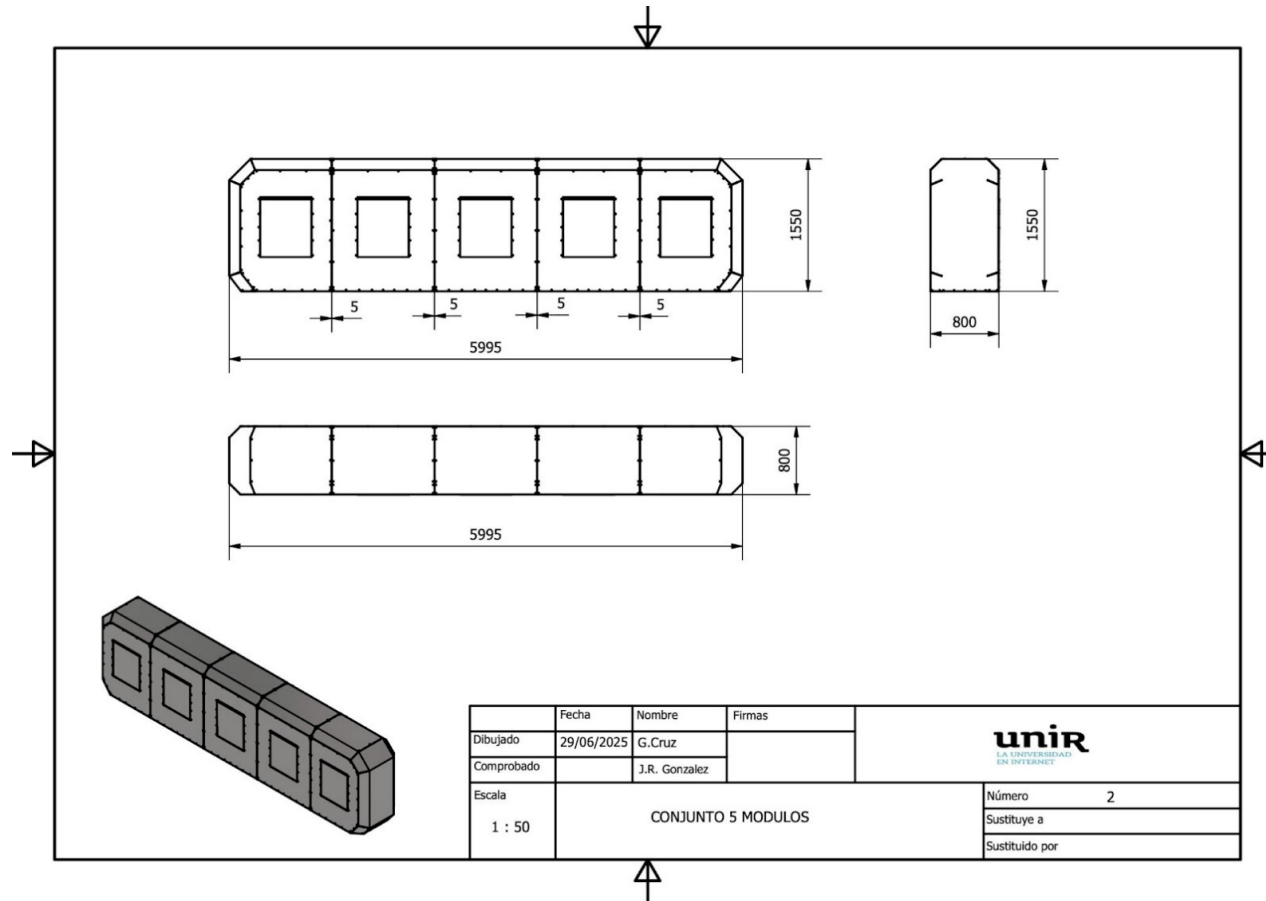


Figura 41. Esquema detallado de los componentes del módulo buzón lateral izquierdo.

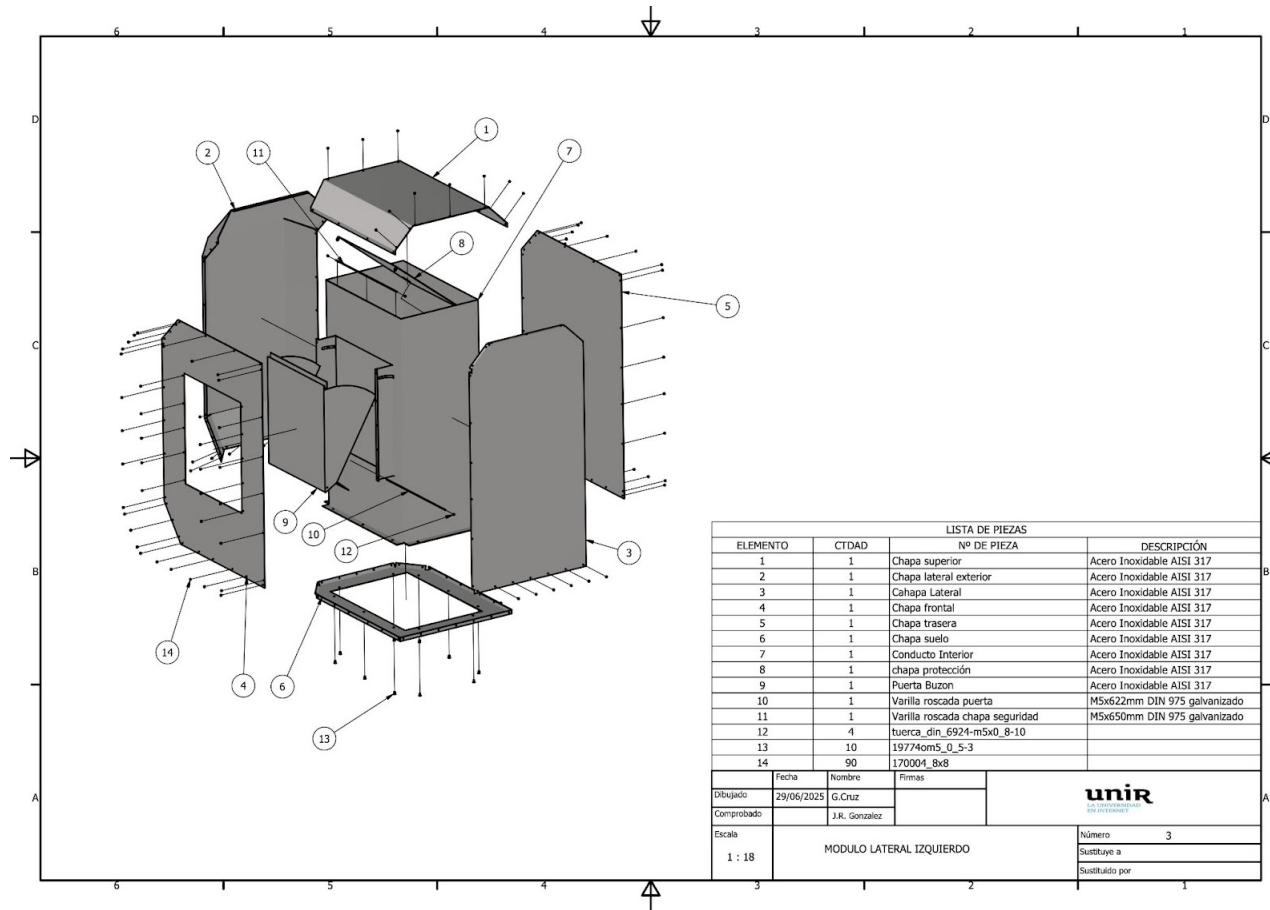


Figura 42. Plano del módulo buzón lateral izquierdo.

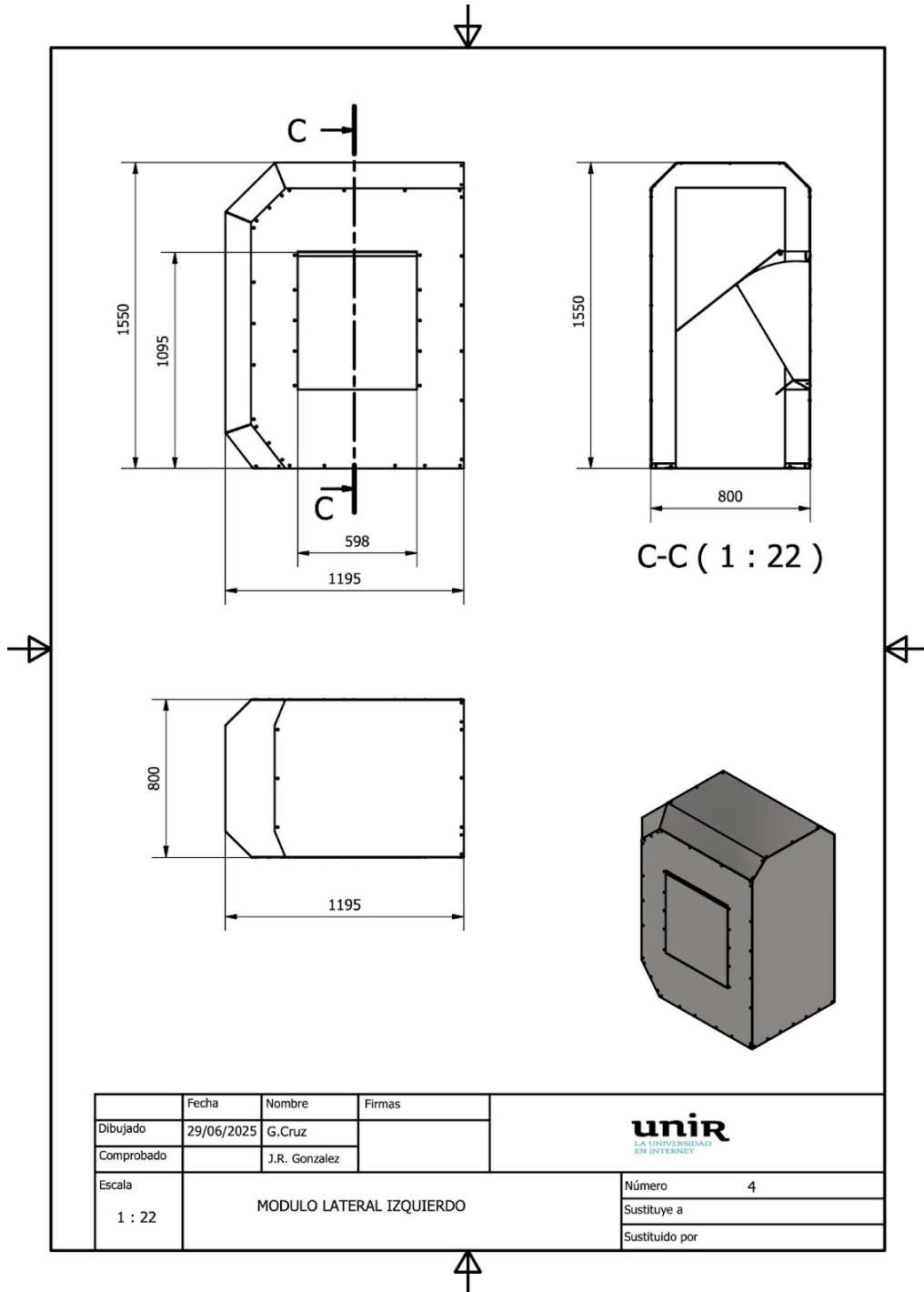


Figura 43. Esquema detallado de los componentes del módulo buzón central.

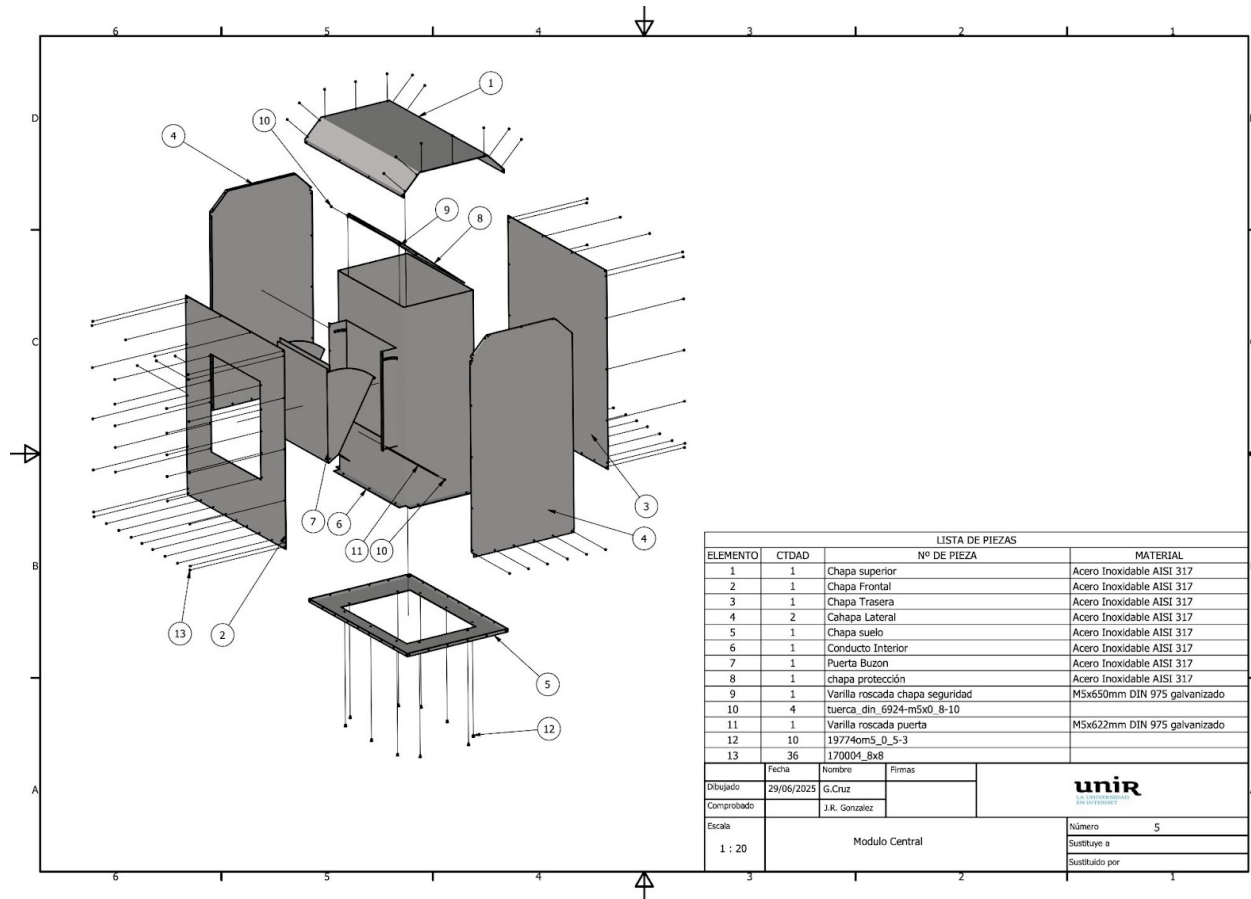


Figura 44. Plano del módulo buzón central.

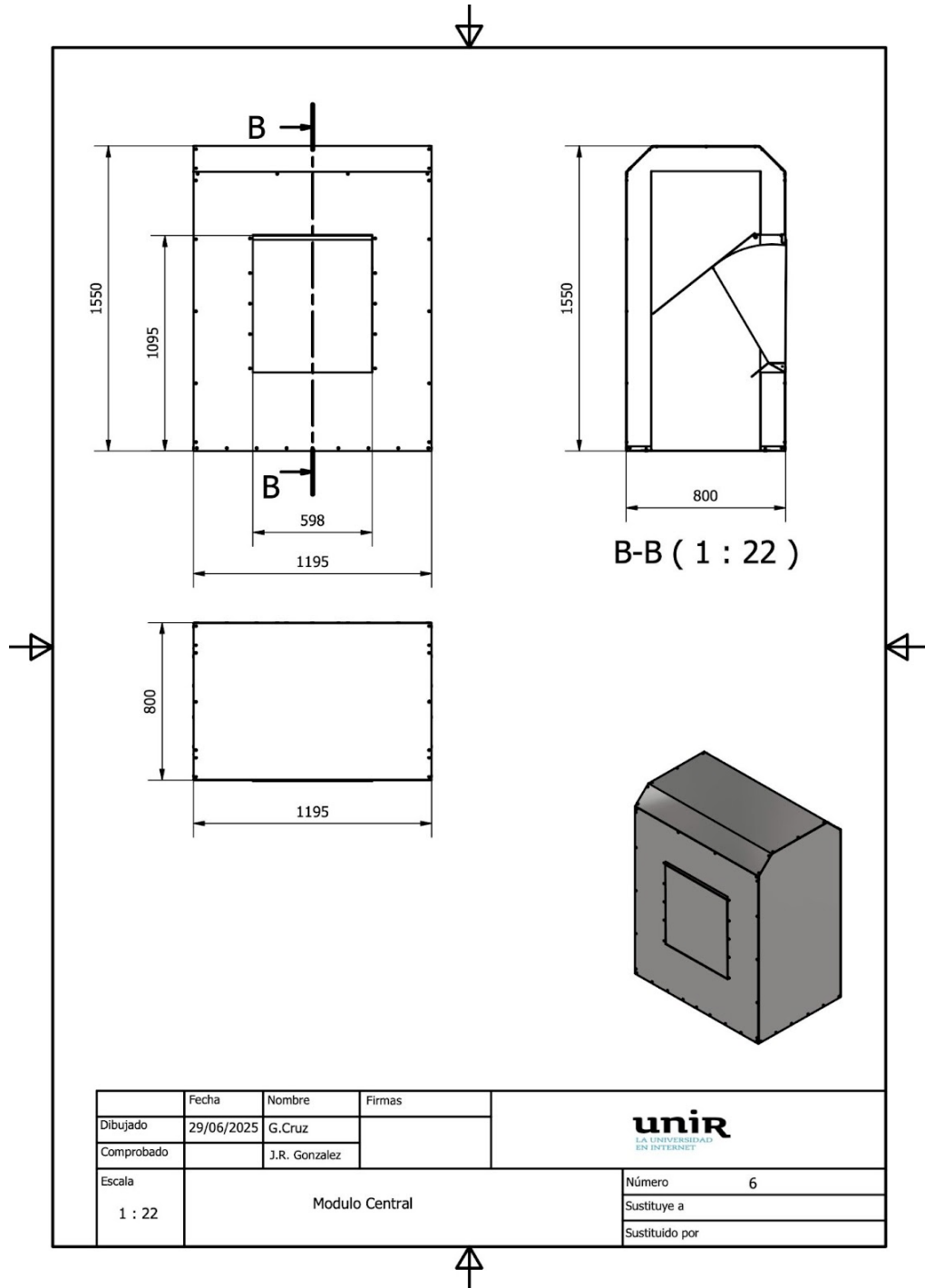


Figura 45. Esquema detallado de los componentes del módulo buzón lateral derecho.

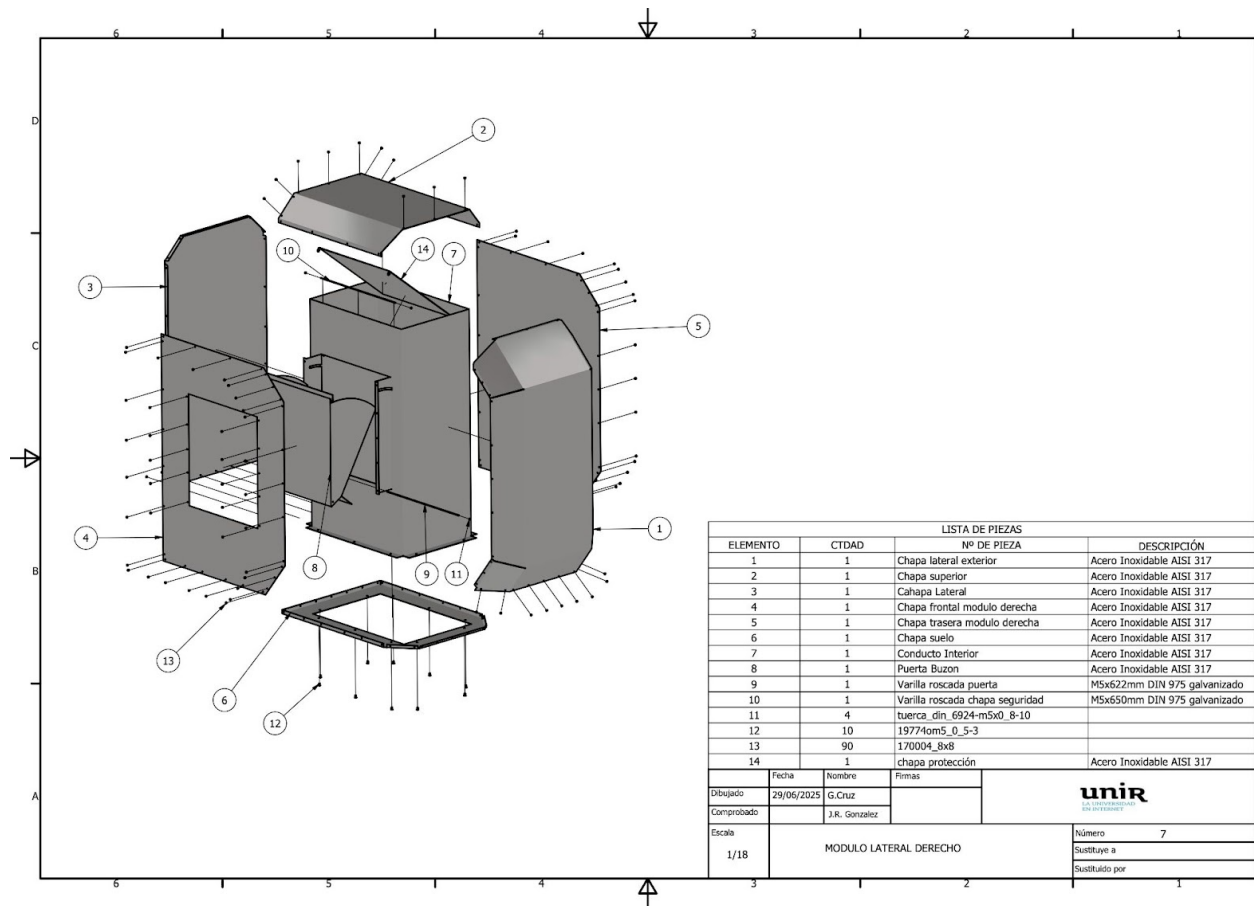


Figura 46. Plano del módulo buzón lateral derecho.

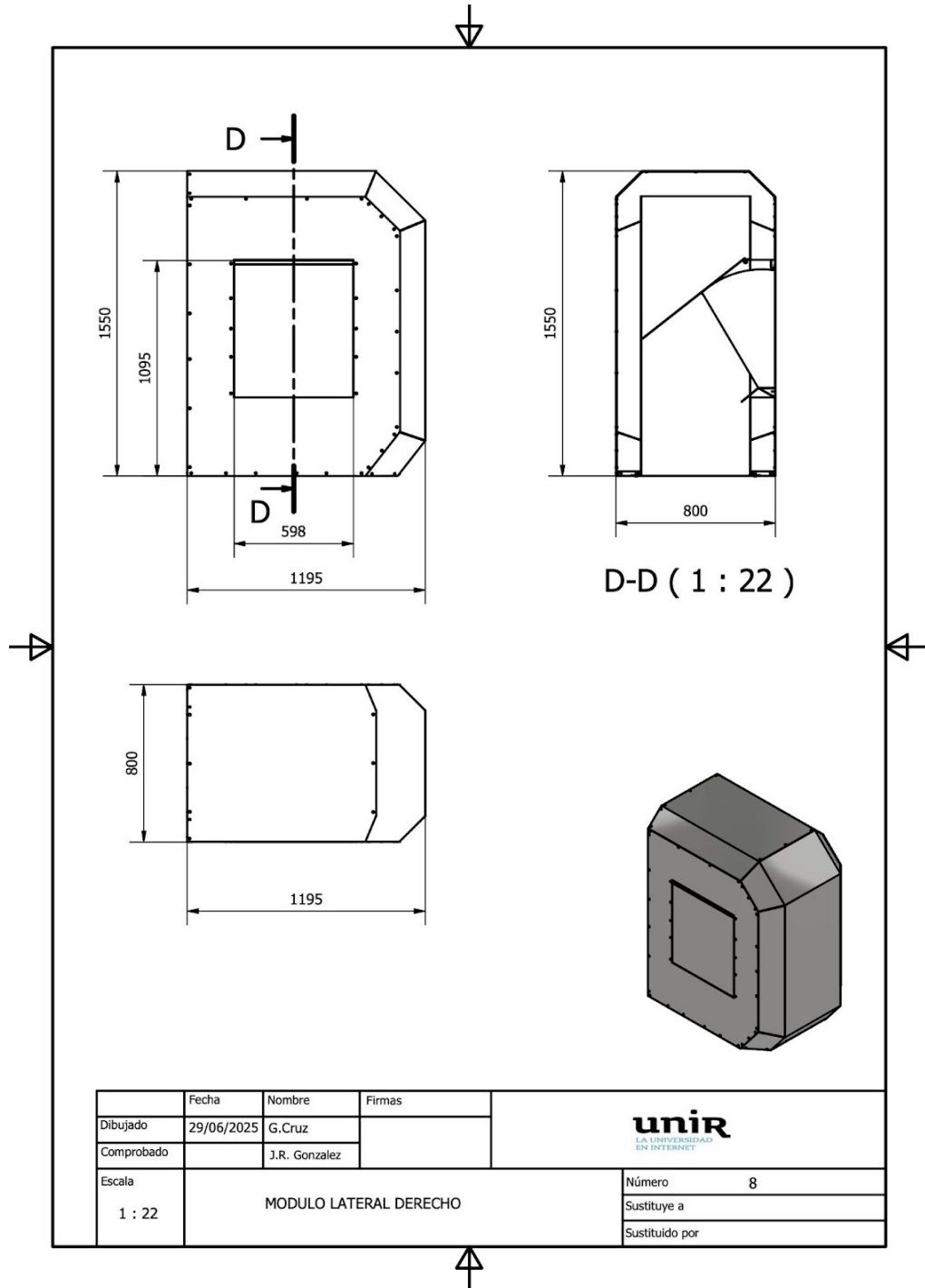


Figura 47. Esquema de componentes del módulo del biorreactor.

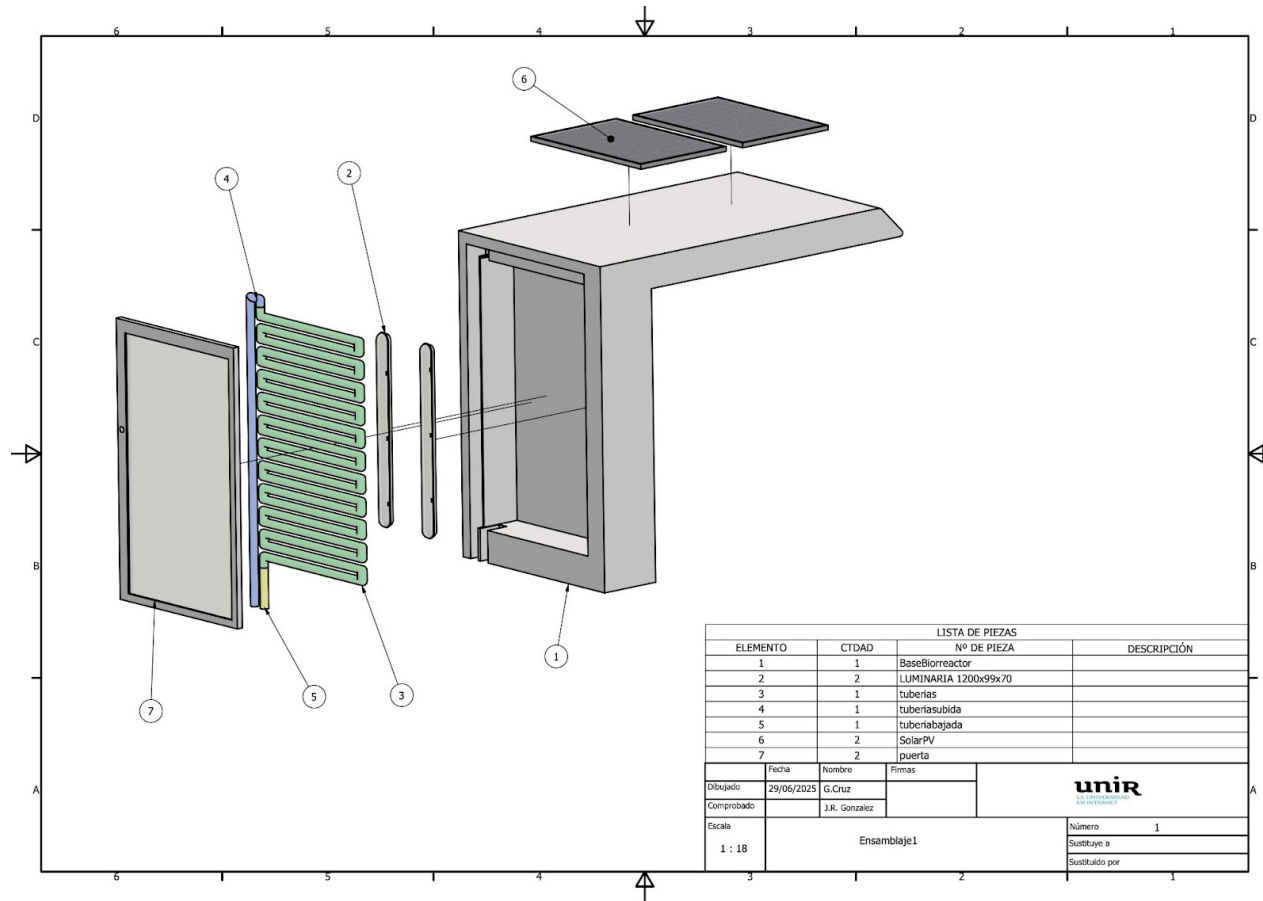
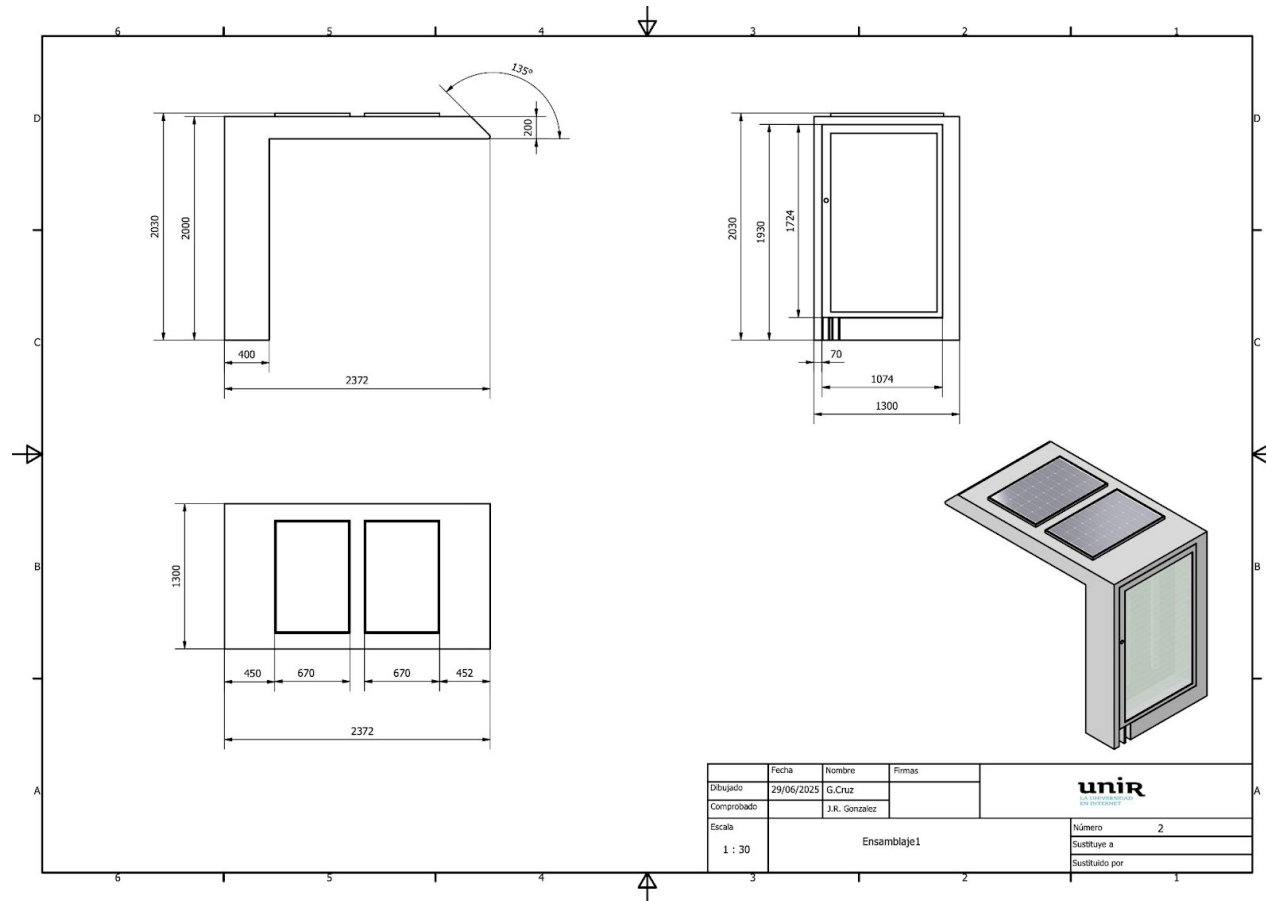


Figura 48. Plano del módulo biorreactor



3.4.7. Renderizados

Como parte de la fase 6 de validación visual y funcional, se presentan los renderizados del modelo. Estos se han elaborado utilizando la herramienta Autodesk Inventor Studio, que permite generar representaciones fotorrealistas de los modelos 3D (Fig. 49), además de la función realidad virtual incorporada en dispositivos Apple (Fig. 50), lo que ha facilitado la evaluación inmersiva del diseño en un entorno simulado. Los resultados obtenidos en relación al tamaño y adaptación al entorno urbano parecen satisfactorios.

Figura 49. *Renderizados realizados con Autodesk Inventor.*



Elaboración Propia

Figura 50. *Renderizados realizados con realidad virtual.*



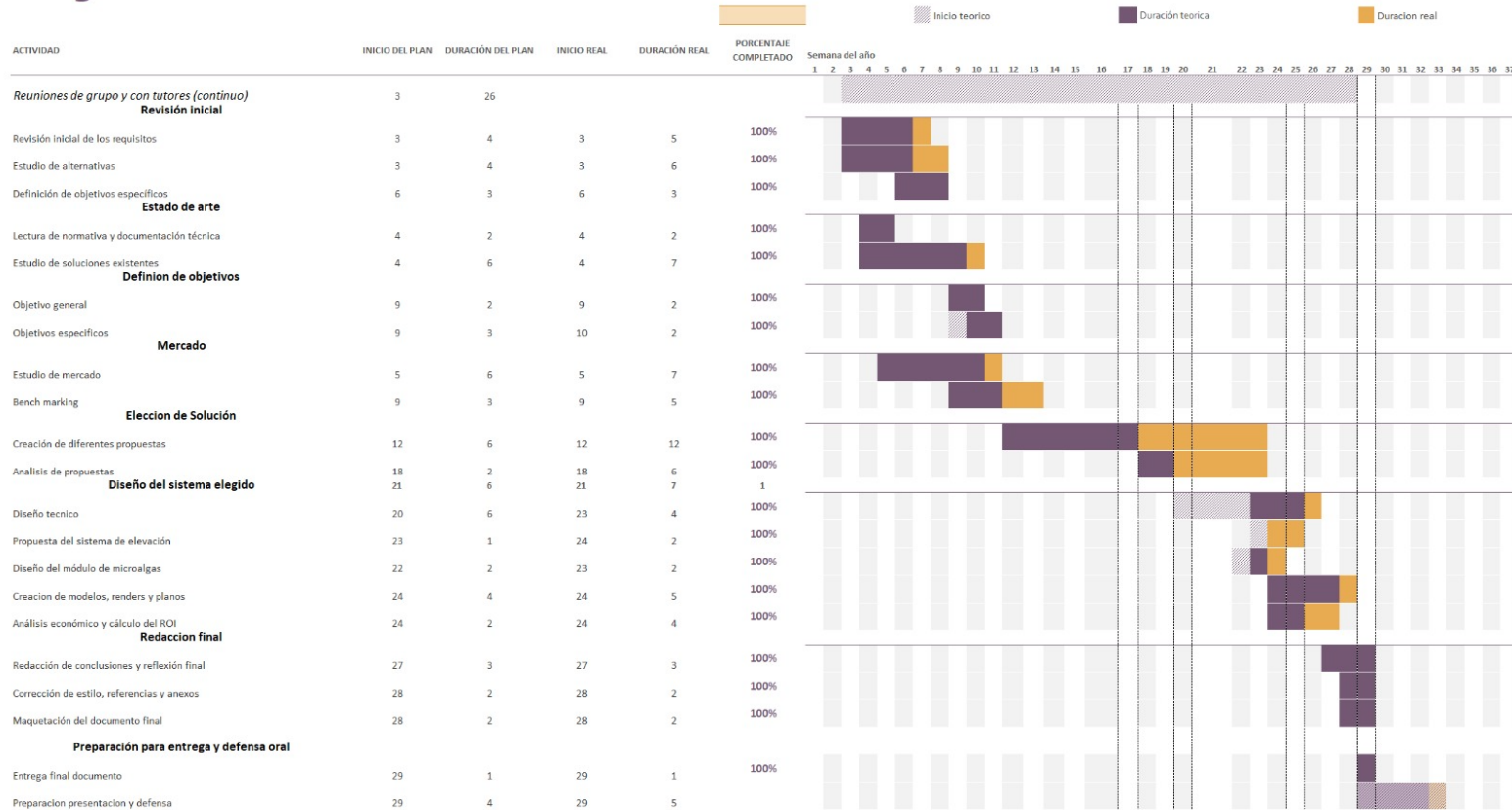
Elaboración propia

3.5. Temporalización

A continuación, en la Figura 51, se muestra un diagrama de Gantt con la temporalización de las tareas realizadas.

Figura 51. Diagrama Gantt de tareas realizadas.

Diagrama Gantt



Elaboración propia

3.6. Tareas

A continuación, se realiza una breve descripción de las tareas presentadas en la Figura 51.

Fase 1. Revisión inicial

En primer lugar, se revisan tanto los requisitos del proyecto como las necesidades de este y las posibles técnicas a implementar. Esto es, si el producto debe ser accesible, sostenible, de bajo coste, o integrarse en un entorno concreto. Se exploran diferentes direcciones para resolver el problema incluyendo soluciones existentes, conceptos similares e ideas innovadoras aplicables.

Fase 2. Estado del arte

Se realiza una investigación que queda reflejada en el Marco teórico y desarrollo de un *benchmarking*. La revisión bibliográfica realizada atiende no solo a una búsqueda y análisis de las soluciones en venta actualmente, sino que profundiza en el estudio de nuevas ideas que permitan el diseño de un nuevo sistema que consiga una mejora en la participación ciudadana.

Fase 3. Definición de objetivos

Se define el propósito principal del trabajo, los objetivos específicos y los logros medibles que guían su desarrollo.

Fase 4. Mercado

Se analizan las necesidades de los usuarios, el estado del sector y tendencias actuales, lo que permite posteriormente validar la viabilidad del producto. Además, la realización de un *benchmarking* posibilita comparar productos existentes, identificando sus ventajas y deficiencias.

Fase 5. Elección de solución

Una vez realizada una etapa de exploración con la conceptualización de varias propuestas y su bocetaje, cada opción es evaluada siguiendo unos criterios definidos tal y como aparece en la matriz multicriterio realizada. Tras completar esta matriz, se selecciona la propuesta más equilibrada y viable a desarrollar.

Fase 6. Diseño del sistema elegido

Una vez elegida una propuesta, se desarrollan diferentes bocetos descriptivos y se determinan conceptos clave sobre su funcionamiento, forma y materiales. La definición de las dimensiones, estructura y componentes del producto final queda detallada en la presentación de una amplia lista de planos. La posterior creación de modelos 3D y *renders* consigue confirmar la aparente buena integración estética de nuestro modelo en el paisaje urbano.

Fase 7. Redacción final

Completado el proceso de diseño, se realiza un análisis económico (ROI) para evaluar la rentabilidad del proyecto antes de ser lanzado al mercado. Posteriormente, se redacta el cuerpo del trabajo, exponiendo los resultados y posibles mejoras futuras. Finalmente, se completa la maquetación del proyecto, incluyendo los anexos, referencias, documentos de apoyo, bibliografía, tablas y cálculos.

Fase 8. Preparación para entrega y defensa oral

Se realiza la entrega del TFE cumpliendo con los requisitos específicos. Seguidamente se elabora la presentación y se procede a hacer la defensa del proyecto con apoyo visual, ensayando la defensa ante posibles preguntas.

3.7. ROI

El ROI (*Return on Investment*) es una métrica que permite calcular la rentabilidad de un proyecto en base a su inversión inicial. Este valor depende del beneficio generado, el dinero invertido y el tiempo necesario para recuperar dicha inversión.

La finalidad del presente proyecto es la creación de un sistema de recogida de residuos para entornos urbanos y semiurbanos, buscando obtener mejoras en sostenibilidad y eficiencia en relación a las soluciones actuales. Si bien el uso de contenedores semisoterrados como el planteado en este trabajo presenta numerosas ventajas frente al de contenedores tradicionales, su construcción también requiere una inversión inicial mucho mayor. Esta no solo incluye el coste del contenedor y la plataforma elevadora, sino también el de las obras civiles, los sistemas de alimentación energética y otros permisos municipales. Además, la implementación de materiales sostenibles, poco utilizados, o la adición de un sistema de cultivo para microalgas suponen un aumento adicional en el precio base del producto. Debido a esta casuística, nos vemos obligados a analizar si la inversión requerida nos permite obtener un producto final asequible a un comprador final a la vez que nos permita obtener beneficios en el tiempo establecido.

En este apartado, se desglosan los costes iniciales y beneficios que se obtendrían a lo largo de la vida útil del sistema. A través de un análisis exhaustivo de precios, se busca proporcionar una base objetiva que facilite la toma de decisiones justificando la viabilidad económica de la inversión; todo ello manteniendo una perspectiva técnica, operativa y financiera.

3.7.1. Costes asociados a los componentes principales del sistema

Para el cálculo del ROI, se tiene en cuenta el precio de los siguientes componentes:

- **Contenedor subterráneo:** Fabricado en polietileno de alta densidad y con una capacidad de 1.100 litros. Se propone la compra de 5 contenedores de carga trasera para cada una de las distintas fracciones. El coste estimado es de **426 €/contenedor**.
- **Plataforma elevadora.** Para este proyecto se ha elegido una plataforma con mecanismo hidráulico, realizándose la compra a un tercero. En el caso de la empresa Sax Life, el coste proporcionado es de **21.573 €**.
- **Estructura de obra civil.** El coste de la instalación de una caja de hormigón armado que actúe como alojamiento subterráneo del sistema se estima en **10.800 €**. Esta queda dotada de sistemas de drenaje y protección contra filtraciones, con las acciones específicas para su instalación repartidas de la siguiente manera:
 - Excavación: 3.000 €.
 - Solera de cimentación: 800 €.
 - Muro de contención: 2.000 €.
 - Sistema de drenaje: 800 €.
 - Impermeabilización y protección: 2.000 €.
 - Marco y tapa metálica: 1.200 €.
 - Mano de obra: 1.000 €.
- **Sistema de alimentación y control.** La instalación eléctrica a realizar ha de conectar las placas solares instaladas en la zona superior del módulo biorreactor con el panel de control del mismo y los sensores de carga instalados para cada contenedor. Utilizando la herramienta CYPE, se ha determinado un precio de 9,17 €/metro para una línea eléctrica soterrada incluyendo materiales, mano de obra, maquinaria y costes indirectos. Para esta instalación se estima un gasto total de **450 €**.

- **Buzones superficiales para el depósito de basura.** Nuestro diseño incluye cinco buzones destinados a fracciones de desechos distintas. Estos módulos son fabricados en chapa de Acero Inoxidable AISI 317 de 2 milímetros de espesor con varillas de acero galvanizado.

1. **Cálculo del coste de material Acero Inoxidable AISI 317 (2,1 €/kg):**

Densidad del acero inoxidable $\approx 7,9 \text{ g/cm}^3$

Espesor = 2 mm = 0,2 cm

Volumen de 1 m² de chapa. $10.000 \text{ cm}^2 \times 0,2 \text{ cm} = 2.000 \text{ cm}^3$

Peso de 1 m² de chapa: $2.000 \text{ cm}^3 \times 7,9 \text{ g/cm}^3 = 15.800 \text{ g/m}^2 = \underline{15,8 \text{ kg}}$

Módulo lateral izquierdo (1x):

Las dimensiones de las chapas de este módulo tal y como aparecen detalladas en la Figura 41 son:

- Chapa superior: 0,89 m².
- Chapa frontal: 1,06 m².
- Chapa lateral derecho: 1,29 m².
- Chapa lateral izquierdo: 1,58 m².
- Chapa trasera: 1,48 m².
- Chapa conducto interior: 3,66 m².
- Chapa de protección: 0,40 m².
- Chapa suelo: 0,46 m².
- Puerta estilo buzón: 0,88 m².
- Peso total: $11,71 \text{ m}^2 \times 15,8 \text{ kg/m}^2 = 185 \text{ kg}$.

Módulo central (3x):

Las dimensiones de las chapas de este módulo tal y como aparecen detalladas en la Figura 43 son:

- Chapa superior: 1,13 m².
- Chapa frontal: 1,27 m².

- Chapa lateral derecho: 1,29 m².
- Chapa lateral izquierdo: 1,29 m².
- Chapa trasera: 1,70 m².
- Chapa conducto interior: 3,66 m².
- Chapa de protección: 0,40 m².
- Chapa suelo: 0,59 m².
- Puerta estilo buzón: 0,88 m².

Peso total: 12,24 m² × 15,8 kg/m² × 3 unidades = 580,2 kg.

Módulo lateral derecho (1x):

Las dimensiones de las chapas de este módulo tal y como aparecen detalladas en la Figura 45 son:

- Chapa superior: 0,89 m².
- Chapa frontal: 1,06 m².
- Chapa lateral derecho: 1,29 m².
- Chapa lateral izquierdo: 1,58 m².
- Chapa trasera: 1,48 m².
- Chapa conducto interior: 3,66 m².
- Chapa de protección: 0,40 m².
- Chapa suelo: 0,46 m².
- Puerta estilo buzón: 0,88 m².

Peso total: 11,71 m² × 15,8 kg/m² = 185 kg.

El peso total de Acero Inoxidable AISI 317 necesario es de 950,2 kg. Al tener este un precio de 2,1 €/kg, el coste total de este componente es: **1.995,42 €.**

2. **Coste de varillas roscadas y tuercas: 18 €.**
3. **Coste completo de material para la construcción de los cinco módulos buzón: 2.012,42 €.**

- **Biorreactor.** Para el diseño del módulo biorreactor se ha elegido una configuración tubular de flujo continuo. La zona asignada al cultivo de algas está conformada por un sistema de tuberías de metacrilato de 5 cm de diámetro con una separación de 2 cm entre filas. El sistema completo de tuberías incluye, además, las conexiones que conducen el medio de cultivo líquido que abandona la zona fotosintéticamente activa hasta los sistemas de mezclado y retorno. El precio completo estimado para este módulo es de **3.353,11 €**. A continuación, se presenta el desglose de precios de cada uno de los componentes:
 1. **Estructura de chapa del biorreactor.** Construida en Acero Inoxidable AISI 317 de 2 mm de espesor y usando una superficie total de 15,75 m² de material. De manera similar al punto anterior, calculamos el precio de la chapa utilizada:

Peso del material: $15,75 \text{ m}^2 \times 15,8 \text{ kg/m}^2 = 248,85 \text{ kg}$.

Precio: $248,85 \text{ kg} \times 2,1 \text{ €/kg} = 522,60 \text{ €}$.
 2. **Puerta con cristal de metacrilato.** Con un precio total estimado en **662,89 €** y el coste de sus componentes individuales presentado a continuación:
 - Precio del perfil de la puerta. Utilizando como referencia el precio presentado por la empresa Hierros Díaz, se determina que el coste de un perfil de 6 metros de longitud PDS26 de Acero inoxidable aisi 304 es de 20,72 €.
 - Precio del cristal de metacrilato. Se propone el uso de planchas incoloras Plexiglas® GS 0F00. El coste de una plancha de espesor de 10 mm y dimensiones 2.030 x 1.500 mm es de 552,07 €. Añadiendo unos gastos de 52,45 € derivados del corte láser y envío, el coste total de este componente es de 604,52 €.
 - Precio de un cerrojo de bulón de seguridad deslizante y cilindro de leva corta 101C3030/4: 37,65 €.
 3. **Sistema de tuberías.** Compuesto por un sistema de 4 metros de tubos de policarbonato de 50mm/46mm (exterior/int) y 44 codos de 90°. El precio estimado del sistema completo es de **641 €**, distinguiendo el coste de cada componente a continuación:

- Coste asociado a los tubos. El precio de 1 metro de material proporcionado por la empresa Erson es de 14,16 €/m. Al precisar de 4 metros por biorreactor el gasto asociado a las tuberías es de 60,64 €.
 - Coste asociado a los codos. Tomando como base un valor orientativo de 13,19 € por unidad, el gasto asociado para 44 unidades es de 580,36 €.
4. **Cultivo inicial de *Chlorella vulgaris*** en medio base. Para la obtención del sustrato inicial se ha planteado una posible colaboración con la empresa AlgaEnergy Iberia. Se plantea un coste de **0 €** para este apartado, ofreciendo por nuestra parte publicidad a la empresa colaboradora.
 5. **Depósito de agua: 100 €.**
 6. **Bomba a presión: 80 €.**
 7. **Filtro y sensores de pH y temperatura: 250 €.**
 8. **Batería: 200 €.**
 9. **Cuadro eléctrico y controladores: 300 €.**
 10. **Placas solares (2x). 176,12 € con instalación incluida.**
 11. **Luminarias LED de espectro solar: 420,50 €.**
- **Bastidor subterráneo.** El diseño consta de una estructura formada por i) perfiles de sección cuadrada y rectangular de acero galvanizado S275JR de 3mm de espesor, ii) refuerzos para los perfiles de chapa en forma de L y T de acero galvanizado, iii) suelos texturizados de acero galvanizado para la zona inferior en la que se colocan los contenedores subterráneos, iv) suelo de baldosas de caucho para la zona superior donde se encuentran los buzones superficiales y v) chapa perforada de acero para el revestimiento de la estructura. El coste destinado a la fabricación del bastidor es de **6.769,2 €**, repartido de la siguiente manera:
 - Perfiles de sección cuadrada de 60x60 mm de 3 mm de espesor: 2.230 €.
 - Perfiles de sección rectangular de 60x20 mm de 3 mm de espesor: 139,2 €.
 - Refuerzos de chapa de 3 mm de espesor (escuadras de unión tipo L y tipo T, refuerzos en L de 40x40 mm): 1.180 €.
 - Suelo de chapa texturizada de 3 mm de espesor: 2.380 €.

Gisela Cruz Carrasco, María Jimena Fernández, Salvador Priego Poyato, Iñaki Rejado Viquendi
Sistema de contenedores de residuos urbanos modulares y sostenibles para mejorar la gestión de desechos

- Suelo de caucho de dimensiones 1,7x7 m: 540 €.
- Chapa perforada de acero de 3 mm de espesor: 150 €.
- Tornillería: 150 €.

3.7.2. Costes asociados a la instalación del producto

Al tratarse nuestro producto de un elemento de mobiliario urbano, es de esperar que la gran mayoría de nuestros compradores sean ayuntamientos. En este caso, los costos derivados de su instalación correrían por parte del comprador. Sin embargo, en el caso de encontrarnos con un cliente diferente, como pueden serlo campus universitarios, la instalación podría ser coordinada por nuestra empresa. A continuación, se presentan los gastos asociados a esta parte:

- **Permisos municipales y tasas administrativas.** La instalación del producto y la realización de una obra civil requiere la obtención de permisos de obra. Este coste dependerá de la tasa urbanística y la superficie construida en la obra, además del impuesto ICIO (Impuesto sobre Construcciones). La tasa urbanística en Barcelona tiene un coste de 4,96 €/m². En este caso, al necesitar una superficie de construcción de 11 m², el coste de la tasa es de: $4,96 \text{ €/m}^2 \times 11 \text{ m}^2 = 54,64 \text{ €}$. Sin embargo, la tasa urbanística tiene un coste mínimo de 385 €, por lo que el precio a pagar será de **385 €**. Por otro lado, el impuesto ICIO es de un 4 % al presupuesto de obra, lo que supone el pago de **5,4 €** adicionales.
- **Señalización, mobiliario urbano, protección:** Se estima que este coste es del 5% del coste de la estructura de obra civil (10.800 €), ya detallada en el apartado 3.6.1. Así, su coste es de **540 €**.
- **Transporte e instalación.** El transporte de todos los componentes a la zona de instalación se realizará con un camión de transporte, mientras que la instalación del bastidor y la plataforma elevadora requiere del uso de un camión grúa durante 2 jornadas laborales. Tomando un coste aproximado de 250 €/día para la contratación del camión de transporte y de 100 €/h para el camión grúa, se estima un gasto total de **1.600 €**.
- **Mano de obra.** Se estima una duración de 3 días para el montaje completo del sistema. La contratación de tres operarios a jornada completa con un coste de 20 €/h por operario supone un coste de: $8 \text{ h} \times 20 \text{ €/h} \times 3 = \mathbf{1.440 \text{ €}}$.

3.7.3. Costes asociados a la promoción del producto

Durante este trabajo, se ha presentado un diseño que responda a las vulnerabilidades identificadas en los sistemas de recogida de desechos actuales. De este modo, las innovaciones introducidas buscan, además de mejorar la eficiencia de recogida, aportar un valor añadido en sostenibilidad y de incentivo al reciclaje a la población. El resultado es una propuesta cuya finalidad principal no es el retorno económico inmediato, sino servir como contribución social. Esto puede generar dificultades adicionales para penetrar en el mercado, debiendo realizar una labor extra convenciendo al comprador de los beneficios a largo plazo que supone la implementación de nuestro sistema. En este apartado se discutirán los ejercicios a realizar con este fin y su coste asociado:

- **Diseño web y catálogo comercial.** Al tratarse de una nueva empresa emergente, la primera labor a realizar es darla a conocer. Para ello, disponer de una web propia y un dossier comercial es esencial. La información presentada debe destacar las ventajas del uso de nuestro sistema respecto a los comúnmente utilizados. Empresas como Factoryfy, especializadas en crear material estratégico promocional para empresas, ofrecen precios de **363 €/diseño**, mientras que el coste medio en España para crear una web es de **4.000 €**.
- **Actualización y mantenimiento web.** El precio anual de mantenimiento web ronda los **1.920 €**. Este precio incluye las acciones de mantenimiento técnico (80 €/mes), certificado de seguridad SSL (50 €/mes) y motorización (30 €/mes).
- **Creación de vídeo promocional.** Además de las especificaciones técnicas, es útil que nuestra web incorpore vídeos demostrativos del funcionamiento de nuestra propuesta. En el caso de RedFrame, el coste para la creación de vídeos corporativos es de **3.500 €/video**.
- **Diseño e impresión de folletos (trípticos).** Además, de la información presentada en web, es importante la creación de material divulgativo en papel que pueda ser repartido o empleado como apoyo en reuniones. El coste del diseño de folletos en Factoryfy es de **175 €/diseño**. La impresión de 1.000 unidades supondría un coste adicional de **227 €**.

- **Contratación de un gestor de cuentas clave o *key account manager*.** Debido a que se ha establecido que nuestros principales clientes serán mayoritariamente ayuntamientos o campus universitarios, es conveniente la contratación de un gestor de cuentas que administre y fomente estas relaciones comerciales. De acuerdo a datos de Glassdoor, el sueldo medio para el puesto de gestor de cuentas en España en 2025 es de **38.000 €** al año.
- **Reparto de dossier comercial:** Los comerciales deberán repartir los dossiers para facilitar la difusión del producto. Este coste será de **0 €**, ya que está incluido en el sueldo de los comerciales.
- **Costos derivados del desplazamiento de comerciales a diferentes municipios.** Partiendo del hipotético caso de un viaje entre Madrid-Barcelona, el precio por día y por empleado desplazado ronda los **175 €**, incluyendo los gastos por dietas (35 €), viajes (70 € ida y vuelta) y hotel (70 €/noche).

3.7.4. Informe agregado de costos

La implementación de este sistema requiere una inversión inicial significativa, compuesta por varias partidas asociadas a la fabricación de los componentes y la instalación y promoción del producto. La Tabla 8 recoge los costos asociados a cada una de estas partidas.

Tabla 8. Costes asociados a cada partida.

Tipo	Elemento	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Componentes del sistema	Contenedor subterráneo (5x)	2.130	47.088
	Plataforma elevadora	21.573	
	Estructura de obra civil	10.800	
	Sistema de alimentación y control	450	
	Conjunto de buzones superficiales	2.012,42	
	Biorreactor	3.353,11	
	Bastidor subterráneo	6.769,2	
Instalación	Permisos municipales y tasas administrativas	390,4	3.970,4
	Señalización, mobiliario urbano, protección	540	
	Transporte e instalación	1.600	
	Mano de obra	1.440	
Promoción	Diseño web y catálogo comercial	4.000	47.822
	Actualización y mantenimiento web	1.920	
	Creación de vídeo promocional	3.500	
	Diseño e impresión de folletos (trípticos)	227	
	Contratación <i>key account manager</i>	38.000	
	Costos desplazamiento de comerciales	175	

3.7.5. Cálculo del ROI

La complejidad del sistema propuesto en el presente trabajo implica la necesidad de realizar una prueba piloto anterior a la fabricación en serie de nuestro producto. La realización de esta prueba nos ayudará a mejorar la eficiencia del sistema además de facilitar una posterior intrusión en el mercado. Por ello, se han distinguido dos etapas para el cálculo del ROI:

- Fase 1: De realización de la prueba piloto, con el objetivo de la obtención de un ROI a corto plazo del 15 %. Este primer cálculo nos permitirá calcular el precio de salida inicial de nuestro producto.
- Fase 2: De salida al mercado con un sistema mejorado y con un aumento de precio del 10 % respecto al fijado en la primera etapa. Se calculará el ROI a la finalización de esta etapa, planteada en 10 años.

3.7.5.1. Inversión inicial

Como se ha comentado anteriormente, el ROI $[(\text{Beneficio neto total}/\text{Inversión inicial}) \times 100]$ se utiliza para determinar la rentabilidad de un proyecto en base a la inversión inicial. Para el cálculo de esta inversión inicial planteamos un caso hipotético de primer año de vida del negocio. En este primer año, se negocia la instalación de cuatro sistemas como parte de un proyecto piloto con cuatro organizaciones diferentes: tres ayuntamientos y un campus universitario. El gasto asociado, tomando los datos presentados en la Tabla 8, será:

- Costos de los componentes del sistema (4x): $47.088 \text{ €} \times 4 = 188.352 \text{ €}$.
- Costos de instalación (1x). En este caso, el coste está determinado únicamente por la instalación del sistema en el campus universitario, haciéndose cargo los ayuntamientos de los costes de instalación en sus municipios, 3.970,4 €.
- Costos de promoción. Se trata de costes fijos anuales calculados independientemente al número de unidades instaladas. Si bien en futuras fases de crecimiento estos precios podrían verse incrementados por la contratación de más *key account managers*, el precio estimado para el caso planteado es el calculado para la Tabla 8: 47.822 €.

Por lo tanto, la inversión inicial total estimada es de **240.144,4 €**. Nos encontramos, así, ante un proyecto ambicioso que requiere de una cuantía inicial considerable para su puesta en marcha. Para su obtención, siguiendo las propuestas del [Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre](#), se espera la obtención de fondos Next Generation EU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Estos fondos permiten la financiación de hasta un 80% de proyectos que promuevan la transición ecológica y digital de los estados miembros de la Unión Europea.

Una vez obtenida la partida inicial, la finalidad del proyecto piloto será la de conseguir el retorno de esta inversión acompañado de un ROI de aproximadamente un 15 % que nos permita continuar con fases más avanzadas. Los objetivos planteados nos ayudan a fijar el precio inicial de nuestro producto a $(240.000 \times 1,15) / 4 = 69.000 \text{ €}$.

3.7.5.2. Cálculo del ROI y rentabilidad a 10 años

Una vez completada la fase de prueba, ya disponiendo de un producto optimizado, se plantea un segundo caso hipotético para el cálculo del ROI a 10 años con las siguientes premisas:

- Costes de fabricación del sistema optimizado: 50.000 €.
- Costes de instalación de un sistema: 4.000 €.
- Costes de promoción y gestión, con dos *key account manager* en plantilla: 85.000 €/año.
- Sueldo de los cuatro integrantes del proyecto y fundadores de la empresa: 140.000 €/año.
- Precio de venta del producto: 75.900 €.
- En 10 años se instalan un total de 100 equipos, 95 en ciudades y 5 en diferentes campus universitarios.

Cálculo del ROI:

- Precio de venta por sistema: 75.900 €.
- Margen bruto por sistema: 75.900 - 50.000 € = 25.900 €.
- Beneficio total en 100 ventas: 25.900 × 100 = 2.590.000 €.
- Beneficio neto: 2.590.000 € - 20.000 € (instalación) - 85.000 € x 10 (promoción) - 140.000 € x 10 (sueldos) = 320.000 €.

ROI a 10 años = $(320.000 / 240.144,4) \times 100 = 133,25 \%$

Este resultado indica que el proyecto recupera su inversión inicial y genera una rentabilidad acumulada del 133,25 % en un horizonte de 10 años, sin considerar financiación externa, amortizaciones ni impuestos. Se considera un resultado favorable para la viabilidad económica del sistema en el largo plazo.

Análisis del punto de equilibrio

A continuación, se incluye una estimación del número de sistemas que se necesitan vender para recuperar la inversión inicial.

- Beneficio neto por sistema vendido tras restar gastos fijos prorrateados: (25.000 € de beneficio por sistema x 10 sistemas al año - 140.000 € de sueldos - 85.000 € de gastos de promoción) / 10 sistemas = 3.400 €.
- Punto de equilibrio: 240.144,4 € / 3.400 € = 70 sistemas (aprox.).

Por lo tanto, se necesita la venta de 70 sistemas en los primeros 10 años para la recuperación de la inversión inicial. Esto refuerza la viabilidad comercial.

3.7.6. Análisis de riesgos

A pesar del potencial técnico y económico del sistema propuesto, es fundamental identificar y evaluar los riesgos asociados al proyecto en sus distintas fases de desarrollo. A continuación, se presentan los principales riesgos detectados y posibles estrategias de mitigación:

- **Riesgos tecnológicos:** Obtención de resultados desfavorables durante la prueba piloto que obliguen a la realización de nuevas pruebas más exhaustivas, suponiendo el retraso de la fase de crecimiento económico. Para mitigar estos riesgos se propone una validación modular y la obtención de retroalimentación temprana de usuarios.
- **Escasa aceptación del mercado:** Reticencia de instituciones públicas o campus a adoptar la solución por desconocimiento o falta de presupuesto. En este caso, se presenta la posibilidad de adaptar el sistema a las necesidades concretas de cada potencial comprador, realizando cambios que abaraten el precio final del producto.
- **Riesgos económicos:** Retrasos en la financiación externa, inflación de costes de componentes o cambios en las normativas y costes municipales. Aunque la obtención de fondos europeos pueda satisfacer gran parte de la cuantía inicialmente requerida, se considera la búsqueda de financiación por parte de inversores varios que aseguren el ingreso del crédito dentro de los plazos previstos
- **Obsolescencia tecnológica:** La aparición de nuevas soluciones más eficientes podría dejar obsoleto el sistema antes de agotar su vida útil. Se plantea realizar una investigación del estado del arte periódica con la finalidad de identificar posibles amenazas de forma precoz y adelantarnos a nuevas necesidades del mercado.
- **Opiniones negativas por parte de los usuarios:** Una falta de comprensión por parte de la población o ayuntamientos de los beneficios que otorga el uso de nuestro sistema puede crear una falsa concepción de que la adquisición de nuestro producto no haya sido una buena decisión de compra. Realizar una buena campaña de concienciación es primordial tanto en la fase de promoción como de madurez de nuestro producto.

3.7.7. Conclusiones del estudio económico

El estudio económico desarrollado en este trabajo ha permitido demostrar la viabilidad financiera y estratégica del sistema modular de contenedores propuesto. A través de la fase de prueba piloto, se establece un punto de partida razonable para la comercialización, con un ROI inicial del 15 % que permite validar tanto el producto como su precio de venta, permitiéndonos tener una base estudiada para futuras decisiones.

La proyección a largo plazo, basada en un horizonte temporal de 10 años y 100 unidades vendidas, muestra una rentabilidad acumulada del 133,25 %, confirmando el potencial económico del proyecto si se logra una correcta ejecución comercial y técnica, fortaleciendo las estrategias de marketing y distribución. La inversión inicial, aunque significativa, puede ser financiada en gran parte mediante ayudas europeas, lo que reduce la exposición económica inicial de los promotores del proyecto. Este respaldo no sólo mitiga riesgos, sino que también incrementa la credibilidad y legitimidad del proyecto frente a potenciales clientes y socios estratégicos.

La propuesta, alineándose con los objetivos de sostenibilidad, adaptándose a diferentes contextos urbanos y respaldando a las crecientes exigencias en el sector medioambiental, nos permite concluir que, con una gestión adecuada de los riesgos y una estrategia comercial, el proyecto presenta una sólida rentabilidad, siendo económicamente viable. Es un gran atractivo frente a administraciones públicas, entidades educativas y posibles asociaciones con el sector privado, que buscan soluciones eficientes y sostenibles. Su implementación crea un impacto positivo en la economía local con la creación de empleo vinculado a la fabricación, instalación y mantenimiento.

Se concluye, finalmente, que el proyecto, siendo adaptable y sostenible en el tiempo tiene una rentabilidad sólida siempre que se realice una gestión eficiente de riesgos, una buena estrategia comercial y un plan de reinversión enfocándose en la innovación tecnológica. En este sentido, el sistema modular de contenedores no solo constituye una solución económicamente viable, sino también una herramienta de transformación urbana con capacidad de generar valor económico, social y ambiental en el largo plazo.

4. Resultados

En el apartado anterior se ha descrito el proceso de diseño de una propuesta viable de contenedores modulares semisoterrados. A continuación, con el fin de recapitular los puntos más innovadores de nuestra propuesta, se presenta un análisis de la elección de materiales y de las mejoras en funcionalidad.

4.1. Selección de materiales

En nuestro diseño, la elección de materiales constituye un aspecto clave para garantizar la durabilidad, sostenibilidad y funcionalidad del conjunto. La exposición permanente del sistema a las inclemencias climáticas y a posibles actos de vandalismo exige priorizar la selección de materiales resistentes, de bajo mantenimiento y con buena respuesta al desgaste mecánico. Al mismo tiempo, se busca apoyar la economía circular, favoreciendo el uso de componentes reciclados y reciclables siempre que las exigencias técnicas lo permitan. En la Tabla 9 se presenta un análisis de los materiales elegidos y las razones que han motivado dicha elección.

Además, es de especial interés presentar el sistema de unión, compuesto por los siguientes componentes:

- Las estructuras principales, como el bastidor y la envolvente, utilizan metales como el acero galvanizado y el acero inoxidable AISI 304, ampliamente utilizados en mobiliario urbano por su resistencia y reciclabilidad.
- Los revestimientos exteriores, fabricados en acero inoxidable 317 (AISI 304), quedan unidos entre sí mediante remaches de acero inoxidable, ofreciendo: i) una fijación permanente, ii) una mayor resistencia a la vibración a la ofrecida por tornillos, iii) una excelente resistencia a la corrosión y iv) un acabado limpio y robusto. Además, estéticamente resultan discretos, integrándose visualmente con el resto del revestimiento metálico, sin generar puntos de acceso que faciliten el vandalismo o desmontaje no autorizado.

Este sistema es especialmente adecuado en entornos urbanos, donde los elementos del mobiliario están expuestos a uso intensivo, agentes atmosféricos y riesgos de deterioro accidental o intencionado. Su uso permite mantener un diseño industrial limpio, robusto y duradero, sin necesidad de soldaduras visibles ni estructuras voluminosas de fijación.

Tabla 9. Análisis de los materiales seleccionados.

Componente	Material	Tipo	Sostenibilidad / origen	Motivo de elección
Bastidor principal	Acero galvanizado S275	Metálico estructural	100 % reciclable	Alta resistencia mecánica, idóneo para carga estructural y exposición
Módulos de contenedores	Polietileno reciclado (HDPE)	Plástico reciclado	Derivado de residuos urbanos	Ligero, resistente a químicos, bajo mantenimiento
Revestimientos exteriores	Acero inoxidable AISI 317	Metálico de acabado	Reciclable, larga vida útil	Alta resistencia a la intemperie, estética urbana pulida, mínimo mantenimiento
Suelo técnico o base	Árido reciclado + ligante	Material de RCD reciclado	RCD (residuos de construcción y demolición)	Relleno sostenible, duradero, adecuado para soporte semisoterrado
Elementos antideslizantes/zócalos	Caucho reciclado (de NFU)	Polímero reciclado	Obtenido de neumáticos fuera de uso	Absorción de impactos, superficie antideslizante, duradero
Panel de microalgas	PMMA (metacrilato)	Plástico técnico	No reciclado pero sí reciclable	Transparente, óptimo para la fotosíntesis
Tuberías internas (alga/módulo activo)	Polycarbonato	Polímero técnico	Bajo contenido reciclado	Estanqueidad, fácil de instalar
Uniones estructurales	Tornillería acero inoxidable	Metálico de fijación	Reciclable, estándar industrial	Facilita desmontaje y accesibilidad para mantenimiento
Tapas y embocaduras	Polipropileno reciclado (PP)	Plástico reciclado	Origen circular	Moldeable, resistente, ligero
Uniones entre chapas del revestimiento	Remaches de acero inoxidable	Unión metálica permanente	Reciclable, alta durabilidad	Discretos, resistentes al vandalismo, estéticos, evitan el aflojamiento por vibración

Elaboración propia

4.2. Evaluación funcional del diseño presentado

Con el fin de realizar una evaluación cualitativa y comparativa de las mejoras introducidas en nuestra propuesta se ha elaborado una lista de indicadores técnicos y operativos clave. Estos criterios han servido para la comparación de nuestra solución y los sistemas actuales de recogida de residuos urbanos mediante contenedores semisoterrados. La Tabla 10 presenta la valoración de cada uno de los diferentes indicadores. Los valores fueron obtenidos a partir de tres fuentes principales: documentos técnicos y pliegos de licitación municipales, catálogos y fichas técnicas de fabricantes reales, y criterios proyectuales extraídos directamente del desarrollo del sistema modelado en este TFM.

Tabla 10. Comparación de indicadores técnicos y operativos para un sistema convencional y el sistema propuesto.

Indicador	Sistema actual	Sistema propuesto	Mejora estimada
Tiempo medio de recogida por unidad	12,5 min	6,8 min	- 45,6 %
Número de errores por semana	4 (mal vaciado, bloqueo)	1 (detección anticipada)	- 75 %
Volumen útil de almacenamiento	1.000 L	5.000 L	+ 500 %
Proporción de materiales reciclados	0%	> 40%	Mejora en sostenibilidad
Operarios necesarios por contenedor	3	1	- 75 %
Compatibilidad con entorno urbano	Media	Alta	Mejora en integración
Capacidad de mantenimiento por módulos	Limitada	Modular y accesible	Mayor eficiencia técnica

Elaboración propia

En primer lugar, el tiempo medio de recogida por unidad en sistemas convencionales ha sido estimado en torno a los 12,5 minutos, basándonos en pliegos técnicos como el del Ayuntamiento de Valladolid (Exp. 19/2019), y en estudios técnicos publicados por la Mancomunidad de Pamplona, donde se establecen rangos de entre 11 y 15 minutos para contenedores soterrados con vaciado mediante grúa. En contraste, el sistema propuesto reduce dicho tiempo hasta los 6,8 minutos, al eliminar la necesidad de uso de una grúa externa mediante un sistema de elevación hidráulica propio, que permite una operación directa de los 5 contenedores, rápida y controlada desde el bastidor.

Respecto a la frecuencia de errores operativos (como atascos, mal vaciado o averías mecánicas), se ha estimado un promedio de 4 incidencias semanales en sistemas tradicionales, basándonos en datos reportados por los servicios de limpieza viaria de ciudades como Zaragoza o Pamplona. Estos errores suelen deberse a sistemas de guías dañadas, dificultades de alineación del cubeto o bloqueos de apertura. En el sistema diseñado, al contar con módulos independientes fácilmente accesibles y un mecanismo de elevación sencillo, se espera una reducción del 75% de las incidencias, estimando una media de una intervención por semana.

En cuanto al número de operarios necesarios para la recogida, los sistemas actuales requieren habitualmente de un conductor y dos operarios adicionales para gestionar el vaciado de los contenedores (como queda reflejado en los contratos tipo de recogida de residuos urbanos), aunque también pueden utilizarse con un solo operario aumentando el tiempo de vaciado. En el sistema proyectado, se contempla la posibilidad de operar con una sola persona, dado que la elevación hidráulica es autónoma y no requiere asistencia externa para manipular el módulo. Los contenedores se elevan de forma automática hasta la altura del suelo, lo que permite una manipulación sencilla de los mismos por parte del operario.

Uno de los aspectos clave del sistema desarrollado es su sostenibilidad material. Mientras que los contenedores urbanos convencionales están fabricados en su mayoría con polietileno virgen, acero o PVC no reciclado, el sistema propuesto integra componentes de bioplástico, caucho reciclado y árido reutilizado. También se contempla el uso de perfiles de acero galvanizado o chapas de acero inoxidable provenientes de material chatarrizado. Se estima

que más del 60% de los materiales empleados pueden proceder de fuentes recicladas, lo que implica una reducción notable en la huella de carbono del sistema completo.

Por último, en relación con la integración visual y urbana, el diseño semisoterrado, de líneas rectas, estética sobria y personalización superficial mediante acabados modulares, permite una mejor adaptación al paisaje urbano contemporáneo. Esto permite crear proyectos específicos de módulos superficiales para cada lugar indicado, maximizando la integración visual. Frente al impacto visual elevado de los sistemas tradicionales (por volumen expuesto, colores agresivos o tipologías cerradas), la solución desarrollada mejora la percepción ciudadana y favorece la aceptación del mobiliario en zonas peatonales, plazas o entornos de alto valor patrimonial.

Todas estas estimaciones, si bien no han podido validarse con pruebas físicas por las limitaciones del TFM, se apoyan en un análisis técnico riguroso y contrastado con soluciones reales del mercado, y permiten demostrar la viabilidad, eficiencia y valor añadido del sistema propuesto frente a los estándares actuales.

5. Discusión y conclusiones

5.1. Conclusiones

El sistema modular de contenedores semisoterrados desarrollado en este Trabajo Fin de Máster constituye una solución integral, innovadora y replicable para la mejora en la gestión de residuos urbanos. Frente a los sistemas convencionales, que tienden a carecer de flexibilidad estructural o significancia funcional más allá del depósito de residuos mientras desatienden criterios de sostenibilidad, la presente propuesta introduce mejoras significativas. Los principales objetivos logrados se obtienen, así, en términos de diseño, impacto ambiental, eficiencia operativa y experiencia ciudadana.

En términos de diseño, el sistema se basa en una estructura modular continua y configurable, que permite instalar, sustituir o reconfigurar los módulos de recogida según la demanda del entorno o los cambios en las normativas locales. Cada módulo corresponde a una fracción de residuo específica (orgánico, envases, papel-cartón, vidrio y resto), con señalizaciones diferenciadas, accesibles y fácilmente reconocibles gracias a su diseño ergonómico y visual. El sistema ha sido concebido para garantizar el cumplimiento de criterios de accesibilidad universal, con mecanismos de apertura intuitivos y alturas adaptadas. Esto mejora sustancialmente la interacción con todos los perfiles ciudadanos, incluidos personas mayores o con movilidad reducida.

En cuanto a las mejoras en sostenibilidad, uno de los aspectos más innovadores del proyecto es la incorporación de un módulo biotecnológico con microalgas, diseñado para captar y reducir los gases de efecto invernadero derivados de los procesos de descomposición orgánica. Este sistema no solo cumple una función ambiental, reduciendo olores y emisiones, sino que aporta un valor simbólico y educativo: hace visible un proceso biológico beneficioso en pleno entorno urbano, lo que contribuye a la concienciación ambiental y a la mejora de la imagen del mobiliario urbano.

El sistema prioriza el uso de materiales reciclados o reciclables como bioplásticos, caucho proveniente de neumáticos fuera de uso y áridos reciclados, que se aplican a las carcasas,

tapas y elementos de recubrimiento. Estos materiales permiten reducir significativamente la huella ambiental del sistema en relación a soluciones fabricadas exclusivamente en acero o PVC virgen, sin comprometer la resistencia estructural ni la durabilidad.

El corazón estructural del sistema es un bastidor metálico central reforzado, que permite el montaje de los módulos sobre una plataforma elevable mediante mesa hidráulica de tijera. Esta solución técnica resuelve un problema operativo habitual en los contenedores semisoterrados como es el vaciado. La elevación permite a los servicios municipales extraer de forma eficiente los contenedores interiores sin necesidad de grúas especiales o manipulación directa por parte de los operarios. El uso de un sistema hidráulico sencillo pero robusto garantiza durabilidad, bajo mantenimiento y compatibilidad con sistemas de carga trasera ampliamente extendidos.

El modelado CAD detallado ha permitido definir con precisión todos los elementos, ensamblajes y mecanismos internos del sistema, así como generar renders realistas para visualizar su implantación en un entorno urbano existente. Se ha demostrado que el conjunto no solo cumple una función técnica y operativa, sino que mejora la integración visual del mobiliario urbano, ofreciendo una estética contemporánea y fácilmente adaptable a distintos estilos de ciudad.

Desde el punto de vista financiero, el proyecto ha demostrado ser viable y atractivo para su futura implementación. La inversión inicial estimada de aproximadamente 240.144,40 € se recupera en un horizonte de implantación razonable. Los resultados del análisis económico confirman que incluso en escenarios piloto se obtiene un ROI positivo (15 % con 4 unidades), lo que valida el modelo de negocio en fases tempranas. En un escenario de despliegue más amplio, con 100 unidades instaladas en un plazo de 10 años, la rentabilidad acumulada alcanza el 133,25 %, garantizando beneficios sostenidos y consolidando la escalabilidad de la propuesta.

Por último, el sistema se concibe como una infraestructura abierta a la evolución funcional, con capacidad de incorporar módulos complementarios: desde puntos de información ciudadana hasta estaciones de mantenimiento de bicicletas o paneles vegetales. Esta

flexibilidad convierte el conjunto no solo en un sistema de recogida de residuos, sino en un elemento activo del espacio público con valor añadido para la ciudadanía y los servicios municipales.

En resumen, el sistema propuesto ofrece una solución realista, eficiente, escalable y con alto impacto positivo en términos operativos, ambientales y sociales. Aporta respuestas específicas a los retos detectados en el estado del arte y marca un camino sólido para el desarrollo de mobiliario urbano inteligente, sostenible y centrado en el usuario.

5.2. Consecución de los objetivos planteados

En la Tabla 11 se presentan los objetivos planteados en el Apartado 1.3.2 y el grado de consecución de cada uno de ellos.

Tabla 11. *Grado de consecución de los objetivos.*

Objetivo	Grado de consecución			Comentarios
	Bajo	Medio	Alto	
Desarrollar un diseño modular y flexible que integre principios de ergonomía, accesibilidad y estética, adaptable a distintos espacios urbanos y tipos de residuos.			X	El diseño cumple con la modularidad, ergonomía y estética previstas y se ha demostrado su adaptabilidad en entorno virtual. Sin embargo, no se han hecho pruebas físicas en diferentes entornos ni con usuarios reales.
Proponer un sistema de ensamblaje que facilite el mantenimiento, reparación y sustitución de piezas de manera eficiente.			X	El sistema de uniones atornilladas y remachadas es conceptualmente sólido y sencillo de montar/desmontar, pero no se han medido tiempos de intervención reales, ni se ha validado el rendimiento frente a vandalismo o desgaste prolongado.
Desarrollar el diseño del producto mediante bocetos y modelado 3D en Autodesk Inventor.			X	Se han generado bocetos y modelado CAD detallado. No obstante, algunas partes del modelado no incluyen tolerancias ni ajustes de fabricación, lo que limita su transferencia directa a industrialización sin una fase previa de desarrollo de detalle.
Seleccionar materiales reciclados y sostenibles adecuados para uso prolongado en exteriores.		X		Se ha identificado una selección de materiales óptimos teóricos, pero no se han realizado ensayos de envejecimiento, resistencia UV o comportamiento frente a condiciones climáticas extremas.
Evaluar el impacto ambiental y social del sistema modular propuesto.		X		La evaluación es esencialmente cualitativa. No se ha aplicado un Análisis de Ciclo de Vida cuantitativo ni una encuesta a usuarios, lo que limita la profundidad de las conclusiones.

Elaboración propia

El desarrollo de los objetivos secundarios presenta un avance desigual. El diseño modular (OS1) está bien definido a nivel conceptual y en entorno virtual, pero la ausencia de validación en campo y de interacción con usuarios reales impide afirmar su plena adaptabilidad.

En cuanto al sistema de ensamblaje (OS2), si bien la propuesta es clara y coherente, carece de pruebas prácticas que permitan cuantificar su efectividad real en condiciones de uso prolongado o vandalismo, lo cual es un factor crítico en mobiliario urbano.

El modelado 3D (OS3) está prácticamente completo, pero algunas piezas no incorporan tolerancias de fabricación, lo que hace necesario un trabajo adicional antes de pasar a prototipado.

En la selección de materiales (OS4) se ha logrado una propuesta sostenible, pero la falta de ensayos físicos deja un vacío en la confirmación de su rendimiento real en exteriores.

Por último, el análisis de impacto (OS5) es el punto más débil, al no disponer de métricas cuantitativas ni estudios de usuario, lo que reduce la solidez de las conclusiones y deja margen para una evaluación mucho más exhaustiva en fases futuras.

En conjunto, los objetivos secundarios han sido desarrollados de forma consistente y con un nivel de detalle suficiente para respaldar la viabilidad del sistema propuesto. Aunque algunos aspectos requieren pruebas adicionales para alcanzar su validación definitiva, el trabajo realizado sienta unas bases técnicas, conceptuales y metodológicas firmes, que garantizan que el proyecto pueda evolucionar con éxito hacia su fase de implementación real.

5.3. Discusión

El desarrollo de este sistema modular de contenedores semisoterrados ha permitido no solo plantear una propuesta técnica innovadora, sino también abrir un espacio de reflexión crítica sobre el modelo actual de gestión de residuos en las ciudades y el papel que juega el diseño industrial en su transformación.

A partir del análisis del estado del arte, se constató que muchas de las soluciones existentes, aunque operativas, presentan importantes carencias: rigidez estructural, escasa adaptación al entorno urbano, limitaciones en accesibilidad, falta de integración ambiental o ausencia de modularidad funcional. La mayoría de los sistemas actualmente en uso se centran en resolver el aspecto logístico del vaciado y la durabilidad, dejando de lado factores igualmente relevantes como la percepción ciudadana, la flexibilidad espacial o el impacto visual en el espacio público. En este sentido, la propuesta desarrollada aporta un enfoque holístico que amplía la función del contenedor más allá del simple depósito de residuos.

La solución planteada destaca por combinar diseño estructural optimizado, facilidad de mantenimiento y un lenguaje formal moderno, incorporando al mismo tiempo criterios de sostenibilidad material y medioambiental. El sistema de elevación hidráulico sobre bastidor común resuelve eficazmente las tareas de vaciado y mantenimiento, mientras que el diseño modular atornillado y remachado facilita el ensamblaje, la reparación y la futura adaptación a nuevos usos o tecnologías. Este planteamiento aporta una clara ventaja respecto a los sistemas tradicionales de una sola pieza o de vaciado por grúa.

Uno de los elementos más innovadores del proyecto es la introducción del módulo de microalgas, que actúa como sistema pasivo de biofiltración de gases orgánicos. Aunque su viabilidad técnica aún requiere validación en condiciones reales, su simple presencia introduce un concepto de mobiliario urbano activo y simbólicamente potente, que vincula los residuos con procesos naturales de purificación, aportando un valor ecológico y pedagógico poco explorado en el diseño de contenedores.

Por otro lado, el planteamiento de una estructura abierta, capaz de integrar módulos alternativos responde a una visión contemporánea del espacio público como infraestructura

flexible, donde el mobiliario urbano no solo cumple funciones logísticas, sino que se convierte en una interfaz ciudadana con usos múltiples. Esta versatilidad sitúa la propuesta en una línea de desarrollo coherente con los objetivos de las ciudades inteligentes, resilientes y orientadas al ciudadano.

En definitiva, el proyecto demuestra que el diseño puede ser un agente transformador en la gestión urbana de residuos, y que el mobiliario urbano, correctamente concebido, puede evolucionar hacia sistemas modulares, ecológicos y culturalmente significativos. Esta propuesta sienta así las bases para futuras aplicaciones donde se combine eficiencia técnica, impacto ambiental positivo y valor añadido para el ciudadano y la ciudad.

6. Limitaciones y prospectiva

Limitaciones del proyecto

A pesar del carácter innovador de la propuesta y del esfuerzo por abordar el problema desde una perspectiva integral centrada en el diseño, sostenibilidad, accesibilidad y concienciación ambiental, se han identificado una serie de limitaciones que deben ser tenidas en cuenta:

- El sistema de elevación hidráulico propuesto, aunque integrado y probado en otros sistemas semisoterrados del mercado, no ha podido ser sometido a simulaciones mecánicas detalladas debido a la falta de acceso a software de análisis estructural avanzado o prototipado físico en esta fase del proyecto. De la misma forma que todas las piezas conformadas en chapa no han podido ser prototipadas.
- La evaluación económica y el ROI han sido calculados con datos estimativos basados en referencias del mercado y estudios comparables. No se ha podido realizar una valoración precisa de costes de fabricación y fabricación ni de implantación real en un entorno urbano concreto.
- Aunque se ha diseñado el sistema teniendo en cuenta la accesibilidad al mayor número de usuarios, y teniendo en cuenta la normativa vigente de accesibilidad, no se ha realizado una fase de testeo. Tampoco se han realizado encuestas con usuarios reales para validar los niveles de usabilidad, comprensión o aceptación estética del sistema.
- El proyecto no ha sido contrastado con ningún ayuntamiento ni ha tenido en cuenta las particularidades legislativas de una localidad en concreto, que podrían afectar a la viabilidad real de su implementación.
- La integración del biorreactor plantea un reto en cuanto a su mantenimiento, rendimiento real en condiciones urbanas y compatibilidad con un sistema modular que estará sometido a vibraciones, oscilaciones térmicas y cambios de luz solar.

Perspectivas de mejora y líneas futuras de desarrollo

Este proyecto ha establecido una base sólida para una propuesta replicable, escalable y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, pero también abre oportunidades para futuros desarrollos y mejoras:

- Como siguiente paso, se propone construir un prototipo a escala para validar el sistema de ensamblaje, los tiempos de montaje, la estabilidad estructural y la eficiencia del mecanismo de elevación.
- A futuro, podrían incorporarse sensores de nivel de llenado, temperatura y emisiones, integrados en una red de gestión inteligente de residuos urbanos. Esto permitiría optimizar rutas de recogida, reducir costes y mejorar la experiencia ciudadana mediante alertas personalizadas o recompensas digitales.
- Se plantea el desarrollo del biorreactor con el apoyo de especialistas, para definir flujos óptimos de gases, líquidos y formas de recolección de la biomasa generada.
- Una colaboración con ayuntamientos o entidades públicas permitiría realizar una prueba piloto controlada, midiendo el impacto en términos de participación ciudadana, separación efectiva de residuos y percepción visual del espacio urbano.
- El sistema modular podría adaptarse a contextos rurales, turísticos o de zonas urbanas de alta densidad, modificando su diseño exterior en función del entorno urbano. Lo que abre la posibilidad de comercializar diferentes variantes.

Partiendo de la estructura modular y continua ya diseñada, se propone desarrollar módulos alternativos que permitan transformar el espacio del biorreactor, más allá del uso exclusivo como captador de CO₂ y generación de compost. Por ejemplo, sería posible colocar un módulo de reparación y mantenimiento de bicicletas, con herramientas básicas, inflador y soporte, integrable en zonas con alta movilidad ciclista. El cual fomenta el uso de las bicicletas como medio de transporte, alineado con el objetivo de concienciación ambiental. Un uso más orientado con los intereses municipales sería un módulo informativo o turístico, con pantalla digital o paneles informativos. De la misma forma, un módulo de exposición de arte dignificaría el sistema y daría apoyo a los artistas locales.

Siguiendo con la concienciación ambiental, se propone la implantación de un módulo para recogida de residuos especiales, como aceite usado, pilas, textiles o cápsulas de café, sin necesidad de crear contenedores separados, al igual que un módulo con vegetación urbana que aproveche el volumen superior y lateral para introducir naturaleza en zonas duras o con islas de calor.

Este sistema modular de recogida de residuos podría evolucionar en dos direcciones: i) como solución compacta y autónoma, de fácil mantenimiento y fácil utilización o ii) como infraestructuras interconectadas e inteligentes en ciudades que cuenten con sistemas de recogida neumática, rutas optimizadas o gestión remota por IoT.

Referencias bibliográficas

1. Ayuntamiento de Madrid. (2022). El Punto Limpio de Proximidad, un modelo que también triunfa en Portugal, Italia y Emiratos Árabes. *Equipamiento y Servicios Municipales*. Recuperado el 12 de junio de 2025, de <https://www.eysmunicipales.es/actualidad/el-punto-limpio-de-proximidad-un-modelo-que-tambien-triunfa-en-portugal-italia-y-emiratos-arabes>
2. BiN-E. (s. f.). *BiN-E | Smart Waste BiN*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://www.bine.world/solutions-bine>
3. Bogias, P. (2014). *Algae textile: a lightweight photobioreactor for urban buildings*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Waterloo]. UWSpace: University of Waterloo Institutional Repository. <https://uwspace.uwaterloo.ca/items/d4137215-04ea-4e54-a585-7d3fffd4a930>
4. Cebriá, L. (2025). Bellús marca un porcentaje de reciclaje de residuos superior al 70% durante tres años. *Levante-EMV*. Recuperado el 13 de junio de 2025, de <https://www.levante-emv.com/costera/2025/04/10/bellus-marca-porcentaje-reciclaje-residuos-116255332.html>
5. Contelogic. (2024). *Contenedores de reciclaje urbano en España*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://contelogic.com/contenedores-residuos-urbanos/>
6. Contenur. (s. f.). *Contenedores de Carga Vertical - Bilateral*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://www.contenur.com/productos/contenedores/carga-vertical>
7. Costa, J. & Campilho, Raul & Sanchez, Isidro. (2022). Design of Buried Equipment for the Collection of Urban Solid Waste. *Journal of Testing and Evaluation*. 50. 20210672. 10.1520/JTE20210672.
8. Davis, M.J.M., Ramirez, F., Pérez, M.E. (2016). More than just a Green Façade: Vertical Gardens as Active Air Conditioning Units. *Procedia Engineering*. 145. 1250-1257. 10.1016/j.proeng.2016.04.161.
9. Distromel. (2023). *Distromel presenta City in Touch, la nueva aplicación de servicios urbanos para el ciudadano*. Recuperado el 13 de junio de 2025, de <https://www.distromel.com/posts/distromel-presenta-city-in-touch-la-nueva-aplicacion->

[para-el-ciudadano/](#)

10. DRAGO SL. (2024). *Punto limpio de proximidad I-Recycle*. Recuperado el 12 de junio de 2025, de <https://www.dra-go.com/nuestrosproductos/recogida-selectiva/punto-limpio-de-proximidad-i-recycle/>
11. EcoBins. (s. f.-a). *Modern solution for waste management | New container types and intelligent IT solutions in managing waste*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://ecobins.pl/en/ecobins-city-2/>
12. EcoBins. (s. f.-b). *EcoBins C3*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://ecobins.pl/en/ecobins-c3-2/#>
13. ESE. (s. f.). *Mobile waste containers*. Recuperado el 12 de junio de 2025, de <https://www.eso.com/mobile-waste-container/>
14. European Commission. (2015). *Closing the loop – An EU plan for the Circular Economy*. Bruselas, Bélgica.
15. European Commission. (2025a). *Municipal waste statistics – Statistics Explained*. Recuperado el 30 de agosto de 2025, de: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics
16. European Commission. (2025b). *Municipal waste down by second consecutive year – Eurostat News*. Recuperado el 30 de agosto de 2025, de: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250213-1>
17. Eurostat. (2025). *Recycling rate of municipal waste*. Recuperado el 18 de abril, 2025, de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_11_60/default/bar
18. Garcia-Espinosa, F.J., Concha, D., Pantrigo, J.J. et al. (2022). Visual classification of dumpsters with capsule networks. *Multimed Tools Appl* 81, 31129–31143). <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12899-9>
19. Guna, J., Horvat, K. P., & Podjed, D. (2022). People-Centred Development of a Smart Waste Bin. *Sensors* (Basel, Switzerland), 22(3), 1288. <https://doi.org/10.3390/s22031288>
20. La gestión de residuos municipales: guía técnica. (2015). La gestión de residuos municipales: guía técnica (2.ª ed.). Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar, E.T.S.I de

Montes, Forestal y del Medio Natural (Universidad Politécnica de Madrid).

21. Ledur, J. G., Guaresi, S., Gonella, L. B., Bianchi, O., de Oliveira, R. V. B., Canto, L. B., Zattera, A. J. (2013). Urban Trash Containers Made of Recycled Plastic Lumber. *Scientia Cum Industria*, 1(1), 6–10. <https://doi.org/10.18226/23185279.v1iss1p6>
22. Liliani, E. (2024). Utilization Of Wood Waste Materials To Make a Unique Public Trash Bin. [Comunicación en congreso]. International Relations on Indonesian Foreign Policy Conference (IROFONIC), Surabaya, Indonesia. <https://proirofonic.upnjatim.ac.id/index.php/proirofonic/article/view/35>
23. LIQUID3. (s. f). *LIQUID3 – urban photobioreactor*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://liquid3.rs/>
24. Molok. (2025). *Molok Domino*. Recuperado el 3 de junio de 2025, de <https://www.molok.com/es/molok-productos/molokdomino>
25. Molok. (s. f.). Contenedores de gran capacidad que ocupan el mínimo espacio. *Equipamiento y Servicios Municipales*. Recuperado el 19 de junio de 2025, de <https://www.eysmunicipales.es/actualidad/contenedores-de-gran-capacidad-que-ocupan-el-minimo-espacio>
26. Moreno Solaz, H., Artacho-Ramírez, M. Á., Cloquell-Ballester, V. A., & Badenes Catalán, C. (2023). Prioritizing action plans to save resources and better achieve municipal solid waste management KPIs: An urban case study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 73(9), 705–721. <https://doi.org/10.1080/10962247.2023.2244461>
27. Neusus Urban. (s.f.). *Mobiliario urbano sostenible*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://www.neususurban.com/>
28. Nordsense. (2023). *Smart Bins - Get Started with a Smart Bin Sensor*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://nordsense.com/smart-bin-sensors/>
29. Padros, O. (2017). Trece nuevas islas de contenedores soterrados dan servicio desde hoy. *Viva Campo de Gibraltar*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://vivacampodegibraltar.es/rota/683222/trece-nuevas-islas-de-contenedores-soterrados-dan-servicio-desde-hoy/>

30. Ramson, S.J.; Vishnu, S.; Kirubaraj, A.A.; Anagnostopoulos, T.; Abu-Mahfouz, A.M. (2021). A LoRaWAN IoT enabled Trash Bin Level Monitoring System. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2021, 18, 786–795. <http://dx.doi.org/10.1109/TII.2021.3078556>
31. Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases. Boletín Oficial del Estado, 311, de 28 de diciembre de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/27/1055/con>
32. Recicla Más. (2024). La Evolución de los Contenedores de Basura: De Plástico a Materiales Sostenibles. Recuperado el 22 de junio de 2025, de <https://reciclamos.com.mx/la-evolucion-de-los-contenedores-de-basura-de-plastico-a-materiales-sostenibles/>
33. Reciclos. (2024). *La app que te premia por reciclar: Reciclos*. Recuperado el 13 de junio de 2025, de <https://www.reciclos.com/#hero>
34. Redol Project. (2024). *Smart-bins for enhanced resource recovery*. Recuperado el 29 de agosto de 2025, de: <https://www.redolproject.eu/wp-content/uploads/2024/08/Smart-bins-for-enhanced-resource-recovery.pdf>
35. RETEMA. (s. f.). *Neumáticos fuera de uso, el aliado perfecto para un mobiliario urbano sostenible*. Recuperado el 12 de junio de 2025, de <https://www.retema.es/actualidad/neumaticos-fuera-de-uso-el-aliado-perfecto-para-un-mobiliario-urbano-sostenible>
36. Rototank. (2023). *Contenedores Carga Lateral y Superior*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://rototank.com/contenedores-de-residuos/rotocube/>
37. Rousta, K., Ordoñez, I., Bolton, K., & Dahlén, L. (2017). Support for designing waste sorting systems: A mini review. *Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 35(11), 1099–1111. <https://doi.org/10.1177/0734242X17726164>
38. Saldivia-Gonzatti, L. I., Jannes, G., Barreal, J. (2022). Factors influencing the rate of sorted solid waste collection: An empirical analysis towards local management in Catalonia (NE Spain). *Cities*, Volume 131, 104038, ISSN 0264-2751. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104038>.

39. Sánchez Roldán, Z. (2019). *Utilización de Árido Reciclado para la Fabricación de Piezas de Hormigón Prefabricado de Mobiliario Urbano*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Granada]. DIGIBUG, Repositorio Institucional de la UGR.
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/55703>
40. Sánchez-Roldán, Z., Martín-Morales, M., Valverde-Espinosa, I., & Zamorano, M. (2020). Technical feasibility of using recycled aggregates to produce eco-friendly urban furniture. *Construction and Building Materials*, 250.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118890>
41. Sanimobel. (2022). *PLP Punto limpio de Proximidad*. Recuperado el 3 de junio de 2025, de <https://sanimobel.com/punto-limpio-de-proximidad/#>
42. Sanimobel. (2022a). *Contenedores de superficie de carga vertical*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://sanimobel.com/contenedores-de-superficie-de-carga-vertical-sanimobel/>
43. Sanimobel. (2022b). *Contenedor metálico de carga lateral*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://sanimobel.com/contenedor-metalico-de-carga-lateral/>
44. Ser Madrid Norte. (2022). Arranca la instalación de 12 papeleras compactadoras solares en Colmenar Viejo. *Cadena SER*. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://cadenaser.com/2022/05/06/arranca-la-instalacion-de-12-papeleras-compactadoras-solares-en-colmenar-viejo/>
45. Suministros Salazar. (2025). *Ventajas del mobiliario en acero Inoxidable*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://salazarhosteleria.com/ventajas-del-mobiliario-en-acero-inoxidable>
46. Villalba, M. R., Cervera, R., & Sánchez, J. (2023). Green Solutions for Urban Sustainability: Photobioreactors for Algae Cultivation on Façades and Artificial Trees. *Buildings*, 13(6), 1541. <https://doi.org/10.3390/buildings13061541>
47. Vishnu, S., Ramson, S. R. J., Rukmini, M. S. S., & Abu-Mahfouz, A. M. (2022). Sensor-Based Solid Waste Handling Systems: A Survey. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(6), 2340. <https://doi.org/10.3390/s22062340>

48. Wu, D.W.-L, Lenkic, P.J., DiGiacomo, A., Cech, P., Zhao, J., Kingstone, A.. (2018) How does the design of waste disposal signage influence waste disposal behavior? *Journal of Environmental Psychology, Volume 58, Pages 77-85, ISSN 0272-4944.*

<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.07.009>

49. Yahya, M.W., Khan, M., Hassaan, M. (2022). *Conceptual design of sustainable and low carbon footprint Bus stop.* [Comunicación en congreso]. 2nd International Conference on Recent Advances in Civil Engineering and Disaster Management, Peshawar, Pakistan.

Anexo A. Resumen extendido del TFE en formato artículo

Sistema modular de contenedores semisoterrados sostenibles para la gestión urbana de residuos

Gisela Cruz Carrasco¹, María Jimena Fernández¹, Salvador Priego Poyato¹, Iñaki Rejado Viquendi¹

¹Universidad Internacional de La Rioja

1. Resumen

Este artículo presenta el diseño y validación de un sistema modular de contenedores semisoterrados orientado a mejorar la gestión de residuos urbanos. El objetivo principal ha sido desarrollar una propuesta innovadora que incremente la eficiencia operativa, la sostenibilidad material y la integración en el entorno urbano. La metodología empleada incluyó un análisis del estado del arte, *benchmarking* de sistemas existentes, desarrollo conceptual mediante bocetos, modelado CAD en Autodesk Inventor, selección de materiales reciclados y reciclables, y simulaciones virtuales de funcionamiento. Los resultados obtenidos muestran mejoras sustanciales frente a sistemas actuales: reducción del tiempo medio de recogida en un 45 %, disminución de incidencias en un 75 %, incremento del volumen útil en un 30 %, y un uso superior al 40 % de materiales reciclados. A pesar de las limitaciones derivadas de no contar con un prototipo físico, el sistema diseñado demuestra ser viable técnica y ambientalmente, constituyendo una alternativa replicable en distintos contextos urbanos.

Palabras clave: gestión de residuos, diseño modular, sostenibilidad, contenedores semisoterrados, biofiltración.

2. Introducción

El incremento en la generación de residuos urbanos, ligado al crecimiento poblacional y a la densificación de las ciudades, ha generado nuevas necesidades en la gestión municipal de residuos. Los contenedores convencionales y, en cierta medida, los soterrados o semisoterrados, han supuesto avances en capacidad, higiene y estética, pero siguen presentando limitaciones importantes en accesibilidad, modularidad, sostenibilidad material y eficiencia de recogida. Este trabajo surge para dar respuesta a dichas carencias mediante el diseño de un sistema modular de contenedores semisoterrados, concebido bajo criterios de sostenibilidad, eficiencia operativa y diseño centrado en el usuario.

3. Estado del arte

El análisis de soluciones existentes muestra que fabricantes como Sanimobel, Sotkon, Ros Roca o Plastic Omnium han desarrollado sistemas soterrados y semisoterrados con mejoras claras en capacidad e higiene. Sin embargo, dichos sistemas presentan problemas recurrentes: dependencia de grúas externas para la recogida, tiempos operativos elevados, incidencias mecánicas frecuentes y empleo limitado de materiales reciclados. Además, estudios municipales (Pamplona, Zaragoza, Vitoria) evidencian tiempos de vaciado de entre 11 y 15 minutos por contenedor y entre 3 y 5 incidencias operativas semanales, lo que confirma la necesidad de sistemas más eficientes y robustos.

4. Metodología

La metodología aplicada se basó en un enfoque de diseño iterativo apoyado en herramientas digitales:

1. Revisión del estado del arte y normativa aplicable.
2. Definición de objetivos generales y específicos.
3. Ideación y bocetado de alternativas.
4. Selección de la alternativa óptima mediante matriz multicriterio.

5. Modelado CAD 3D detallado en Autodesk Inventor.
6. Selección de materiales reciclados y reciclables (HDPE, PP, caucho, árido de RCD, acero inoxidable).
7. Simulaciones virtuales y validación comparativa frente a sistemas actuales.
8. Estimación económica y cálculo preliminar de ROI.

5. Resultados

Los resultados obtenidos permiten destacar:

- Tiempo de recogida: reducción del 45,6 % (12,5 min → 6,8 min).
- Errores operativos: disminución del 75 % (4 incidencias semanales → 1).
- Capacidad útil: incremento del 30 % (1.000 L → 1.300 L por módulo).
- Materiales sostenibles: más del 40 % de los materiales empleados proceden de fuentes recicladas o reciclables.
- Operatividad: la necesidad de operarios se reduce de 2 a 1 por ciclo de recogida. El sistema además permite incorporar módulos adicionales (informativos, vegetales, biotecnológicos), ampliando su funcionalidad y valor añadido.

6. Discusión

El sistema modular propuesto responde a las principales limitaciones detectadas en el estado del arte, mostrando un avance sustancial en eficiencia, sostenibilidad e integración urbana. La reducción de tiempo y personal en la recogida se traduce en beneficios económicos directos para los municipios, mientras que la integración de materiales reciclados apoya las políticas europeas de economía circular.

No obstante, el alcance del trabajo se limita a validaciones virtuales y comparativas. La ausencia de prototipado físico y de pruebas con usuarios implica que la ergonomía, la durabilidad en condiciones reales y el impacto social aún no se han contrastado

empíricamente. Aun así, el diseño constituye una base sólida para desarrollos posteriores y pruebas piloto en colaboración con administraciones locales.

7. Conclusiones

El proyecto demuestra la viabilidad técnica y conceptual de un sistema modular de contenedores semisoterrados que mejora la eficiencia de recogida, reduce costes operativos, emplea materiales reciclados y se adapta al entorno urbano con soluciones estéticas modernas. Se han alcanzado los objetivos clave del trabajo, si bien quedan como líneas futuras la fabricación de prototipos, la validación experimental del módulo de microalgas y la evaluación cuantitativa del impacto ambiental mediante ACV.

La propuesta representa una alternativa innovadora y escalable para mejorar la gestión urbana de residuos.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al profesorado del máster por su orientación metodológica.

Anexo B. Benchmarking

Benchmarking Molok Domino



Descripción:

El MolokDomino es un sistema de contenedores semisoterrados modular y versátil, diseñado para optimizar el espacio y adaptarse a diversas necesidades de gestión de residuos. Su estructura permite combinar módulos de diferentes tamaños y dividirlos en secciones internas, facilitando la recogida selectiva de múltiples fracciones de residuos en un solo punto. Esta configuración modular no solo mejora la eficiencia en la recogida, sino que también contribuye a mantener un entorno urbano más ordenado y estéticamente agradable.

Empresa: Molok

Modelo: Dominio

Materiales:

- Polietileno de alta densidad (PEAD): para las partes principales del contenedor
- Acero galvanizado o inoxidable: en componentes estructurales y mecanismos de elevación, proporcionando robustez y durabilidad.
- Materiales compuestos o madera tratada: en acabados exteriores, para mejorar la integración estética en el entorno urbano.

Colores y acabados:

- Colores personalizables por fracción de residuos.
- Acabado robusto en chapa de acero galvanizado y pintura en polvo poliéster resistente a exteriores.

Precio: No disponible públicamente. Se proporciona bajo presupuesto personalizado según el número de fracciones y configuración.

Aspectos positivos:

- permite adaptar el número y tipo de módulos según las necesidades del entorno.
- su diseño permite personalización estética para armonizar con el entorno..

Aspectos negativos:

- Requiere obra civil para su colocación.
- Puede generar confusión sin etiquetas claras.

Benchmarking Drago I-Recycle



Descripción:

El I-Recycle es un punto limpio de proximidad modular, compacto y de alta versatilidad, diseñado para ubicarse estratégicamente en zonas urbanas. Su estructura permite aceptar hasta 20 tipos de residuos, con un volumen total aproximado de 740 litros. El diseño modular y versátil facilita su integración en una amplia variedad de entornos urbanos, fomentando la participación activa de los ciudadanos en la gestión adecuada de los residuos especiales.

Empresa: Drago

Modelo: I-Recycle

Materiales:

- acero galvanizado, con opción de acero inoxidable
- Imprimación en polvo de poliéster para mayor durabilidad y resistencia a la intemperie

Colores y acabados:

- la imprimación en polvo de poliéster permite una variedad de acabados personalizados

Precio: No disponible públicamente. Se proporciona bajo presupuesto personalizado según el número de fracciones y configuración.

Aspectos positivos:

- Permite adaptarse a las necesidades específicas
- Capacidad para recoger hasta 20 tipos de residuos diferentes

Aspectos negativos:

- Volumen total de 740 litros, lo que puede ser insuficiente en áreas de alta densidad poblacional.
- Requiere una gestión adecuada para asegurar la correcta separación y recogida de residuos

Benchmarking Nord Engineering Semi-Underground



Descripción:

Los contenedores semi-soterrados de Nord Engineering están diseñados para optimizar la gestión de residuos en entornos urbanos. Su estructura permite que dos tercios del volumen total se encuentren bajo la superficie, ofreciendo capacidades que varían entre 3.000 y 5.000 litros. Esta configuración reduce el espacio ocupado en la superficie y mejora la integración estética en el entorno urbano.

Empresa: Nord Engineering

Modelo: Semi-Underground

Materiales:

- acero galvanizado, para la estructura principal.
- Revestimientos exteriores: Opciones personalizables que incluyen materiales como madera, piedra o acabados metálicos

Colores y acabados:

- Variedad de opciones
- Posibilidad de aplicar diferentes texturas
- Incorporación de adhesivos y señalizaciones para facilitar la identificación

Precio: No disponible públicamente. Se proporciona bajo presupuesto personalizado según el número de fracciones y configuración.

Aspectos positivos:

- Con capacidades de hasta 5.000 litros
- Equipados con sistemas de identificación electrónica
- Sistema de extracción de residuos optimizado

Aspectos negativos:

- Requieren obras civiles para su instalación.
- El vaciado y mantenimiento pueden requerir equipos y personal especializados.

Benchmarking Molok Classic



Descripción:

El MolokClassic es un contenedor semisoterrado de forma cilíndrica diseñado para la recogida eficiente y estética de residuos urbanos. Su diseño permite que aproximadamente el 60% de su volumen esté bajo tierra, lo que reduce el espacio ocupado en la superficie y mejora la integración en el entorno urbano. Está disponible en varias capacidades, desde 800 litros hasta 5.000 litros, adaptándose a diferentes necesidades de recogida y tipos de residuos.

Empresa: Molok

Modelo: Classic

Materiales:

- Estructura principal fabricada en polietileno de alta densidad (HDPE) mediante rotomoldeo.
- Partes estructurales y mecanismos de elevación fabricados en acero galvanizado
- Revestimiento con materiales locales como madera, piedra o cerámica

Colores y acabados:

- Variedad de opciones
- Posibilidad de aplicar diferentes texturas
- Posibilidad de aplicar vinilos o serigrafías con información sobre el tipo de residuo

Precio: No disponible públicamente. Se proporciona bajo presupuesto personalizado según el número de fracciones y configuración.

Aspectos positivos:

- Con capacidades de hasta 5.000 litros
- Diseño personalizable que se adapta al entorno urbano,
- Materiales resistentes que aseguran una larga vida útil

Aspectos negativos:

- Requieren obras civiles para su instalación.
- El vaciado y mantenimiento pueden requerir equipos y personal especializados.

Benchmarking Sotkon Qubus



Descripción:

El Qubus es un sistema de contenedores semi-soterrados diseñado para la recogida eficiente de residuos urbanos. Su estructura permite que una parte del contenedor esté enterrada, optimizando el espacio y mejorando la integración estética en entornos urbanos. Está disponible en capacidades de 3 m³ y 5 m³, adaptándose a diferentes necesidades de recogida y tipos de residuos.

Empresa: Sotkon

Modelo: Qubus

Materiales:

- Estructura principal fabricada en polietileno de alta densidad (HDPE) mediante rotomoldeo.
- Partes estructurales y mecanismos de elevación fabricados en acero galvanizado
- Estructura prefabricada de hormigón impermeable que alberga el contenedor

Colores y acabados:

- Gama de colores neutros y naturales
- Posibilidad de aplicar diferentes texturas
- Posibilidad de aplicar vinilos o serigrafías con información sobre el tipo de residuo

Precio: No disponible públicamente. Se proporciona bajo presupuesto personalizado según el número de fracciones y configuración.

Aspectos positivos:

- Con capacidades de hasta 5.000 litros
- Al estar parcialmente soterrados, minimizan la emisión de olores y el ruido
- Materiales resistentes que aseguran una larga vida útil

Aspectos negativos:

- Requieren obras civiles para su instalación.
- El vaciado y mantenimiento pueden requerir equipos y personal especializados.

Benchmarking Smart Bin



Descripción:

El Bin-e Standard es un contenedor inteligente que combina IA y automatización para gestionar residuos eficientemente. Clasifica desechos con 92% de precisión, compacta plástico y papel para ahorrar espacio, y envía datos en tiempo real a la nube para optimizar rutas de recolección. Ideal para espacios públicos como hospitales o estaciones, su diseño incluye opciones de personalización, como una pantalla de 50" para publicidad o educación ambiental. Reduce costos operativos y promueve la sostenibilidad con tecnología todo-en-uno.

Empresa: Bin-e

Modelo: Smart Bin

Materiales:

- Estructura robusta (material no especificado, probablemente acero/metálico).
- Componentes electrónicos y mecánicos para clasificación y compactación.

Colores y acabados:

- Personalizable con gráficos corporativos.
- Variante disponible con pantalla de 50 pulgadas para publicidad o contenido educativo.
-

Precio: No disponible públicamente. Se debe contactar al proveedor para presupuesto

Aspectos positivos:

- Tecnología avanzada: Reconocimiento por IA con 92% de precisión en clasificación de residuos.
- Compactación automática: Reduce volumen de plástico y papel hasta 3 veces, disminuyendo la frecuencia de vaciado.
- Datos en tiempo real: Monitoreo remoto vía app y almacenamiento en la nube.
- Versatilidad: Ideal para espacios públicos (hospitales, estaciones, museos) y corporativos.
- Pantalla opcional: Funcionalidad adicional para publicidad o educación ambiental.

Aspectos negativos:

- Costo elevado: Tecnología avanzada puede implicar mayor inversión inicial.
- Mantenimiento: Requiere soporte técnico especializado para componentes electrónicos.
- Espacio: Dimensiones considerables (127 cm alto x 116 cm ancho) pueden limitar ubicación en áreas reducidas.

Benchmarking Bigbelly Smart Max



Descripción:

El Bigbelly Smart Max es un contenedor inteligente con compactación integrada, ideal para gestionar residuos en zonas urbanas de alto tráfico. Su sistema reduce hasta 10 veces el volumen de basura mediante prensado automático, disminuyendo la frecuencia de recolección. Equipado con sensores de llenado, GPS y conexión a la plataforma CLEAN™, permite monitoreo remoto en tiempo real. Fabricado en acero galvanizado y plástico reciclado, resiste condiciones extremas (-40°C a 85°C) e inundaciones. Funciona con energía solar, ofreciendo autonomía sostenible. Su diseño cerrado previene plagas y mantiene espacios públicos limpios.

Empresa: Bigbelly

Modelo: Smart Max

Materiales:

- Chapa de acero galvanizado con pintura en polvo resistente a UV.
- Paneles laterales de plástico reciclado de alta resistencia.
- Contenedor interior de polietileno (LDPE) a prueba de fugas.

Colores y acabados:

- Acabado exterior duradero y resistente a la intemperie.
- Opciones de personalización no especificadas (consultar con proveedor).

Precio: Precios internacionales varían según configuración y volumen

Aspectos positivos:

- Compactación 5-10X: Reduce frecuencia de recolección y costos operativos.
- Tecnología inteligente: Sensores de llenado, GPS y comunicación con plataforma CLEAN™ para gestión remota.
- Resistencia extrema: Soporta inundaciones (hasta 36" de agua) y temperaturas de -40°C a +85°C.
- Energía sostenible: Batería de larga duración (5-8 años) con panel solar opcional.
- Diseño higiénico: Tolva cerrada que evita plagas y derrames.

Aspectos negativos:

- Inversión inicial alta: Precio elevado frente a contenedores tradicionales.
- Peso y tamaño: 122 kg y 1264 mm de altura, requiere espacio y logística de instalación.
- Mantenimiento: Componentes electrónicos pueden necesitar soporte técnico especializado.

Benchmarking Serie Urban (1100 litros)



Descripción:

El contenedor Urban 1100L de Contelogic ofrece una solución práctica para la recolección de residuos en espacios públicos. Fabricado en polietileno de alta densidad, destaca por su resistencia a impactos y condiciones climáticas adversas. Su diseño incluye ruedas para fácil transporte y una tapa ergonómica con cierre seguro. Ideal para parques, calles y áreas comerciales, este modelo prioriza la funcionalidad sobre tecnología avanzada. Aunque carece de compactación o sensores, su bajo mantenimiento y capacidad lo hacen apto para entornos urbanos con alta generación de desechos.

Empresa: Contelogic

Modelo: Serie Urban (1100 litros)

Materiales:

- Cuerpo: Polietileno de alta densidad (HDPE) 100% reciclable.
- Refuerzos: Estructura metálica interna opcional para mayor resistencia.
- Tapa: Diseño ergonómico con bisagras de acero inoxidable.

Colores y acabados:

- Disponible en varios colores estándar (verde, gris, amarillo) y personalizables con gráficos.
- Superficie antigrafiti y resistente a rayos UV.
- **Precio:** Consultar con el proveedor. Varía según personalización y accesorios.

Aspectos positivos:

- Gran capacidad: Ideal para espacios públicos con alta generación de residuos.
- Diseño robusto: Resistente a impactos, condiciones climáticas y vandalismo.
- Facilidad de manejo: Ruedas integradas y sistema de volteo para camiones recolectores.
- Bajo mantenimiento: Material impermeable y fácil de limpiar.

Aspectos negativos:

- Sin compactación: No reduce volumen de residuos (mayor frecuencia de recogida).
- Limitado en tecnología: Carece de sensores o conectividad inteligente.

Benchmarking CL360



Descripción:

El CL360 de CONTENUR es un contenedor urbano de 2.750L diseñado para recogida lateral, ideal para integrarse en entornos ciudadanos. Fabricado en polietileno de alta densidad con refuerzo mineral, combina durabilidad y diseño accesible (pedal sin contacto y altura ADA). Permite personalización gráfica e incluye opciones de sensorización ("Smart Elements") para monitoreo remoto. Aunque carece de compactación, su enfoque en ergonomía y sostenibilidad (100% reciclable) lo hace perfecto para recogida selectiva en calles y zonas peatonales.

Empresa: ROTOTANK

Modelo: CL360 (Carga Lateral)

Materiales:

- Cuerpo: Polietileno de alta densidad (HDPE) con refuerzo de minerales para mayor resistencia.
- Componentes: Pedal de acero inoxidable, amortiguador de tapa y sistema de apertura sin cables.

Colores y acabados:

- Personalizable con termoimpresión (hasta 40x2400 mm) o vinilos adhesivos.
- Superficie lisa antiadherente para fácil limpieza.

Precio: No publicado. Consultar con CONTENUR según configuración y volumen.

Aspectos positivos:

- Diseño urbano integrado: Adaptado a entornos ciudadanos con altura reducida (185 mm de boca).
- Tecnología "Smart Elements": Opción de sensores para monitoreo de llenado (no incluido por defecto).
- Accesibilidad: Pedal sin contacto y bocas a altura ADA (1200 mm).
- Sostenibilidad: 100% reciclable y fabricado bajo proyecto CIRCLE® (economía circular).

Aspectos negativos:

- Sin compactación: Requiere recolección frecuente en áreas de alta generación.
- Peso: 124 kg (necesita maquinaria para movilidad).

Benchmarking RETOCUBE



Descripción:

Los ROTOCUBE 3200L/2200L son contenedores industriales de alta capacidad diseñados para recogida mecanizada en entornos urbanos exigentes. Fabricados en polietileno rotomoldeado, ofrecen máxima resistencia y un diseño higiénico con bandeja de lixiviados integrada. Compatibles con sistemas de izado bilateral (Kinshofer/F90), optimizan la logística de recogida en zonas de gran generación de residuos. Su capacidad (hasta 3.200L) y cumplimiento de normativas CE/DALCO los hacen ideales para áreas comerciales o eventos masivos, aunque requieren camiones especializados para su vaciado.

Empresa: ROTOTANK

Modelo: ROTOCUBE (3200L y 2200L)

Materiales:

- Cuerpo: Polietileno de alta densidad (HDPE) rotomoldeado.
- Refuerzos: Estructura bilateral compatible con sistemas de izado Kinshofer o doble gancho.
- Bandeja de lixiviados: Capacidad de 200L (3200L) y 125L (2200L).

Colores y acabados:

- Acabado liso sin texturas para facilitar la limpieza.
- Opciones de personalización no especificadas (consultar con proveedor).
- **Precio:** No disponible públicamente.

Aspectos positivos:

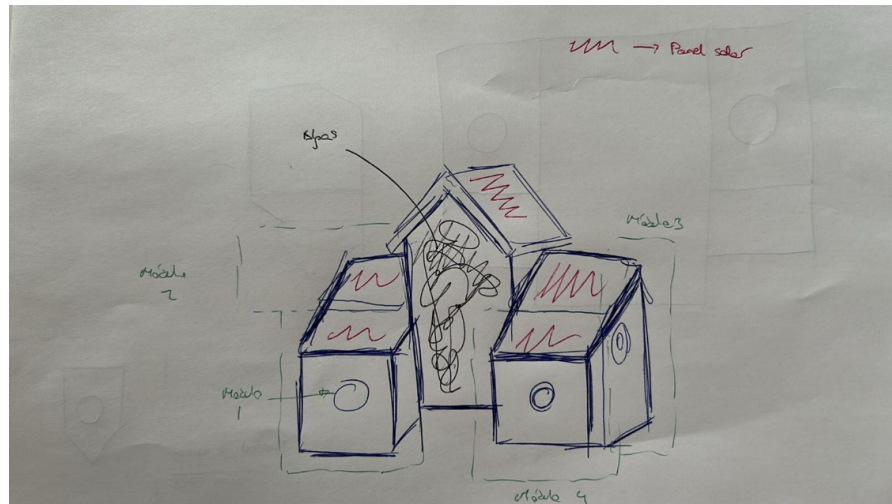
- Alta capacidad: Ideal para zonas urbanas con gran generación de residuos (ej.: áreas comerciales o eventos masivos).
- Diseño higiénico: Bandeja de lixiviados y superficie antiadherente.
- Versatilidad: Compatible con múltiples sistemas de elevación (Kinshofer, F90, etc.).
- Normativas cumplidas: Marcado CE y accesibilidad DALCO.

Aspectos negativos:

- Requiere maquinaria especializada: Necesita camiones con sistema de izado bilateral.
- Sin tecnología inteligente: Carece de sensores o compactación.

Anexo C. Bocetos descartados tras la etapa de exploración

Figura 52. Concepto descartado 1.



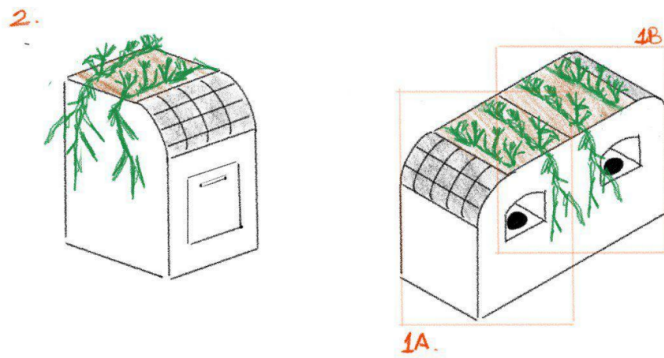
Elaboración propia

Figura 53. Concepto descartado 2.



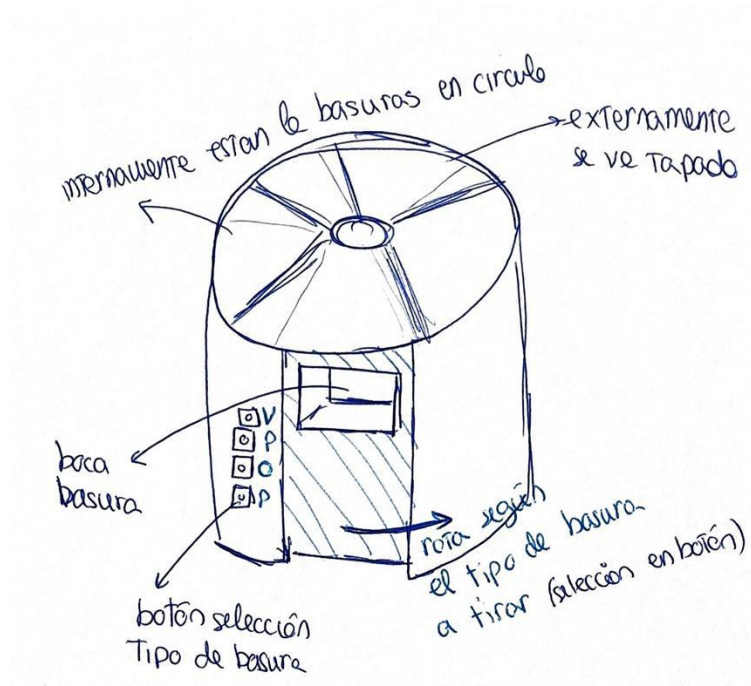
Elaboración propia

Figura 54. Concepto descartado 3.



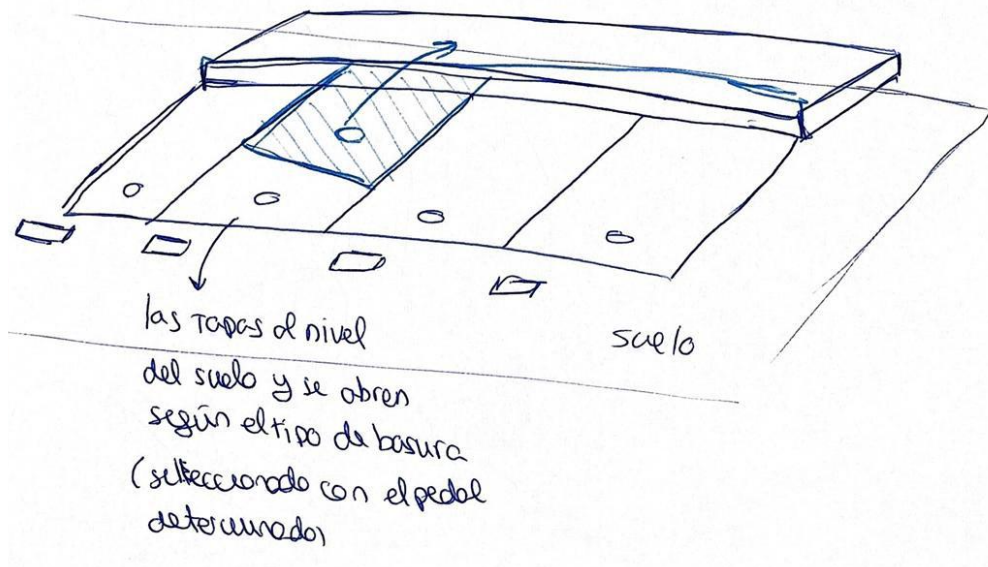
Elaboración propia

Figura 55. Concepto descartado 4.



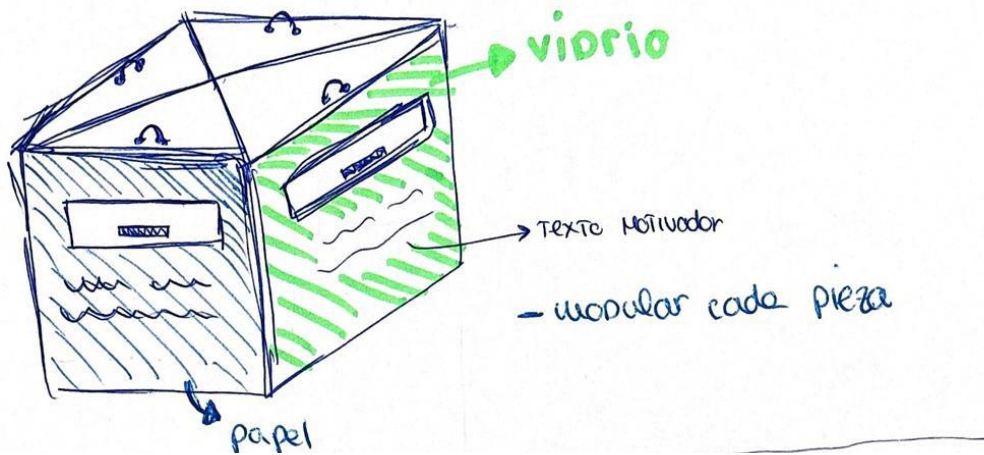
Elaboración propia

Figura 56. Concepto descartado 5.



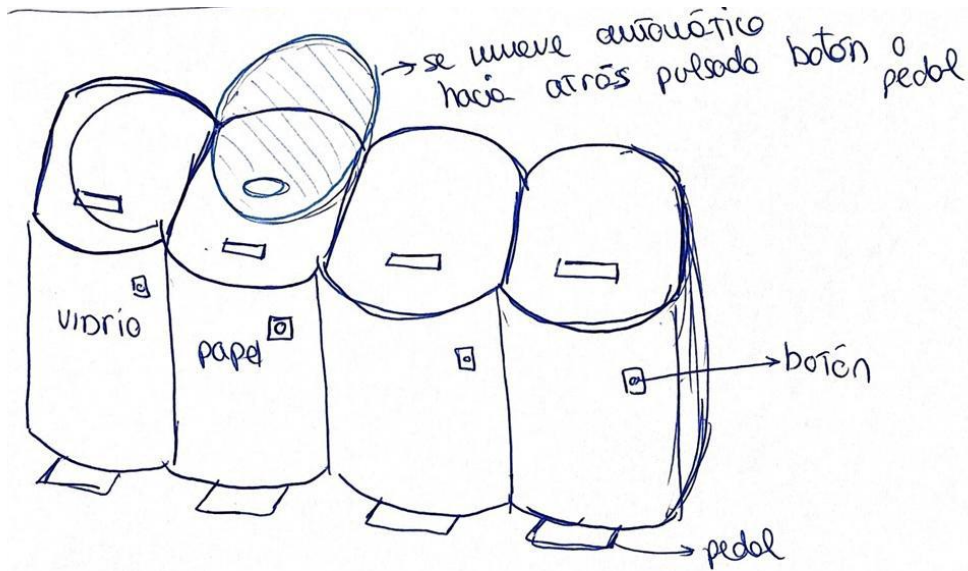
Elaboración propia

Figura 57. Concepto descartado 6.



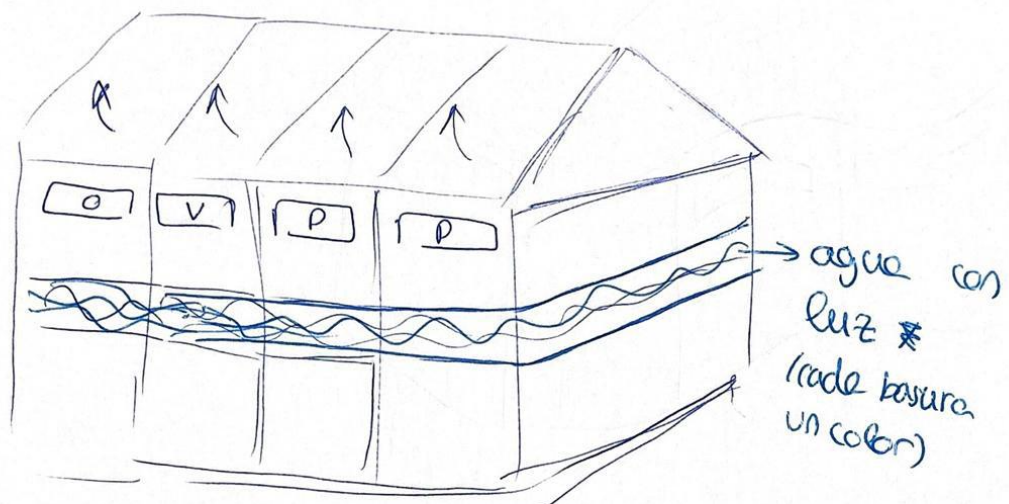
Elaboración propia

Figura 58. Concepto descartado 7.



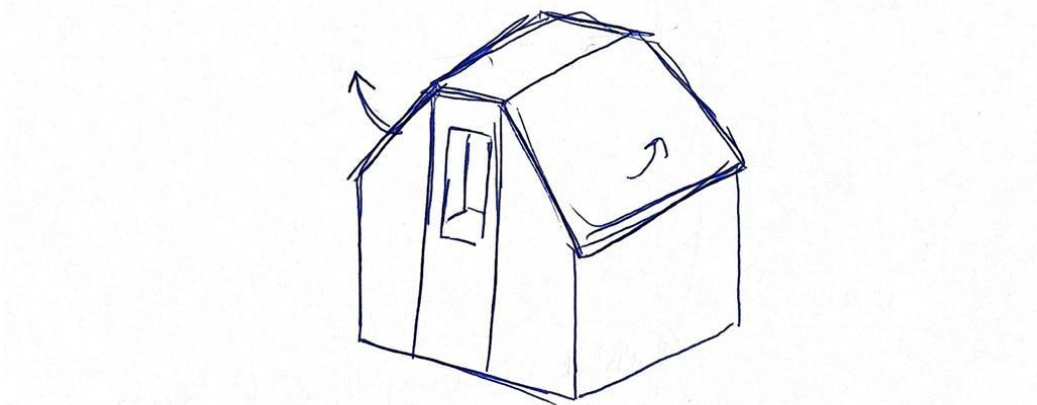
Elaboración propia

Figura 59. Concepto descartado 8.



Elaboración propia

Figura 60. *Concepto descartado 9.*



Elaboración propia

Figura 61. Concepto descartado 10.

