



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PARA INSTALACIONES
UNIVERSITARIAS”**

T E S I S

presentada por:

I.Q. IVONNE HERRERA MANDUJANO

Para obtener el grado de

Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Dirección de Tesis:

DR. JOSÉ LUIS RIVERA ROJAS

DR. SANDRA NÚÑEZ HERNÁNDEZ

Morelia, Michoacán; mayo 2026

Resumen

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PARA INSTALACIONES UNIVERSITARIAS

Por

Ivonne Herrera Mandujano

febrero 2026

Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Dirigida por:

DR. JOSÉ LUIS RIVERA ROJAS

DR. SANDRA NÚÑEZ HERNÁNDEZ

Esta investigación presenta el diseño e implementación de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez” de la UMSNH, basado en la metodología de optimización operativa 5 'S. El diagnóstico situacional reveló una generación mensual de 2,200 kg de residuos con una tasa de valorización nula debido a la disposición mezclada. A través de la caracterización técnica, se identificaron flujos críticos de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), de Manejo Especial (RME) y Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI).

La metodología se estructuró en cinco etapas: selección, orden, limpieza, estandarización y disciplina. Los resultados muestran que la aplicación de criterios de ingeniería ambiental y el cumplimiento estricto de las normas NOM-087 y NOM-161 permiten recuperar el 79% de los materiales generados. Se implementó un sistema de señalética basado en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) y se diseñaron protocolos para el manejo de reactivos químicos y agentes patógenos. La propuesta técnica incluye la optimización de rutas de recolección interna, el uso de estaciones de reciclaje codificadas por colores y la integración de programas de economía circular como el "Recoelectrón". Se concluye que la adopción de un modelo de gestión basado en la calidad administrativa no sólo mitiga los riesgos epidemiológicos y ambientales, sino que fomenta una cultura de responsabilidad social universitaria, transformando a la institución en un referente de sostenibilidad en el sector salud.

Palabras Clave: Gestión Integral de Residuos, Metodología 5 'S, Residuos Peligrosos (RPBI), Sostenibilidad Universitaria.

Abstract

This research presents the design and implementation of an Integrated Solid Waste Management Plan for the Faculty of Medical and Biological Sciences "Dr. Ignacio Chávez" at UMSNH, based on the 5'S operational optimization methodology. The situational diagnosis revealed a monthly generation of 2,200 kg of waste with a zero recovery rate due to mixed disposal. Through technical characterization, critical flows of Urban Solid Waste (USW), Special Handling Waste (SHW), and Biological-Infectious Hazardous Waste (BIHW) were identified.

The methodology was structured into five stages: sorting, set in order, shine, standardize, and sustain. Results show that the application of environmental engineering criteria and strict compliance with NOM-087 and NOM-161 standards allow for the recovery of 79% of the materials generated. A signage system based on the Globally Harmonized System (GHS) was implemented, and protocols were designed for handling chemical reagents and pathogens. The technical proposal includes the optimization of internal collection routes, the use of color-coded recycling stations, and the integration of circular economy programs such as "Recoelectrón." It is concluded that adopting a management model based on administrative quality not only mitigates epidemiological and environmental risks but also promotes a culture of university social responsibility, transforming the institution into a sustainability benchmark in the health sector.

Keywords: Integrated Waste Management, 5'S Methodology, Hazardous Waste (BIHW), University Sustainability.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres, por ser el cimiento de mi vida y mi ejemplo constante de perseverancia; este grado es el reflejo de sus sacrificios y de su amor incondicional que siempre me impulsó a volar alto.

A mi pareja, por caminar a mi lado en este exigente proceso, por ser mi equilibrio en los momentos de duda y por creer en este sueño tanto como yo; gracias por tu paciencia y por ser mi refugio.

A mi hermano y familia, por su apoyo constante, por celebrar cada pequeño avance y por recordarme siempre el valor de nuestras raíces.

A mis amigos, los de siempre y los que este camino me regaló, por las risas, el aliento compartido y por hacer que las largas jornadas de estudio se convirtieran en recuerdos memorables. Sin su compañía, este camino no habría sido el mismo.

Agradecimientos

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, mi alma mater, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para mi formación profesional y humana. Ser parte de la comunidad nicolaíta ha sido el mayor de los orgullos y el motor de este proyecto de investigación.

A la Facultad de Ingeniería Química, por ser mi casa académica y el pilar técnico de este trabajo. Agradezco a sus directivos y personal docente por fomentar la excelencia académica y permitirme aplicar los principios de la ingeniería en favor de la sustentabilidad ambiental.

A la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”, por su invaluable apertura y colaboración en la implementación del modelo de gestión. Su disposición para transformar sus procesos internos en beneficio de la salud pública y ambiental fue fundamental para la validación de esta tesis.

A mi comité tutorial, encabezado por el Dr. José Luis Rivera Rojas y la Dra. Sandra Núñez Hernández, por su guía, paciencia y por compartir conmigo su vasta experiencia técnica. Sus críticas constructivas y su exigencia académica fueron el catalizador que elevó este trabajo al nivel de excelencia esperado.

A los Dres. Laura Leticia Padilla Gil, Luis Humberto Escalera Vásquez y el Dr. Salomón Ramiro Vásquez García, por sus valiosas aportaciones desde sus respectivas áreas de especialidad. Su visión multidisciplinaria permitió que este proyecto fuera una solución integral y no solo una propuesta administrativa.

A mis colaboradores y compañeros de laboratorio, cuyo esfuerzo diario en la recolección de datos y el trabajo de campo hizo posible la transición de la teoría a la práctica. Gracias por creer en este proyecto y por el apoyo incondicional en las jornadas de caracterización y diagnóstico.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, aportaron su tiempo y conocimiento para la culminación de esta etapa. Este logro es también de ustedes.

Tabla de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Relación de tablas y figuras	9
Nomenclatura	11
Términos	12
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Generalidades	13
1.2. ANTECEDENTES	15
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.4. HIPÓTESIS	16
1.5. JUSTIFICACIÓN	17
1.6. OBJETIVOS	17
1.6.1. Objetivo General	17
1.6.2. Objetivos Particulares	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS	18
2.2. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	19
2.2.1. Residuos sólidos	19
2.2.2. Residuos de Manejo Especial	21
2.2.3. Residuos Peligrosos	21
2.2.4. Clasificación de Residuos Peligrosos	22
2.3. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (GIRS) EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR	23
2.4. MARCO JURÍDICO Y NORMATIVO DE LOS RESIDUOS EN MÉXICO	24
2.5. CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE RESIDUOS EN CAMPUS	24
2.6. RESIDUOS PELIGROSOS Y BIOLÓGICO-INFECCIOSOS EN EL ÁMBITO ACADÉMICO	25
2.7. VALORIZACIÓN DE RESIDUOS BAJO EL ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR	26
2.8. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ESTIMACIÓN DE HUELLA DE CARBONO	26
2.9. LOGÍSTICA REVERSA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA GIRS	27
2.10. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO Y BIOLÓGICO PARA RESIDUOS UNIVERSITARIOS	28

2.11. EDUCACIÓN AMBIENTAL Y FACTORES PSICOSOCIALES EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS	28
2.12. GOBERNANZA AMBIENTAL Y ACUERDOS MULTILATERALES EN MATERIA DE RESIDUOS	29
2.13. ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES (MFA) Y BALANCES DE MASA	31
2.14. MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN (LOGÍSTICA VERDE)	31
2.15. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN	32
2.16. JERARQUÍA NORMATIVA EN MÉXICO: DEL NIVEL FEDERAL AL ESTATAL (MICHOACÁN)	32
2.17. ESTADÍSTICAS DE GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS	33
2.18. EL CONVENIO DE ESTOCOLMO Y LA GESTIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)	34
2.19. AGENDA 2030 Y OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR	35
2.20. RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA (RSU) COMO EJE TRANSVERSAL	35
3. METODOLOGÍA	37
3.1. FASE 1: DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN Y LÍNEA BASE	38
3.2. FASE 2: ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES (AFM) Y DISEÑO DEL MODELO	38
3.3. FASE 3: IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA PILOTO Y OPERATIVIDAD TÉCNICA	39
3.3.1. Ingeniería de Rutas y Frecuencias de Recolección	39
3.3.2. Gestión de la Fracción Orgánica e Inorgánica Valorizable	39
3.3.3. Capacitación Técnica y Sensibilización Operativa	40
3.4. FASE 4: EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO	40
3.4.1. Indicadores de Eficiencia Operativa y de Ingeniería	40
3.4.2. Evaluación del Impacto Ambiental y Huella de Carbono	41
3.4.3. Análisis de Viabilidad Económica y Aceptación Social	41
3.5. FASE 5: AJUSTE Y RECOMENDACIONES PARA LA ESCALABILIDAD INSTITUCIONAL	42
3.5.1. Normalización y Estandarización de Procesos	42
3.5.2. Estrategia de Financiamiento y Alianzas Estratégicas	42
3.5.3. Mejora Continua y Auditorías Ambientales	43
3.5.4. Integración Curricular y Cultura Ambiental	43
4. RESULTADOS	44
4.1. ANÁLISIS SITUACIONAL Y DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN	44
4.1.1. Análisis de causa raíz	44

4.1.2. Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos	46
4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO BASADO EN LA METODOLOGÍA 5'S	47
4.2.1. Fases de Ejecución del Modelo	48
4.2.2. Plan de Acción Operativo	49
4.3. PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	51
4.3.1. Ordenamiento y Caracterización de la Infraestructura	51
4.3.2. Estrategia de Separación y Limpieza (Seiso)	51
4.3.3. Distribución Espacial y Almacenamiento Temporal	52
4.3.4. Estrategia de Minimización y Valorización	52
4.3.5. Disposición Final y Convenios	53
4.4. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)	54
4.4.1. Marco Normativo y Clasificación (NOM-161-SEMARNAT-2011)	54
4.4.2. Gestión de Residuos Tecnológicos	54
4.4.3. Manejo de grasas vegetales y aceites	57
4.5. GESTIÓN ESPECIALIZADA DE RESIDUOS PELIGROSOS	58
4.5.1. Marco Jurídico y Jerarquización Legislativa	58
4.5.2. Caracterización de Residuos Químicos y Simbología CRETIB	60
4.6. ESTANDARIZACIÓN Y CONTROL OPERATIVO	72
4.6.1. Bitácora de Registro de Residuos	76
4.6.2. Seguridad Operativa: Equipo de Protección Personal (EPP)	76
4.6.3. Trazabilidad y Manifiesto de Entrega-Recepción	77
4.7. SOSTENIBILIDAD Y CAPACITACIÓN	77
4.8. INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL (IDA)	81
5. CONCLUSIONES	82
6. RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS	85

Relación de tablas y figuras

Tabla 1	Antecedentes sobre estudios en el tema de gestión de residuos	17
Figura 1	Línea del tiempo de la gestión ambiental a nivel internacional y a nivel México	33
Tabla 2	Comparativa de Generación y Composición de Residuos (2020 - 2024)	36
Figura 2	Diagrama de flujo de metodología.	39
Tabla 3	Composición típica de residuos en Instituciones de Educación Superior	37
Tabla 4	Matriz de Alineación Estratégica del Modelo de Gestión	39
Figura 3	Planteamiento de causas raíz en el tema de Residuos Sólidos	48
Tabla 5	Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos	49
Figura 4	Metodología 5'S para la Gestión de Residuos Sólidos	53
Figura 5	Plan de acción para la Gestión de Residuos Sólidos	54
Tabla 6	Registro de los distintos tipos de depósitos de residuos sólidos	55
Figura 6	Distribución de depósitos y almacén temporal de residuos sólidos	57
Figura 7	Recolecta universitaria de residuos eléctricos y electrónicos	59
Figura 8	Residuos eléctricos y electrónicos	60
Figura 9	Manejo correcto de grasas vegetales y animales	61
Figura 10	Jerarquía de la legislación en materia de residuos.	62
Figura 11	Legislación y marco referencial en materia de residuos peligrosos	63
Figura 12	Características de los residuos peligrosos	65
Tabla 7	Clasificación de residuos peligrosos generados	66
Figura 13	Símbolos del Sistema Globalmente Armonizado (SGA).	66
Tabla 8	Análisis de necesidad de equipo de extracción en laboratorios	68
Figura 14	Agentes considerados Residuos Peligrosos Biológico - Infecciosos	69
Figura 16	Clasificación de residuos peligrosos	70
Figura 17	Ventilación y extracción de gases en laboratorios	71
Figura 18	Residuos peligrosos Biológico -Infecciosos (RPBI)	72

Tabla 9	Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos: cultivos y cepas de Agentes Biológicos - Infecciosos.	73
Tabla 10	Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos: cultivos y cepas de Agentes Biológicos - Infecciosos.	63
Figura 19	Manejo correcto de tejidos y órganos animales	75
Tabla 11	Clasificación de Residuos Peligrosos Biológicos - Infecciosos: Residuos no anatómicos	76
Tabla 12	Clasificación de Residuos Peligrosos Biológicos - Infecciosos: Patogénicos	76
Tabla 13	Clasificación de Residuos Peligrosos Biológicos - Infecciosos: Objetos punzocortantes	77
Figura 20	Flujo del proceso para el manejo, gestión y disposición de residuos sólidos.	78
Figura 21	Almacenamiento temporal para la disposición de residuos sólidos.	81
Tabla 14	Formato de bitácora para el control de Residuos (Modelo propuesto)	82
Figura 22	Modelo estratégico de la capacitación	85
Tabla 15	Plan de acción en materia de capacitación y mejora continua.	86

Nomenclatura

Símbolo	Concepto	Unidad (S.I.)	Aplicación Técnica
GPC	Generación Per Cápita	kg/hab/día	Cálculo de proyección de residuos por estudiante.
M _{tot}	Masa Total de Residuos	kg	Cuantificación de carga para transporte.
rho _r	Densidad de los Residuos	kg/m ³	Dimensionamiento de contenedores y compactadores.
PCI\$	Poder Calorífico Inferior	kJ/kg	Potencial de valorización energética (incineración).
C/N	Relación Carbono/Nitrógeno	Adimensional	Control de calidad en procesos de compostaje.
TDR	Tasa de Desvío de Residuos	%	Indicador de eficiencia de reciclaje vs. disposición.
CO ₂	Bióxido de Carbono Equivalente	t	Medición de Huella de Carbono del modelo.
V _c	Volumen del Contenedor	m ³	Capacidad nominal de almacenamiento temporal.
f _e	Factor de Emisión	kg gas / kg residuo	Estimación de gases de efecto invernadero (GEI).
CRETIB	Características de Peligrosidad	Cualitativo	Clasificación de Residuos Peligrosos.

Términos

Término	Significado / Definición Técnica	Referencia Normativa/Autora
Aprovechamiento	Conjunto de procesos que permiten reutilizar, reciclar o valorizar un residuo, reintegrándolo a la cadena productiva.	LGPGIR (México)
Balance de Masa	Aplicación de la Ley de Conservación de la Materia a un sistema, donde las entradas igualan a las salidas más la acumulación.	Brunner & Rechberger
Caracterización	Determinación de las características físicas, químicas y biológicas de los residuos para decidir su manejo adecuado.	NMX-AA-015
Economía Circular	Sistema industrial que es restaurativo por intención y diseño, sustituyendo el concepto de "fin de vida" por "restauración".	Ellen MacArthur Foundation
Lixiviado	Líquido que percola a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o suspendidos en ellos.	NOM-083-SEMARNAT
Logística Reversa	Proceso de planificar y controlar el flujo de residuos desde el consumidor hasta el fabricante o punto de tratamiento.	Rogers & Tibben-Lembke
Plan de Manejo	Instrumento de gestión que contiene los procedimientos para asegurar el manejo integral de los residuos bajo criterios de eficiencia.	LGPGIR Art. 5
Residuo Valorizable	Aquel que, tras haber sido desechado, mantiene un valor comercial mediante su reciclaje o recuperación energética.	Gallardo et al. (2016)
Segregación	Acto de separar los residuos en diferentes corrientes (orgánicos, plásticos, etc.) en el mismo punto donde se generan.	Trihadiningrum (2023)
Valorización Energética	Proceso de conversión de residuos no reciclables en energía utilizable (calor, electricidad o combustible).	Quina et al. (2011)

1. INTRODUCCIÓN

1.1.Generalidades

Los campus universitarios suelen generar volúmenes significativos de residuos sólidos debido a la confluencia de actividades académicas, administrativas, estudiantiles y de servicios, lo que los convierte en microcosmos urbanos respecto a la generación de desechos. En este contexto, la implementación de un sistema integral de gestión de residuos sólidos (SIGRS) se ha convertido en una estrategia clave para promover la sostenibilidad ambiental, reducir impactos negativos y optimizar el aprovechamiento de recursos dentro de dichas instituciones (Trihadiningrum, Basri & Ezlin, 2023).

Estudios previos muestran que, en algunos campus universitarios, una proporción considerable de los residuos generados pueden ser recuperados si se aplican mecanismos de segregación en la fuente, separación selectiva y reciclaje. Por ejemplo, en el campus Mexicali I de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) se reportó una generación diaria de residuos del orden de 1 tonelada, de los cuales más del 65 % resultaron reciclables o potencialmente reciclables, lo que demuestra la viabilidad de un programa de reciclaje universitario (UABC, 2008).

Asimismo, experiencias como la del campus Morelos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con su programa “Basura Cero” evidencian que una gestión responsable puede traducirse en resultados tangibles: recuperación de residuos valorizables, reducción de emisiones de dióxido de carbono, tratamiento orgánico por compostaje y cumplimiento con objetivos de desarrollo sostenible.

Este contexto sitúa a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo como un candidato idóneo para adoptar un modelo de gestión integral de residuos. La diversidad de residuos generados como papel, cartón, plásticos, residuos orgánicos, residuos de servicios administrativos, residuos de mantenimiento, entre otros; requiere un sistema formalizado que permita su clasificación, recolección, tratamiento, reciclaje o disposición final adecuada, acorde con normativas ambientales nacionales.

Por tanto, la presente investigación tiene como finalidad diseñar, implementar y evaluar un modelo integrado de gestión de residuos sólidos adaptado al contexto de la UMSNH; con ello se aspira no solo a mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental, sino también a fomentar una cultura de sostenibilidad, reciclaje y responsabilidad ambiental en la comunidad universitaria. Este proyecto contribuiría a transformar los residuos en recursos valorizables, a promover prácticas sostenibles, y a fortalecer el compromiso institucional con la gestión ambiental responsable.

1.2.ANTECEDENTES

Diversas investigaciones recientes a nivel internacional han abordado la gestión de residuos en campus universitarios, demostrando tanto la magnitud del problema como la factibilidad de soluciones mediante sistemas integrados. A continuación, se presentan seis estudios representativos que pueden servir de referencia teórica y metodológica para esta investigación.

Tabla 1. Antecedentes sobre estudios en tema de gestión de residuos.

Universidad / Institución	País / Contexto	Principales hallazgos
University of Jordan	Jordania	En el campus universitario se generaron en promedio 8 113 kg/día de residuos sólidos durante el semestre regular, y aproximadamente 87 % de estos residuos resultaron reciclables. Los autores concluyen que una estrategia de reciclaje universitaria gestionada desde la propia institución podría reducir significativamente la disposición final. (Erem KTU)
Federal University of Technology Akure (FUTA)	Nigeria	Estudio de gestión integrada de residuos sólidos (SISWM) que determinó una generación diaria promedio de 952.3 kg/día, con un potencial de reciclaje del 81 % de los residuos. Se identificaron polietileno y papel como los componentes mayoritarios. Se sugirió la optimización de puntos de recolección y la implementación de separación en origen. (ScienceDirect)
German Jordanian University (GJU)	Jordania	Auditoría de residuos que reveló que en una semana promedio el campus generaba cerca de 2 500 kg de desechos: 41 % papel/cartón, 35 % plástico, 13 % residuos orgánicos, y el resto otros residuos. Este ejercicio puso en evidencia el potencial para mejorar en reciclaje, clasificación de desechos y tratamiento de residuos peligrosos. (Frontiers)
Universitas Diponegoro (UNDIP)	Indonesia	Esta universidad cuenta con una planta de tratamiento de residuos integrada (ISWPF). El estudio estimó la cantidad y composición de residuos generados durante un año académico, y propuso estrategias de reciclaje, compostaje y reducción de generación, señalando factores determinantes del volumen de residuos. (MDPI)
University of Guilan	Irán	Investigación realizada entre 2015–2016 determinó que el campus generaba un promedio de

		479.15 kg/día, y estimó que más del 90 % de estos residuos podrían ser reducidos, reciclados o compostados. Se identificó que residuos de comida, plásticos, papel/cartón y vidrio eran los más frecuentes, proponiendo compostaje para residuos orgánicos y separación para los inorgánicos. (研飞 ivySCI)
Sher-Kashmir University of Agricultural Science and Technology Kashmir	India (región Kashmir)	Estudio de manejo institucional de residuos sólidos durante un año evidenció que la mayor parte del residuo generado era orgánico (especialmente food-waste de comedores y dormitorios), con gran potencial para compostaje o biogás. También se detectó generación de residuos plásticos, demostrando que una segregación científica puede mejorar considerablemente la gestión universitaria de residuos. (IMSEAR Repository)

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), la generación de residuos sólidos en sus instalaciones educativas y administrativas presenta actualmente un manejo deficiente, con prácticas que no cumplen plenamente con la normativa ambiental vigente, lo que genera impactos negativos significativos en el entorno ambiental y riesgos para la salud de la comunidad universitaria. La ausencia de un modelo integral de gestión de residuos limita la eficiencia en la recolección, segregación, tratamiento y disposición final, afectando la sustentabilidad ambiental de la institución.

1.4. HIPÓTESIS

La implementación de un modelo integral de gestión de residuos sólidos en las instalaciones de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) permitirá optimizar la recolección, segregación, tratamiento y disposición final de los residuos, logrando una reducción significativa en la generación de residuos enviados a disposición final y mejorando el aprovechamiento de materiales reciclables, contribuyendo así a la mitigación de impactos ambientales y al cumplimiento de la normativa vigente.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de diseñar e implementar un modelo integral de gestión de residuos en la UMSNH radica en la urgente mejora del manejo ambiental para cumplir con las normas oficiales mexicanas y promover un campus sustentable. Esto contribuirá a la reducción de impactos ambientales, optimización del aprovechamiento de residuos reciclables, fortalecimiento de la conciencia ecológica y alineación con políticas ambientales nacionales.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Diseñar, implementar y evaluar un modelo integral para la gestión eficiente y sustentable de residuos sólidos en las instalaciones de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, alineado con la legislación ambiental vigente.

1.6.2. Objetivos Particulares

1. Realizar un diagnóstico de la generación y gestión actual de residuos en la UMSNH.
2. Clasificar los residuos generados y cuantificar su volumen y tipo.
3. Desarrollar un plan de manejo integral que contemple recolección, transporte, tratamiento y disposición final.
4. Implementar un programa piloto de gestión de residuos en una facultad o dependencia específica.
5. Evaluar el impacto ambiental y social del modelo aplicado en la UMSNH.
6. Proponer recomendaciones para la escalabilidad del modelo a todo el campus universitario.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Un Sistema Integrado de Gestión de Residuos (SIG) es el encargado de la recolección, transporte, almacenamiento y reciclaje de los mismos, así como de la vigilancia de las operaciones y de los lugares de descarga.

La prevención, generación, gestión y control de los residuos requiere de una u otra manera todos los estamentos: desde los ciudadanos hasta las diferentes administraciones, pasando por las actividades económicas en general, y el sector económico de los residuos.

A medida que transcurre el tiempo, la gestión de residuos ha adquirido una significativa relevancia debido a factores ecológicos y económicos. La gestión de los residuos en el pasado consistía en transportar los residuos a un lugar apartado y utilizar la incineración como método de destrucción. En la actualidad, se han llevado a cabo procedimientos de reciclaje.

Asimismo, se ha mejorado la concienciación sobre la generación de residuos, lo que ha influido en el diseño de los productos y el consumo de estos.

Un plan de gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) debe establecer acciones que fomenten la reutilización, reciclaje y valorización de los RCD generados en todas las obras, sean de realización, rehabilitación, mantenimiento o emergencia.

Todo arreglo de gestión debe establecer las acciones adecuadas de manejo de los RCD de conformidad con lo establecido en la normativa vigente de gestión integral y cadena de valor de RCD.

Los propósitos que debe tener en cuenta son:

1. Determinar las medidas a llevar a cabo en los ámbitos de trabajo con el fin de llevar a cabo una gestión integral de los RCD.

2. Se debe cumplir con la normativa ambiental actual.

3. La reducción de la disposición final de RCD se logra mediante la implementación de acciones que permitan la reutilización, el reciclaje o la valorización de estos residuos.

2.2. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS

2.2.1. Residuos sólidos

Los residuos pueden ser líquidos, gaseosos o sólidos, tales como líquidos, gaseosos o sólidos. Se emplea el término "residuo sólido urbano" para referirse a aquellos que se originan específicamente en los núcleos urbanos y sus áreas de influencia. Los residuos pueden ser producidos en residencias particulares, tales como casas, apartamentos o tiendas. Los ejemplos de residuos sólidos son un papel empleado, una botella de plástico o vidrio, o un envase de cartón. A diferencia de residuos como el aceite de un vehículo o el humo de una chimenea, residuos como el aceite de un vehículo o el humo de una chimenea no se clasifican dentro de los residuos sólidos.

Los residuos sólidos son clasificados en dos grandes grupos: los residuos sólidos peligrosos y los no peligrosos. Los residuos peligrosos se agrupan en aquellos residuos que pueden generar un peligro para poder causar daños a los ciudadanos o al medio ambiente debido a propiedades corrosivas, explosivas o tóxicas.

Los residuos no peligrosos no representan un peligro para el ciudadano ni para el medio ambiente, mientras que los residuos no peligrosos no representan un peligro para el ciudadano ni para el medio ambiente.

Se pueden agrupar en:

- **Ordinarios:** La generación de residuos en hogares, escuelas, oficinas u hospitales se produce a lo largo de la jornada laboral.
- **Biodegradables:** Se caracteriza por su capacidad de desintegrarse o degradarse de manera rápida, transformándose en un tipo de materia orgánica. Otros ejemplos de este tipo de residuos son restos de alimentos, frutas y verduras. También podrá obtener más información acerca de cuánto tiempo tardan en degradarse los desechos aquí.

- **Inertes:** estos residuos se caracterizan por no descomponen fácilmente en la naturaleza, sino que tardan bastante tiempo en descomponerse. Entre estos residuos se encuentran el cartón o algunas clases de papel, entre los cuales se encuentran el cartón o algunas clases de papel.
- **Reciclables:** Los residuos pueden ser sometidos a procedimientos que posibilitan su reutilización. Existen vidrios, telas, algunas clases de plásticos o papeles, entre ellos, vidrios, telas, algunas clases de plásticos o papeles.

Los residuos sólidos también pueden agruparse en orgánicos e inorgánicos:

- **Orgánicos:** en esta clasificación se agruparon a los residuos biodegradables.

No orgánicos o inorgánicos: son residuos que, debido a sus características químicas, experimentan una desintegración natural de manera lenta. Muchos de estos residuos se reciclan mediante métodos complejos como latas, algunos plásticos, vidrios o gomas.

La mala gestión de los residuos sólidos puede tener consecuencias, que podemos considerar realmente serias, como:

- Riesgos para la salud: en forma de enfermedades directas e indirectas . Muchos de estos efectos están siendo estudiados.
- Efectos nocivos para el medio ambiente: por ejemplo, el deterioro estético de los paisajes urbanos y naturales, que puede verse como una forma de modificación humana de la naturaleza.
- Contaminación del agua: por ejemplo, a través de lixiviados o vertidos en ríos o arroyos. Esto conduce a la eutrofización, que tiene graves consecuencias.
- Contaminación del suelo: por ejemplo, abandono de tierras o especulación con el suelo.
- Contaminación del aire: las emisiones de humo y gases degradan la calidad del aire que respiramos.

2.2.2. Residuos de Manejo Especial

Según la Secretaría de Recursos de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los Residuos de Manejo Especial (RME) son aquellos que se generan en los procesos productivos, que no reúnen las características necesarias para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que se producen por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

El artículo 9 de la LGPGIR establece que las autoridades federales tienen la competencia para aprobar la gestión integrada.

Los residuos de manejo especial, e identificar aquellos que dentro de su territorio puedan estar sujetos a planes de manejo.

Los residuos no deben ser entregados a los proveedores del servicio de aseo, ya que sus características corrosivas, reactivas, explosivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas pueden generar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente, en caso de no ser gestionados adecuadamente.

En esta clasificación se presentan los residuos específicos, tales como el aceite vegetal y las llantas; los de manejo diferenciado o posconsumo, tales como los medicamentos de uso animal y humano, las pilas, bombillos, electrodomésticos y aparatos eléctricos, los plaguicidas y baterías de plomo-ácido, y los de construcción y demolición.

NOM-161-SEMARNAT-2011, establece Elementos y procedimientos para elaborar un plan de manejo, incluyendo la lista de residuos clasificados como residuos especiales y la determinación de cuáles residuos son objeto de un plan de manejo, los procedimientos para incluirlos o excluirlos de la lista y los procedimientos para la elaboración de un plan de manejo.

2.2.3. Residuos Peligrosos

Se les denomina residuos peligrosos (RP's) cuando éstos presentan alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o residuos peligrosos biológicos infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido

contaminados con ellos. Por consiguiente, son de gran cuidado, ya que cuando se encuentran en mal manejo o disposición, pueden representar un grave riesgo para la salud o medio ambiente.

Los Residuos Perjudiciales en México se originan a partir de una amplia variedad de actividades industriales, agropecuarias y domésticas. Los procesos industriales producen una variedad de residuos de naturaleza sólida, pastosa, líquida o gaseosa, que pueden tener algunas propiedades corrosivas, reactivas, explosivas y tóxicas y puede suponer un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Asimismo, existen otras fuentes que generan residuos peligrosos, como los hospitales, el comercio y la minería.

Existen varias opciones alternativas para la gestión de residuos peligrosos.

Reciclaje: La opción más productiva es la que, tras un proceso específico, convierte a los residuos peligrosos en materia prima que se puede utilizar posteriormente en otro proceso productivo diferente.

Destrucción: Asimismo, es factible destruir los residuos peligrosos, ya que mediante esta acción, las cenizas generadas pueden ser confinadas de manera más efectiva y, de esta manera, clasificadas como residuos estabilizados. Un ejemplo de medicamentos prescritos o carentes de especificaciones. Confinamiento: Los residuos peligrosos se desintoxican, se separan los componentes peligrosos y se concentran a un volumen reducido, y finalmente se estabilizan para evitar la formación de lixiviados.

Se consideran peligrosos a los remanentes que surgen de un proceso productivo, los cuales, debido a su composición, presentación o combinación, pueden presentarse como un peligro futuro o futuro, ya sea de manera directa o indirecta para la salud humana y el entorno.

2.2.4. Clasificación de Residuos Peligrosos

Una cuestión esencial para el correcto manejo de un residuo peligroso es su identificación; ya que la naturaleza y características de peligrosidad inherentes a él determinarán las acciones y precauciones necesarias para su manipulación.

Para la clasificación, se han implementado diversas técnicas en los diferentes países en los cuales se encuentra una regulación, y estas se fundamentan principalmente en los siguientes aspectos:

- Procesos industriales donde se pueden generar residuos peligrosos.
- Listas específicas de residuos peligrosos, con los niveles de concentración permisibles.
- Sustancias específicas o grupos de estas cuya presencia indica un riesgo potencial al ambiente y a las salud humanas.
- Características peligrosas y límites de estas que determinan si un material es peligroso o no.

Cada una de estas clasificaciones posee sus ventajas y desventajas, por lo que en ocasiones se emplea un listado mediante diversos criterios. En ocasiones, se refiere únicamente a listas de materiales con los procedimientos de análisis y límites de concentración, lo cual tiene la ventaja de proporcionar una descripción precisa del residuo, no dejando ninguna duda acerca de su naturaleza y grado de peligrosidad.

2.3. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (GIRS) EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

La Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) se define como el conjunto articulado de acciones normativas, operativas, financieras y de planificación que permiten el manejo de los residuos desde su generación hasta su disposición final (SEMARNAT, 2020). En el contexto de las Instituciones de Educación Superior (IES), la GIRS adquiere una dimensión de "microcosmos urbano", donde la diversidad de actividades (docencia, investigación, servicios y administración) genera flujos de residuos complejos que requieren modelos de gestión específicos (Trihadiningrum et al., 2023). La literatura científica enfatiza que las universidades, al ser centros de conocimiento, deben liderar con el ejemplo a través de la implementación de modelos de economía circular que prioricen la reducción en la fuente (Smyth et al., 2010). Según Alshuwaikhat y Abubakar (2008), un campus sostenible no solo debe gestionar sus desechos, sino integrarlos en un sistema de gestión ambiental (SGA) que considere el ciclo de vida de los materiales. En México, la

implementación de estos sistemas en universidades públicas se enfrenta a retos presupuestales y de gobernanza interna, lo que hace imperativo el diseño de modelos técnicos robustos (Armijo-de-Vega et al., 2008). Finalmente, Espinosa-Lloréns et al. (2008) sostienen que la participación de la comunidad universitaria es el eje transversal que garantiza la operatividad técnica de cualquier modelo GIRS a largo plazo.

2.4. MARCO JURÍDICO Y NORMATIVO DE LOS RESIDUOS EN MÉXICO

La columna vertebral de la gestión de residuos en México es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), la cual establece la clasificación de residuos en tres categorías: Sólidos Urbanos (RSU), de Manejo Especial (RME) y Peligrosos (RP) (Cámara de Diputados, 2021). Esta legislación introduce el principio de "responsabilidad compartida", obligando a las instituciones a planes de manejo específicos según el volumen de generación (SEMARNAT, 2021). Complementariamente, la NOM-161-SEMARNAT-2011 es fundamental para las universidades, ya que define los criterios para clasificar los residuos de manejo especial, como los electrónicos y de construcción, y establece los requisitos de los planes de manejo (NOM, 2011). Para la caracterización técnica, la NMX-AA-015-1985 proporciona la metodología oficial de cuarteo, esencial para obtener datos estadísticamente representativos sobre la composición física de los residuos (Secretaría de Economía, 1985). Por otro lado, la NOM-052-SEMARNAT-2005 es el referente técnico para la identificación y clasificación de residuos peligrosos mediante las características CRETIB, aspecto crítico en laboratorios universitarios (SEMARNAT, 2005). Finalmente, autores como Buenrostro y Bocco (2003) señalan que la falta de armonización entre las leyes federales y los reglamentos municipales suele ser la principal barrera para la disposición final adecuada en instituciones autónomas.

2.5. CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE RESIDUOS EN CAMPUS

La caracterización es la etapa técnica preliminar que define la viabilidad de cualquier tratamiento térmico o biológico. Según Bernache-Pérez (2011), la generación per cápita en universidades varía drásticamente según la disciplina académica, siendo las áreas de ingeniería y salud las de mayor complejidad química. Estudios en universidades

latinoamericanas indican que la fracción orgánica suele representar entre el 30% y el 45% del peso total, lo que abre una ventana de oportunidad para el compostaje in situ (Maldonado et al., 2018). En cuanto a la fracción inorgánica, el papel y el cartón dominan el flujo de residuos administrativos, con potenciales de recuperación superiores al 80% bajo esquemas de separación en la fuente (Gallardo et al., 2016). La densidad de los residuos es otro parámetro de ingeniería crucial; autores como Gidarakos et al. (2006) demuestran que la compactación en el origen puede reducir significativamente los costos de transporte y la huella de carbono asociada. Sin embargo, la presencia de contaminantes en las corrientes de reciclables, como restos de alimentos en plásticos, reduce el valor comercial de los materiales recuperados (Adeniran et al., 2017). Por ello, Zhang et al. (2011) sugieren que la caracterización no debe ser puntual, sino estacional, para capturar las variaciones en los patrones de consumo durante los periodos vacacionales y semestrales.

2.6. RESIDUOS PELIGROSOS Y BIOLÓGICO-INFECCIOSOS EN EL ÁMBITO ACADÉMICO

En las instalaciones de la UMSNH, la gestión de residuos peligrosos (RP) y biológico-infecciosos (RPBI) representa el reto técnico más crítico debido a la diversidad de reactivos químicos y muestras biológicas procesadas en laboratorios de investigación. De acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005, la peligrosidad de un residuo se determina por sus características CRETIB; sin embargo, en el entorno académico, la mezcla incidental de sustancias puede generar sinergias tóxicas no previstas (SEMARNAT, 2005). Autores como Blackman (2016) señalan que los laboratorios universitarios funcionan como "pequeños generadores" dispersos, lo que complica la logística de recolección interna y el almacenamiento temporal. Por su parte, Prichard y Mallick (2014) destacan que la implementación de programas de "Química Verde" puede reducir hasta en un 40% la generación de solventes halogenados mediante la microescala. En México, la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 establece los lineamientos para el manejo de RPBI, donde la segregación correcta en el origen evita el sobre costo por tratamiento de residuos no contaminados (DOF, 2002). No obstante, Valdez et al. (2021) advierten que la falta de capacitación técnica en el personal auxiliar suele derivar en una clasificación errónea, incrementando los riesgos de exposición laboral. Finalmente, la gestión de pasivos

ambientales (reactivos caducos) requiere de inventarios dinámicos para evitar que los almacenes se conviertan en focos de riesgo químico (Wood-Harper et al., 2020).

2.7. VALORIZACIÓN DE RESIDUOS BAJO EL ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR

La transición de un modelo lineal a uno circular dentro de las universidades implica transformar el residuo en materia prima secundaria. La valorización material de polímeros (PET, PEAD, PP) generados en áreas de cafetería de la UMSNH depende estrictamente de su grado de pureza química al momento de la recolección (Gallardo et al., 2016). Según Hopewell et al. (2009), la degradación térmica de los plásticos durante el reciclaje mecánico limita el número de ciclos de vida, por lo que la segregación debe minimizar la presencia de contaminantes orgánicos. En el caso de la fracción orgánica, el compostaje y la digestión anaerobia se presentan como tecnologías de ingeniería biológica capaces de cerrar el ciclo de nutrientes en las áreas verdes del campus (Blasco et al., 2020). Autores como Ghisellini et al. (2016) argumentan que la economía circular en el sector educativo no solo reduce costos de disposición, sino que genera beneficios económicos mediante la venta de subproductos reciclables. Para que este flujo sea viable, es necesario el análisis de mercados regionales en Michoacán, asegurando que los materiales recuperados tengan un destino industrial real (Vázquez y Espinosa, 2019). Finalmente, la jerarquía de manejo de residuos prioriza la recuperación energética sobre la disposición final, siempre que se cuente con tecnologías de control de emisiones adecuadas (Mmereki et al., 2016).

2.8. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ESTIMACIÓN DE HUELLA DE CARBONO

El manejo inadecuado de residuos sólidos contribuye significativamente al calentamiento global mediante la emisión de metano (CH_4) en rellenos sanitarios y bióxido de carbono (CO_2) durante el transporte. La aplicación de metodologías de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite cuantificar las cargas ambientales asociadas a cada etapa del modelo de gestión propuesto (Guinée et al., 2011). Estudios realizados por Manfredi et al. (2009) demuestran que el reciclaje de aluminio y papel ofrece los mayores beneficios en términos de energía evitada y reducción de huella de carbono. En el contexto universitario,

la estimación de emisiones debe incluir el alcance 3 (emisiones indirectas por disposición de residuos), utilizando factores de emisión actualizados del IPCC (IPCC, 2019). Autores como Turner et al. (2016) sugieren que la optimización de rutas de recolección interna mediante sistemas de información geográfica (SIG) puede reducir el consumo de combustible hasta en un 15%. Asimismo, el aprovechamiento de la fracción orgánica mediante compostaje in situ mitiga la formación de lixiviados ácidos, protegiendo los cuerpos de agua subterráneos (Lou y Nair, 2009). Por último, la evaluación del impacto ambiental debe ser multidimensional, considerando no solo el clima, sino también la toxicidad humana y la acidificación del suelo (Cherubini et al., 2009).

2.9. LOGÍSTICA REVERSA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA GIRS

La logística reversa en campus universitarios se define como el proceso de planificación y control del flujo de materiales desde el punto de consumo (estudiantes/personal) hasta el punto de origen o tratamiento (Centro de Acopio). Según Rogers y Tibben-Lembke (2001), este proceso es fundamental para la recuperación de residuos de manejo especial (RME) como los tóners y equipos electrónicos. La integración de tecnologías de la información, como el uso de códigos QR o sensores de llenado en contenedores inteligentes, permite una gestión basada en datos en tiempo real (Anagnostopoulos et al., 2015). En México, el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) es la herramienta oficial para reportar estos movimientos, garantizando la trazabilidad de los residuos peligrosos (SEMARNAT, 2021). Para autores como Bing et al. (2014), la eficiencia de la logística interna depende de la ubicación estratégica de los nodos de transferencia dentro de la infraestructura universitaria. Además, el monitoreo constante mediante indicadores de desempeño (KPI) permite ajustar el modelo ante cambios en la matrícula o actividades extraordinarias (Herva et al., 2011). Finalmente, la digitalización de la información facilita la transparencia y la rendición de cuentas ante las autoridades ambientales (Marmolejo et al., 2010).

2.10. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO Y BIOLÓGICO PARA RESIDUOS UNIVERSITARIOS

El tratamiento de residuos en un campus de gran escala como la UMSNH requiere un análisis de ingeniería sobre la cinética de degradación y el balance de masa. El compostaje aerobio es la tecnología biológica más viable para la fracción orgánica (FO), donde el control de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es crítico para optimizar la actividad microbiana (Díaz et al., 2020). Según de Guardia et al. (2010), el mantenimiento de condiciones termofílicas 55-65°C garantiza la higienización del material, eliminando patógenos de restos de comida. Por otro lado, la digestión anaerobia permite la recuperación energética mediante la producción de biogás, aunque requiere una mayor inversión en reactores sellados (Khalid et al., 2011). En cuanto a los residuos no reciclables, la incineración con recuperación de energía (Waste-to-Energy) se presenta como una opción para reducir el volumen hasta en un 90%, aunque las emisiones de dioxinas y furanos exigen sistemas de filtrado de alta eficiencia (Quina et al., 2011). Autores como Brunner y Rechberger (2015) sostienen que el análisis de flujo de materiales (MFA) es la herramienta de ingeniería definitiva para decidir qué tecnología de tratamiento minimiza la entropía del sistema. Finalmente, Zhang et al. (2010) enfatizan que el pre tratamiento mecánico (trituration y cribado) mejora significativamente el rendimiento de cualquier proceso posterior, ya sea térmico o biológico.

2.11. EDUCACIÓN AMBIENTAL Y FACTORES PSICOSOCIALES EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

La infraestructura técnica de ingeniería es insuficiente si no se integra la dimensión humana del comportamiento pro ambiental. La teoría del comportamiento planeado (TPB) sugiere que la actitud, las normas subjetivas y el control percibido son los predictores clave de la separación de residuos en estudiantes (Ajzen, 1991). Según Barr (2007), existe una "brecha valor-acción" donde, a pesar de tener conciencia ambiental, los usuarios no participan en el reciclaje por falta de conveniencia logística. En las universidades mexicanas, se ha observado que la señalética clara y la ubicación de contenedores a menos de 10 metros de los flujos peatonales incrementan la tasa de recuperación en un 30%

(Gonzalez-Torres et al., 2021). Autores como Vaughter et al. (2013) argumentan que la gestión de residuos debe formar parte del "currículo oculto", donde la institución enseña mediante la práctica operativa diaria. Asimismo, Kollmuss y Agyeman (2002) identifican barreras institucionales, como la falta de incentivos o la desconfianza en el destino final de los residuos, como inhibidores del modelo. Finalmente, McKenzie-Mohr (2011) propone el marketing social comunitario como una estrategia para normalizar el reciclaje mediante el compromiso público y las normas de grupo en el campus.

2.12. GOBERNANZA AMBIENTAL Y ACUERDOS MULTILATERALES EN MATERIA DE RESIDUOS

La gestión integral de residuos a nivel global se rige por una arquitectura jurídica diseñada para mitigar los impactos transfronterizos y la acumulación de contaminantes persistentes. El Convenio de Basilea (1989) constituye el pilar fundamental para el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos, obligando a las naciones firmantes a garantizar un manejo ambientalmente racional y la reducción en la fuente (PNUMA, 2019). Complementariamente, el Convenio de Estocolmo (2001) establece directrices estrictas para la eliminación de Residuos Orgánicos Persistentes (COP), los cuales representan un riesgo crítico por su capacidad de bioacumulación (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2021).

En el marco de la estandarización técnica, la Norma ISO 14001:2015 es el referente para la implementación de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) en instituciones, permitiendo la mejora del desempeño mediante el uso eficiente de recursos y la reducción de desechos (ISO, 2015). Asimismo, para la evaluación de impactos, la Norma ISO 14044:2006 dicta las directrices del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), herramienta de ingeniería esencial para cuantificar las cargas ambientales desde la cuna hasta la tumba (ISO, 2006). A nivel estratégico, la Agenda 2030 de la ONU, a través del ODS 12, insta a las universidades a liderar la transición hacia modalidades de consumo y producción sostenibles mediante la prevención y el reciclaje (ONU, 2015). Finalmente, autores como Leal Filho et al. (2019) destacan que la adopción de estos marcos internacionales en las Instituciones de Educación Superior (IES) es un catalizador para alcanzar la neutralidad de carbono institucional.

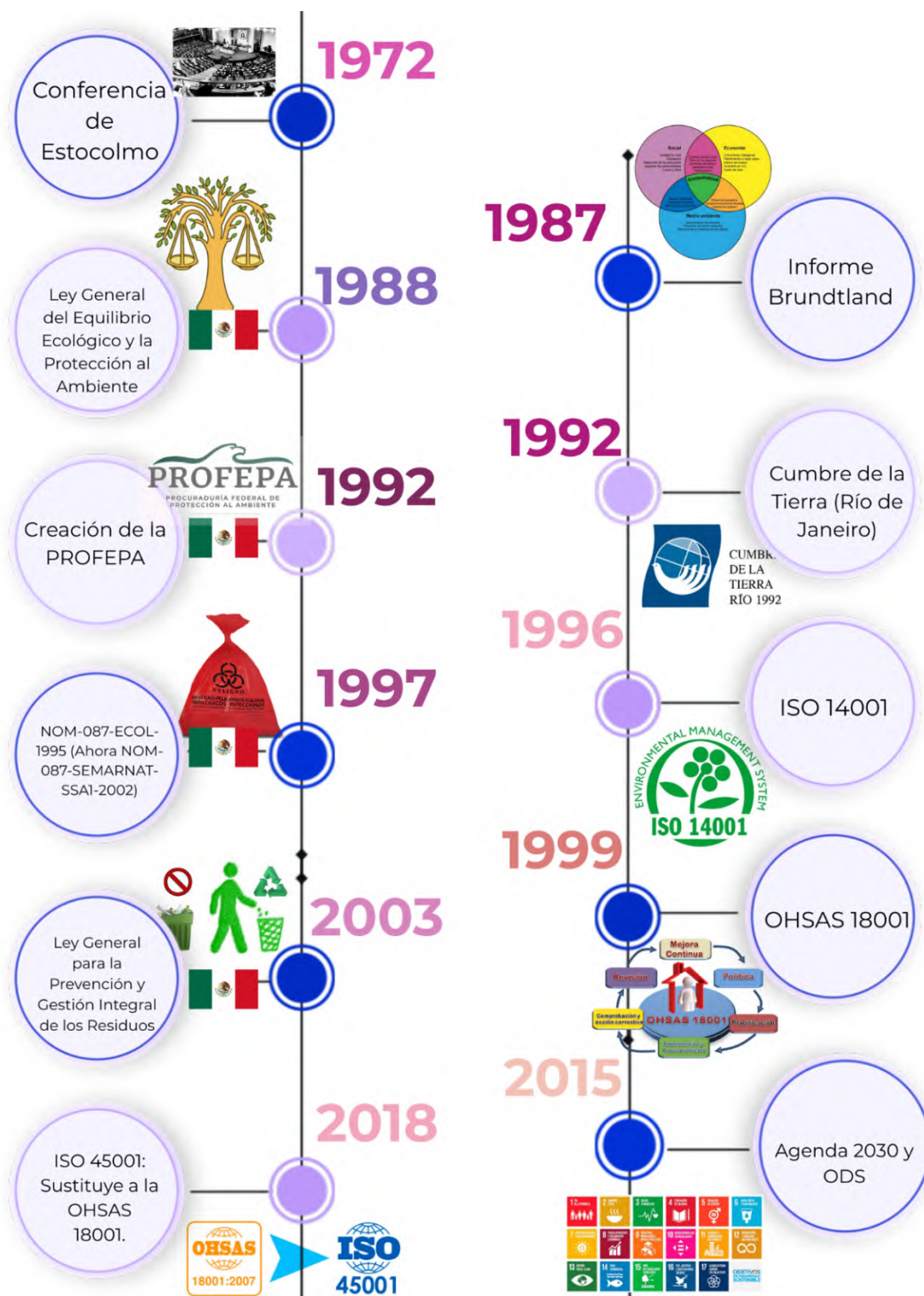


Figura 1. Línea del tiempo de la gestión ambiental a nivel internacional y a nivel México.

Fuente: Elaboración propia

2.13. ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES (MFA) Y BALANCES DE MASA

El Análisis de Flujo de Materiales (MFA, por sus siglas en inglés) es una herramienta de la ingeniería ambiental que permite cuantificar las entradas, existencias y salidas de un sistema definido. Según Brunner y Rechberger (2016), el MFA es fundamental para identificar dónde se generan las mayores ineficiencias en el metabolismo de un campus universitario. En la gestión de residuos, el balance de masa se expresa mediante la ecuación: $\text{entradas} = \text{salidas} + \text{acumulación}$. De acuerdo con Stanisavljevic y Brunner (2014), el uso de software especializado como STAN permite visualizar mediante diagramas de Sankey la trayectoria de materiales críticos como el papel y el plástico. Autores como Graedel (2019) sugieren que este análisis permite transitar de una gestión reactiva a una proactiva, priorizando la recuperación de materiales con mayor energía embebida. En contextos universitarios, el MFA ayuda a determinar la capacidad de carga de los centros de acopio temporales (CAT) y a dimensionar el equipo de compactación necesario (Zaman, 2014). Por último, Hendriks et al. (2010) señalan que la incertidumbre en los datos de entrada debe ser gestionada mediante modelos probabilísticos para asegurar que el diseño de la infraestructura sea resiliente ante variaciones en la matrícula estudiantil.

2.14. MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN (LOGÍSTICA VERDE)

La eficiencia de la gestión integral depende en gran medida de la optimización del transporte interno. Según Tavares et al. (2009), el uso de algoritmos de optimización de rutas basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede reducir las emisiones de CO_2 hasta en un 25%. La logística verde en los campus universitarios implica el diseño de circuitos que consideren la capacidad de los vehículos, la frecuencia de llenado de los contenedores y las restricciones de horario académico (Gallardo et al., 2012). Anagnostopoulos et al. (2015) proponen el uso de Internet de las Cosas (IoT) mediante sensores de nivel en botes inteligentes para transitar de una recolección fija a una recolección dinámica basada en la demanda real. De acuerdo con Das y Bhattacharyya (2015), la minimización de la distancia recorrida no solo reduce costos operativos, sino que

disminuye el desgaste de la infraestructura vial del campus. No obstante, Bani et al. (2009) advierten que el diseño de rutas debe contemplar factores de seguridad peatonal, especialmente en zonas de alta densidad estudiantil. Finalmente, la integración de vehículos eléctricos para la recolección interna es una tendencia creciente que alinea la operación del campus con los objetivos de descarbonización (Mmereki et al., 2016).

2.15. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN

Cuando la valorización material no es factible, las tecnologías de conversión energética (Waste-to-Energy) ofrecen una alternativa técnica para reducir la disposición final. Según Quina et al. (2011), la caracterización del poder calorífico inferior (PCI) de los residuos universitarios es el primer paso para determinar la viabilidad de procesos térmicos. La incineración controlada con recuperación de calor puede generar vapor o electricidad, aunque requiere sistemas de limpieza de gases altamente sofisticados para cumplir con la NOM-098-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002). Brunner y Rechberger (2015) sugieren que para la fracción orgánica, la digestión anaerobia para la producción de biogás es más eficiente desde una perspectiva termodinámica. Por su parte, Murphy y McKeogh (2004) destacan que el uso de biogás en cocinas de cafeterías universitarias cierra el ciclo energético dentro del mismo campus. Sin embargo, la inversión inicial y los requerimientos de mantenimiento suelen ser barreras significativas para universidades públicas (Khalid et al., 2011). En este sentido, Lombardi et al. (2015) proponen modelos de cogeneración a pequeña escala como soluciones modulares para instituciones educativas.

2.16. JERARQUÍA NORMATIVA EN MÉXICO: DEL NIVEL FEDERAL AL ESTATAL (MICHOACÁN)

El marco jurídico mexicano se fundamenta en el Artículo 4° Constitucional, que mandata el derecho a un medio ambiente sano, derivando en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (Cámara de Diputados, 2021). Esta ley federal establece la clasificación de residuos en Sólidos Urbanos (RSU), de Manejo Especial (RME) y Peligrosos (RP), asignando responsabilidades específicas a los grandes generadores (SEMARNAT, 2021). Para la operatividad técnica, la

NOM-161-SEMARNAT-2011 es crucial para este estudio, ya que define los criterios para clasificar los RME y los requisitos de los planes de manejo para instituciones como la UMSNH (DOF, 2011).

En el ámbito local, la Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Michoacán de Ocampo armoniza las disposiciones federales, regulando el transporte y la disposición final de residuos en la entidad (Gobierno del Estado de Michoacán, 2020). Autores como Bernache-Pérez (2019) señalan que la efectividad de estas normas se ve limitada por la falta de infraestructura técnica regional, lo que hace necesario que las universidades desarrollen modelos de gestión autónomos y robustos. Por otro lado, la NOM-052-SEMARNAT-2005 dicta las características de peligrosidad (CRETIB) para el manejo de residuos químicos en laboratorios, mientras que la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 rige el manejo de los Biológico-Infecciosos (RPBI) generados en áreas de salud (SEMARNAT, 2005; DOF, 2002).

2.17. ESTADÍSTICAS DE GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS

Para dimensionar el modelo de gestión, es necesario comparar el desempeño local frente a las métricas nacionales e internacionales.

Tabla 2. Comparativa de Generación y Composición de Residuos (2020-2024)

Escala Geográfica	Generación Per Cápita (kg/hab/día)	Tasa de Reciclaje (%)	Fuente Principal
Internacional (Promedio OCDE)	1.40 - 1.60	34.0%	OCDE (2023)
Nacional (México)	0.94 - 1.10	9.6%	SEMARNAT (2021)
Estatad (Michoacán)	0.88 - 0.95	5.2%	Diagnóstico Estatal (2022)
Universitaria (Estimado IES)	0.45 - 0.65	18.0%	Armijo-de-Vega (2021)

Tabla 3. Composición Típica de Residuos en Instituciones de Educación Superior

Categoría de Residuo	Porcentaje en Masa (%)	Potencial de Valorización	Fuente
Orgánicos (Restos comida/poda)	35% - 45%	Compostaje / Biogás	Maldonado et al. (2021)
Papel y Cartón	20% - 25%	Reciclaje de celulosa	Gallardo et al. (2016)
Plásticos (PET, PEAD, PP)	10% - 15%	Reciclaje mecánico	Vásquez-García (2019)
Vidrio y Metales	5% - 8%	Reciclaje infinito	Espinosa-Lloréns (2020)
Residuos de Manejo Especial / Peligrosos	2% - 5%	Confinamiento / Neutralización	Valdez et al. (2021)

2.18. EL CONVENIO DE ESTOCOLMO Y LA GESTIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)

En el ámbito de la ingeniería ambiental universitaria, el Convenio de Estocolmo es el tratado internacional más relevante para el manejo de residuos químicos de laboratorio y mantenimiento. Su objetivo principal es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), sustancias químicas que poseen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación y se bioacumulan en organismos vivos (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2021). Para la UMSNH, este acuerdo se traduce en la obligatoriedad de gestionar adecuadamente equipos antiguos (como transformadores que podrían contener bifenilos policlorados o PCB) y reactivos caducos que figuran en los anexos del convenio. La implementación de un modelo de gestión integral debe asegurar que estos residuos no sean incinerados a cielo abierto ni dispuestos en vertederos convencionales, evitando así la liberación incidental de dioxinas y furanos, subproductos altamente cancerígenos (PNUMA, 2019). Según Valdez et al. (2021), la gestión de "pasivos químicos" en universidades mexicanas suele ser el punto más débil del cumplimiento

normativo internacional, requiriendo protocolos de estabilización y confinamiento controlado.

2.19. AGENDA 2030 Y OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

La Agenda 2030, adoptada por la Asamblea General de la ONU, establece una hoja de ruta global donde las universidades actúan como catalizadores del cambio. Aunque la Agenda se proyectó originalmente al 2030, las instituciones académicas están ajustando sus planes operativos anuales para cumplir con metas intermedias de sostenibilidad (ONU, 2015). Dentro del modelo de gestión de residuos propuesto, los ODS impactados directamente son:

ODS 12 Producción y Consumo Responsables: Específicamente la meta 12.5, que busca reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización (ONU, 2015).

ODS 13 Acción por el Clima: Al optimizar la logística de recolección y el tratamiento de la fracción orgánica, se reducen las emisiones de metano (CH₄) y CO₂, contribuyendo a la mitigación del cambio climático (IPCC, 2019).

ODS 4 Educación de Calidad: Al transformar el campus en un "laboratorio vivo", se garantiza que los estudiantes adquieran conocimientos teóricos y prácticos sobre el desarrollo sostenible (Leal Filho et al., 2019).

2.20. RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA (RSU) COMO EJE TRANSVERSAL

La Responsabilidad Social Universitaria (RSU) supera el concepto de extensión académica para convertirse en un modelo de gestión ética de la institución. Según Vallaey (2014), la RSU implica que la universidad debe hacerse responsable de los impactos cognitivos, educativos, sociales y, fundamentalmente, ambientales que genera. En materia de residuos, la RSU dicta que la UMSNH no puede limitarse a cumplir con la ley (LGPGIR), sino que debe aspirar a la excelencia operativa para evitar impactos negativos

en la comunidad moreliana. La implementación del modelo propuesto es una manifestación técnica de la RSU, pues:

Gestión de Impactos: Minimiza la huella ecológica del campus.

Formación Ciudadana: Educa a la comunidad estudiantil en hábitos de segregación que se replican en sus hogares (Gonzalez-Torres et al., 2021).

Transparencia: Pública indicadores de recuperación de materiales, fortaleciendo el vínculo de confianza con la sociedad (Espinosa-Lloréns, 2020).

Tabla 4. Matriz de Alineación Estratégica del Modelo de Gestión

Nivel de Aplicación	Instrumento / Marco	Objetivo Técnico en el Proyecto
Global	Convenio de Estocolmo	Eliminación segura de COP y reactivos peligrosos.
Estratégico	Agenda 2030 (ODS 12)	Cumplimiento de metas de reducción y valorización.
Ético-Institucional	RSU	Transformación de la cultura ambiental universitaria.
Normativo Nacional	LGPGIR / NOM-161	Legalidad en el manejo de Residuos de Manejo Especial.

3. METODOLOGÍA

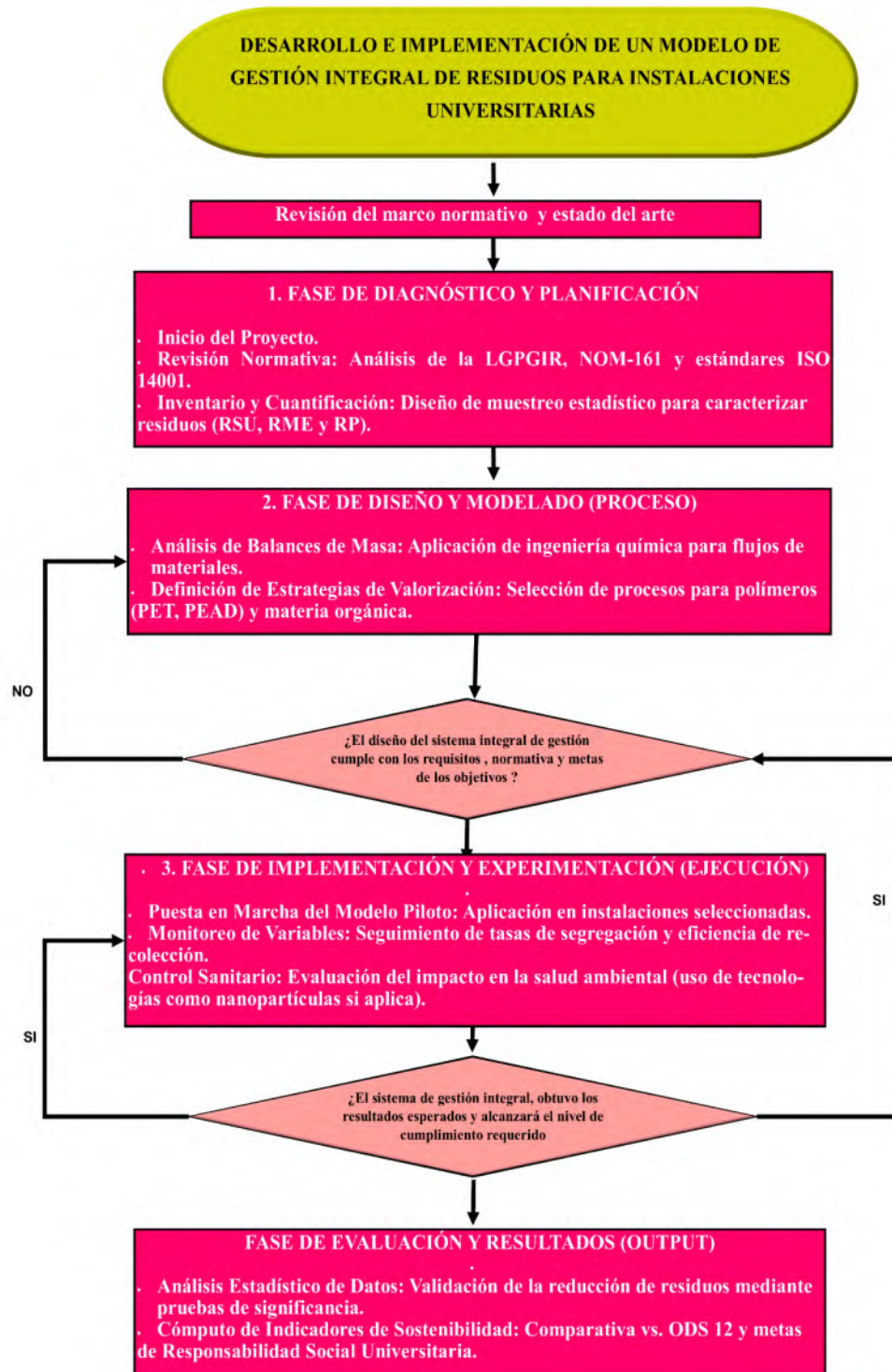


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología.

Fuente: Elaboración propia

3.1. FASE 1: DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN Y LÍNEA BASE

Esta etapa técnica consiste en determinar el "estado del arte" operativo de la universidad. De acuerdo con la NMX-AA-015-1985, se realizará un muestreo aleatorio estratificado para capturar la variabilidad de residuos en diferentes facultades (Secretaría de Economía, 1985). La cuantificación se llevará a cabo durante siete días consecutivos para obtener el promedio de Generación Per Cápita (GPC), un indicador estándar en ingeniería ambiental (Buenrostro et al., 2001). Según Bernache (2011), es vital diferenciar entre días de actividad administrativa y días de alta carga estudiantil para evitar sesgos en el cálculo del volumen total. La caracterización cualitativa implicará la separación física en subproductos (plásticos, celulósicos, metales, orgánicos) para determinar el potencial de valorización (Gidaracos et al., 2006). Autores como Armijo-de-Vega (2008) sugieren el uso de encuestas diagnósticas para evaluar el conocimiento previo de la comunidad sobre la gestión actual. Finalmente, se realizará un inventario de la infraestructura existente (número de botes, camiones y centros de almacenamiento) para identificar cuellos de botella operativos (Dahlén y Lagerkvist, 2008).

3.2. FASE 2: ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES (AFM) Y DISEÑO DEL MODELO

El diseño del sistema se basará en el Análisis de Flujo de Materiales (AFM), una metodología de ingeniería que permite rastrear la masa desde la entrada al campus hasta su salida como residuo o recurso (Brunner y Rechberger, 2016). Mediante balances de materia ($\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulación}$), se identificarán las ineficiencias en el manejo de papel y plásticos (Stanisavljevic y Brunner, 2014). El modelo integrará la logística de recolección interna optimizada mediante algoritmos de ruta mínima para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Tavares et al., 2009). Según Pires et al. (2011), el diseño debe alinearse con la jerarquía de gestión de residuos de la LGPGIR, priorizando la prevención y el aprovechamiento (Cámara de Diputados, 2021). Se diseñarán estaciones de transferencia y un Centro de Acopio Temporal (CAT) bajo criterios de seguridad industrial y salud ocupacional (Lehman, 2011). Por último, se establecerán los protocolos técnicos para el

manejo de residuos de manejo especial (RME) y peligrosos (RP), cumpliendo con la NOM-052-SEMARNAT-2005 y la NOM-161-SEMARNAT-2011 (SEMARNAT, 2011).

3.3. FASE 3: IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA PILOTO Y OPERATIVIDAD TÉCNICA

La implementación de un modelo piloto es una fase crítica de la ingeniería de proyectos que permite validar las hipótesis de segregación y eficiencia logística en un entorno real pero controlado. De acuerdo con Gidarakos et al. (2006), la selección de la unidad piloto debe basarse en la representatividad de la generación; en el caso de la UMSNH, una facultad con laboratorios y áreas administrativas ofrece el espectro completo de residuos (RSU, RME y RP). La operatividad técnica inicia con la instalación de Estaciones de Transferencia Interna (ETI), diseñadas bajo criterios de ergonomía y señalética universal para minimizar la contaminación cruzada entre corrientes de residuos (Gallardo et al., 2012).

3.3.1. Ingeniería de Rutas y Frecuencias de Recolección

La logística interna se optimizará mediante la aplicación de modelos de Investigación de Operaciones. Según Tavares et al. (2009), el uso de software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite diseñar rutas de recolección que minimicen el tiempo de traslado y el consumo de combustible de los vehículos internos, reduciendo así la huella de carbono del campus. La frecuencia de recolección será determinada por la tasa de generación acumulada (Tg), asegurando que los contenedores no superen el 80% de su capacidad nominal para evitar la dispersión de residuos por fauna nociva (Smyth et al., 2010). Autores como Bing et al. (2014) sugieren que la eficiencia del piloto depende de la "conveniencia del usuario", situando los contenedores en los nodos de mayor flujo peatonal identificados en la Fase 1.

3.3.2. Gestión de la Fracción Orgánica e Inorgánica Valorizable

Durante el piloto, se pondrá especial énfasis en la separación de la fracción orgánica para su tratamiento biológico. De acuerdo con Diaz et al. (2020), la implementación de un sistema de pre-tratamiento (cribado manual) es necesaria para asegurar que la materia orgánica destinada a compostaje esté libre de plásticos y vidrios. Para los residuos

inorgánicos valorizables, se establecerá un protocolo de Aseguramiento de Calidad del Material (ACM), donde el papel y el plástico sean clasificados por tipo de polímero (PET, PEAD, PP), incrementando su valor en el mercado de reciclaje (Hopewell et al., 2009). Zhang et al. (2011) enfatizan que el éxito del piloto no solo depende de la infraestructura, sino de la supervisión técnica constante para corregir errores de segregación en tiempo real.

3.3.3. Capacitación Técnica y Sensibilización Operativa

La dimensión humana del piloto se abordará mediante la capacitación del personal de limpieza y mantenimiento, quienes actúan como operadores primarios del sistema. Según McKenzie-Mohr (2011), el uso de "promotores ambientales" dentro de la facultad piloto ayuda a normalizar las nuevas prácticas de gestión a través del compromiso social. Barr (2007) sostiene que la retroalimentación inmediata sobre los niveles de reciclaje logrados durante las primeras semanas del piloto refuerza positivamente el comportamiento de la comunidad estudiantil. Asimismo, Espinosa-Lloréns et al. (2008) destacan que en universidades públicas, la transparencia en el destino final de los recursos obtenidos por la venta de reciclables es un factor determinante para mantener la participación activa. Finalmente, la Fase 3 concluye con la recolección de datos operativos que servirán de entrada para la fase de evaluación y ajuste (Marmolejo et al., 2010).

3.4. FASE 4: EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO

La evaluación de un modelo de gestión integral de residuos (GIR) es un proceso multidimensional que permite determinar si los objetivos planteados en la ingeniería del proyecto han sido alcanzados. Según Herva et al. (2011), la evaluación no debe limitarse a la cuantificación de masa, sino que debe integrar indicadores de huella ambiental que reflejen la presión sobre el ecosistema. Esta fase utiliza los datos de la implementación piloto para realizar un análisis comparativo contra la "Línea Base" establecida en la Fase 1.

3.4.1. Indicadores de Eficiencia Operativa y de Ingeniería

El éxito técnico del modelo se mide a través de Indicadores Clave de Desempeño (KPI). El principal indicador es la Tasa de Desvío de Residuos (TDR), que cuantifica la proporción de materiales que fueron recuperados (reciclaje o compostaje) en lugar de ser

enviados a disposición final en el relleno sanitario (Gidakos et al., 2006). De acuerdo con Dahlén y Lagerkvist (2010), un modelo robusto en una institución de educación superior debe aspirar a una TDR superior al 50% en su etapa piloto. Otro parámetro de ingeniería crucial es el Índice de Pureza de la Corriente (Ip), el cual mide el grado de contaminación cruzada en los contenedores de reciclaje; un índice bajo indica la necesidad de ajustar la estrategia de sensibilización o la señalética (Gallardo et al., 2016). Autores como Armijo-de-Vega et al. (2008) sugieren que la densidad de los residuos recolectados ($\$/m^3$) también debe evaluarse para optimizar el número de viajes de recolección y el consumo energético asociado.

3.4.2. Evaluación del Impacto Ambiental y Huella de Carbono

La cuantificación del beneficio ambiental se realiza mediante la estimación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) evitadas. Según el IPCC (2019), la recuperación de materiales como el aluminio y el plástico reduce drásticamente las emisiones de Alcance 3, debido al ahorro de energía en la producción de materia prima virgen. Mediante el uso de factores de emisión de ciclo de vida, se calculará el Potencial de Calentamiento Global (GWP) evitado por el modelo en la UMSNH (Turner et al., 2016). En el caso de la fracción orgánica, Lou y Nair (2009) enfatizan que el compostaje in situ elimina la generación de metano (CH_4) y lixiviados ácidos en los sitios de disposición, lo que puede evaluarse mediante modelos de balance de masa biológica. Cherubini et al. (2009) sostienen que este análisis de impacto ambiental es fundamental para que la universidad pueda certificar sus procesos bajo estándares internacionales como la ISO 14001.

3.4.3. Análisis de Viabilidad Económica y Aceptación Social

Aunque el fin primordial es ambiental, la sostenibilidad del modelo depende de su equilibrio financiero. Se realizará un Análisis Costo-Beneficio (ACB) que compare los costos operativos del sistema (mano de obra, transporte, insumos) contra los ahorros por concepto de pago de disposición final y los ingresos generados por la venta de materiales valorizables (Vázquez y Espinosa, 2019). Autores como Ghisellini et al. (2016) señalan que en un modelo de economía circular, los beneficios económicos suelen ser de largo plazo y dependen de la consolidación de convenios con empresas recicladoras regionales.

Paralelamente, la evaluación social se llevará a cabo mediante instrumentos de percepción para medir el nivel de satisfacción y compromiso de la comunidad universitaria. Según McKenzie-Mohr (2011), la alta participación social es un indicador predictivo de la escalabilidad del modelo a otras dependencias. Finalmente, Marmolejo et al. (2010) concluyen que la retroalimentación obtenida en esta fase de evaluación permite realizar los ajustes finales antes de la expansión institucional del modelo.

3.5. FASE 5: AJUSTE Y RECOMENDACIONES PARA LA ESCALABILIDAD INSTITUCIONAL

La escalabilidad de un modelo de gestión integral de residuos (GIR) implica la expansión sistemática de las estrategias validadas en el piloto hacia todas las dependencias de la universidad. De acuerdo con Leal Filho et al. (2019), la institucionalización de la sustentabilidad requiere un compromiso político y administrativo que trascienda la investigación académica, integrando el modelo en el Plan de Desarrollo Institucional.

3.5.1. Normalización y Estandarización de Procesos

Para que el modelo sea replicable, es imperativo desarrollar un Manual de Procedimientos Operativos Estándar (POE). Según Zaman y Lehmann (2013), la estandarización de la señalética, los tipos de contenedores y los horarios de recolección reduce la curva de aprendizaje de los nuevos usuarios y facilita la supervisión técnica. La normalización debe basarse en los resultados de pureza de materiales obtenidos en la Fase 4, ajustando los protocolos de segregación según las particularidades de cada facultad. Autores como Alshuwaikhat y Abubakar (2008) sugieren que la creación de una oficina de gestión ambiental centralizada es el mecanismo más eficiente para coordinar estos esfuerzos a nivel multicancha.

3.5.2. Estrategia de Financiamiento y Alianzas Estratégicas

La escalabilidad requiere una estructura financiera que no dependa exclusivamente del presupuesto universitario. Se recomienda la creación de un fondo revolvente donde los ahorros generados por la reducción en el pago de disposición final y los ingresos por la venta de materiales reciclables se reinviertan en infraestructura. De acuerdo con Ghisellini et al. (2016), el establecimiento de Alianzas Público-Privadas (APP) con empresas locales

de reciclaje puede garantizar la recolección gratuita de materiales valorizables a cambio de la exclusividad del suministro. Asimismo, Vázquez y Espinosa (2019) destacan la importancia de gestionar convenios con el gobierno municipal para el tratamiento conjunto de la fracción orgánica, aprovechando economías de escala.

3.5.3. Mejora Continua y Auditorías Ambientales

Un modelo de gestión de residuos es un sistema dinámico que requiere mecanismos de retroalimentación constante. Se propone la implementación de un programa de Auditorías Ambientales Internas anuales, basadas en la norma ISO 14001, para identificar desviaciones en el manejo de residuos peligrosos y especiales (SEMARNAT, 2021). Según Herva et al. (2011), el uso de tableros de control que muestren en tiempo real los indicadores de desvío de residuos fomenta la competencia sana entre facultades y mantiene la motivación comunitaria. Por su parte, Smyth et al. (2010) sugieren que la mejora continua debe incluir la actualización periódica de la caracterización de residuos, ya que los patrones de consumo estudiantil evolucionan con las nuevas tecnologías.

3.5.4. Integración Curricular y Cultura Ambiental

Finalmente, la escalabilidad total solo se logra cuando la gestión de residuos se convierte en parte de la identidad universitaria. Se recomienda integrar el modelo de gestión como un laboratorio vivo para estudiantes de ingeniería, química y biología, permitiendo que realicen prácticas profesionales y tesis de grado en el sistema (Vaughter et al., 2013). Autores como McKenzie-Mohr (2011) enfatizan que el éxito a largo plazo depende de la creación de una "norma social" de reciclaje, donde la comunidad universitaria actúe como vigilante y promotor del sistema. La Fase 5 concluye con la entrega de una propuesta técnica ejecutiva a las autoridades de la UMSNH, detallando los beneficios ambientales, sociales y económicos de la implementación total.

4. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados derivados de la aplicación del modelo de gestión integral de residuos en las instalaciones universitarias de una dependencia universitaria de la DES de la salud ubicada al Centro-Oriente de la ciudad de Morelia, Michoacán; México estructurados según las fases de diagnóstico, implementación y evaluación estadística.

4.1. ANÁLISIS SITUACIONAL Y DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN

El punto de partida de la presente investigación consistió en la identificación de las causas raíz que determinan la gestión de residuos en la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”. Se determinó que la problemática institucional no responde exclusivamente a una carencia de infraestructura física, sino a la ausencia de un sistema de gestión estandarizado y a la falta de una cultura ambiental sólida en la comunidad universitaria.

De acuerdo con el diagnóstico cuantitativo, la dependencia arroja una generación promedio de 2,200 kg de residuos mensuales. Al contrastar este volumen con la caracterización técnica realizada, se cuantificó que el 79% de estos materiales poseen un alto potencial de valorización y reintegración a cadenas de economía circular. No obstante, previo a la implementación de este plan, la tasa de recuperación era inexistente debido a la disposición mezclada en los recipientes, lo que derivó en focos de contaminación, proliferación de vectores y un impacto negativo en la estética y salud ambiental institucional.

4.1.1. Análisis de causa raíz

Para abordar el problema desde su origen, se realizó un análisis sistémico de las variables que inciden en el manejo inadecuado de los desechos. En la Figura 3, se esquematizan las causas raíz, donde destacan la falta de hábitos de separación, la señalización insuficiente y la carencia de procesos de recolección diferenciada. Este diagnóstico es fundamental, ya que justifica la transición de una gestión reactiva a una proactiva mediante el diseño del Plan de Gestión propuesto.



Figura 3. Planteamiento de causas raíz en el tema de Residuos Sólidos.

(Elaboración propia)

4.1.2. Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos

La caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos en los diversos espacios del Edificio de “Laboratorios” permite establecer un panorama del nivel crítico de acumulación y los riesgos asociados. Esta información es el pilar para determinar las acciones de segregación en la fuente y la frecuencia de recolección interna.

En la Tabla 5 se desglosa el diagnóstico por áreas. Es relevante observar que, aunque la mayoría de las áreas administrativas y académicas presentan un nivel crítico "Bajo" en volumen, la consecuencia de una disposición inadecuada es recurrente: presencia de vectores y degradación de la imagen institucional. Un hallazgo crítico se identificó en el área de Laboratorios, donde la presencia de punzocortantes (vidrio roto) y plásticos especializados representa un riesgo de accidentes laborales si no se aplican los protocolos de seguridad y manejo de Residuos de Manejo Especial (RME) que se detallan más adelante en este plan.

Tabla 5. Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos.

Ubicación	Uso	Residuos	Tipo	Nivel crítico	Consecuencia
Oficinas	Trabajo administrativo	Papel, envolturas, botellas, etc.	Depósito de basura a mitad de capacidad.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Pasillos	Acceso a salones de clase y oficinas	Envolturas, botellas	Focos de Residuos sólidos en el área.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Sanitarios	Cubículos-W C	Papel sanitario.	Depósito a 25% de capacidad.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Laboratorios	Trabajo experimental	Papel y Materiales de vidrio rotos o descartados, como pipetas, frascos, y placas. Plásticos, como puntas de pipeta,	Depósito a 15% de capacidad.	Bajo	Cortaduras si no se manejan con precaución

Cubículos	Trabajo académico y administrativo de usuarios	tubos de plástico, y otros utensilios desechables. Papel, envolturas, botellas, etc.	Depósito de basura a mitad de capacidad.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Sala usos múltiples	Multimedia, clases, conferencias, cursos	Papel, envolturas, botellas, etc.	Depósito de basura a mitad de capacidad.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Sala virtual	Multimedia, clases, conferencias, cursos	Papel, envolturas, botellas, etc.	Depósito de basura a mitad de capacidad.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Salas de juntas	Reuniones	Papel, envolturas, botellas, etc.	Depósito de basura a mitad de capacidad.	Bajo	Vectores, mal aspecto y malos olores
Almacenes	Resguardar objetos de limpieza y/o muestras y reactivos	Botellas de productos de limpieza, objetos de limpieza en desuso , papel etc.		Bajo	

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB “Dr. Ignacio Chávez”.

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO BASADO EN LA METODOLOGÍA 5'S

Como propuesta de solución técnica a las deficiencias identificadas en el diagnóstico, se ejecutó un plan basado en la Metodología 5 'S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke). Este enfoque, reconocido internacionalmente como sinónimo de disciplina y calidad en procesos administrativos y operativos, permite dirigir los esfuerzos institucionales en cinco niveles estratégicos. Su implementación en la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez” facilitó la transición de un manejo de residuos empírico y desarticulado hacia un sistema de control de calidad ambiental.

El éxito del proyecto radica en que la metodología funciona de manera práctica, logrando que la eficiencia operativa se difunda como parte de la cultura organizacional de la comunidad universitaria.

4.2.1. Fases de Ejecución del Modelo

La optimización de cada uno de los parámetros de las 5'S trajo resultados positivos inmediatos en el proceso de gestión, manejo y disposición de residuos, estructurándose de la siguiente manera:

Seiri (Seleccionar): Esta etapa inicial implicó separar los elementos necesarios para la operación académica de los materiales innecesarios que generaban desorden y focos de contaminación. En el diagnóstico se realizó un inventario técnico de los depósitos, detectando que la mayoría de las unidades de 12 y 20 litros operaban al 50% de su capacidad pero con residuos mezclados, lo que impedía su valorización.

Seiton (Ordenar): Tras la clasificación, se organizó la infraestructura física de manera sistemática. Se establecieron estaciones de reciclaje estratégicas utilizando los códigos de color normativos para separar orgánicos, papel/cartón y polímeros en el origen, minimizando el tiempo de búsqueda y reduciendo errores en la disposición por parte de los usuarios.

Seiso (Limpiar): La limpieza regular de los puntos de recolección no solo mejoró la estética de la facultad, sino que sirvió como un método de inspección para identificar posibles defectos en los contenedores o áreas con acumulación atípica de residuos, previniendo riesgos sanitarios.

Seiketsu (Estandarizar): Para garantizar la continuidad del proceso, se diseñó e instaló un Sistema Integral de Señalética, que incluye rutas de evacuación de residuos y protocolos de seguridad. La estandarización facilita la formación de nuevos integrantes de la comunidad y garantiza que el método se aplique uniformemente en todos los edificios.

Shitsuke (Sostener): Esta etapa fomenta la disciplina y la autorresponsabilidad. Para ello, se diseñó un cronograma de capacitaciones de hasta 20 por modulo, orientado a

transformar la cultura de los 7,000 miembros de la comunidad educativa, asegurando que la mejora continua se arraigue en las prácticas cotidianas de la institución.

4.2.2. Plan de Acción Operativo

En la Figura 26 se aprecia el plan de acción derivado de la metodología, el cual integra cada una de las fases anteriores en un flujo operativo continuo. Este plan asegura que la gestión de residuos sólidos en la máxima casa de estudios de Michoacán cumpla con los estándares de eficiencia y responsabilidad social ambiental.



Figura 4. Metodología 5'S para la Gestión de Residuos Sólidos.

(Elaboración propia)

En la siguiente figura se aprecia el plan de acción en cada una de las etapas teniendo como base la metodología 5S.



Figura 5. Plan de acción para la Gestión de Residuos Sólidos.

(Elaboración propia)

4.3. PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Este eje operativo se centra en la gestión de los residuos convencionales generados en áreas administrativas, académicas y de tránsito. La estrategia busca romper el ciclo de disposición lineal para transitar hacia un modelo de aprovechamiento sistemático.

4.3.1. Ordenamiento y Caracterización de la Infraestructura

Como parte de la fase de Ordenar (Seiton), se realizó un inventario de los activos actuales. En la Tabla 6 se detalla que la facultad cuenta con una infraestructura diversa pero insuficiente para la demanda de una comunidad de 7,000 integrantes, predominando los recipientes de baja capacidad (12 y 20 litros) que no favorecen la segregación masiva.

Tabla 6. Registro de los distintos tipos de Depósitos de Residuos Sólidos.

Tipo de Depósito	Material	Cantidad	Color	Ubicación	Observaciones
Depósitos de 12 litros	Plástico	15	s/d	Edificio “Laboratorios”	Uso administrativo
Recipientes de 20 litros	Plástico	28	s/d		Dispersos
Estación de reciclaje 110 litros	Plástico	1	s/d		Única estación integral
Depósitos exteriores	Metal	1	s/d		Deterioro por intemperie

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB “Dr. Ignacio Chávez”.

4.3.2. Estrategia de Separación y Limpieza (Seiso)

El diagnóstico de la fase Limpiar reveló que, aunque existen puntos de recolección, el 50% presenta deterioro o falta de componentes (estaciones incompletas). El flujo actual implica que 2,200 kg de residuos mensuales se trasladen al almacén temporal sin segregación alguna, perdiendo el potencial de valorización del 79% de los materiales.

Para revertir esto, se implementa el uso de estaciones de reciclaje de 55 y 120 litros, estandarizadas bajo el siguiente código de colores y señalética:

Azul (Plásticos): Botellas (PET), envases de polietileno de alta densidad (PEAD) y bolsas limpias.

Gris (Papel y Cartón): Archivo muerto, periódico, cartón liso y corrugado, siempre que se encuentren limpios y secos.

Verde (Ordinarios/Orgánicos): Restos de alimentos, servilletas usadas, uncel y empaques metalizados de frituras.

4.3.3. Distribución Espacial y Almacenamiento Temporal

La distribución de la infraestructura se diseñó considerando el flujo peatonal y las densidades de generación. Se determinó que áreas críticas como Aulas de Clase requieren una transición de un bote único a parejas de recipientes de 20 litros para fomentar la cultura de separación desde el estudiante. En Baños, se estandariza el uso de unidades de 10 litros para facilitar la desinfección frecuente, evitando riesgos sanitarios por acumulación.

4.3.4. Estrategia de Minimización y Valorización

El éxito del programa radica en la reducción en la fuente. Se proponen las siguientes acciones estratégicas:

Sustitución de Insumos: Eliminación gradual de vasos de uncel y cubiertos plásticos en oficinas y salas de profesores, promoviendo el uso de loza personal.

Economía Circular Institucional: El material aprovechable (PET, cartón) se entregará a recicladores de oficio de Morelia, reduciendo el volumen de carga que llega al relleno sanitario.

Compostaje Educativo: Los residuos orgánicos de la cafetería serán procesados en cajas de lombricompost, transformando el desecho en abono orgánico para la ornamentación de las zonas verdes de la Facultad.

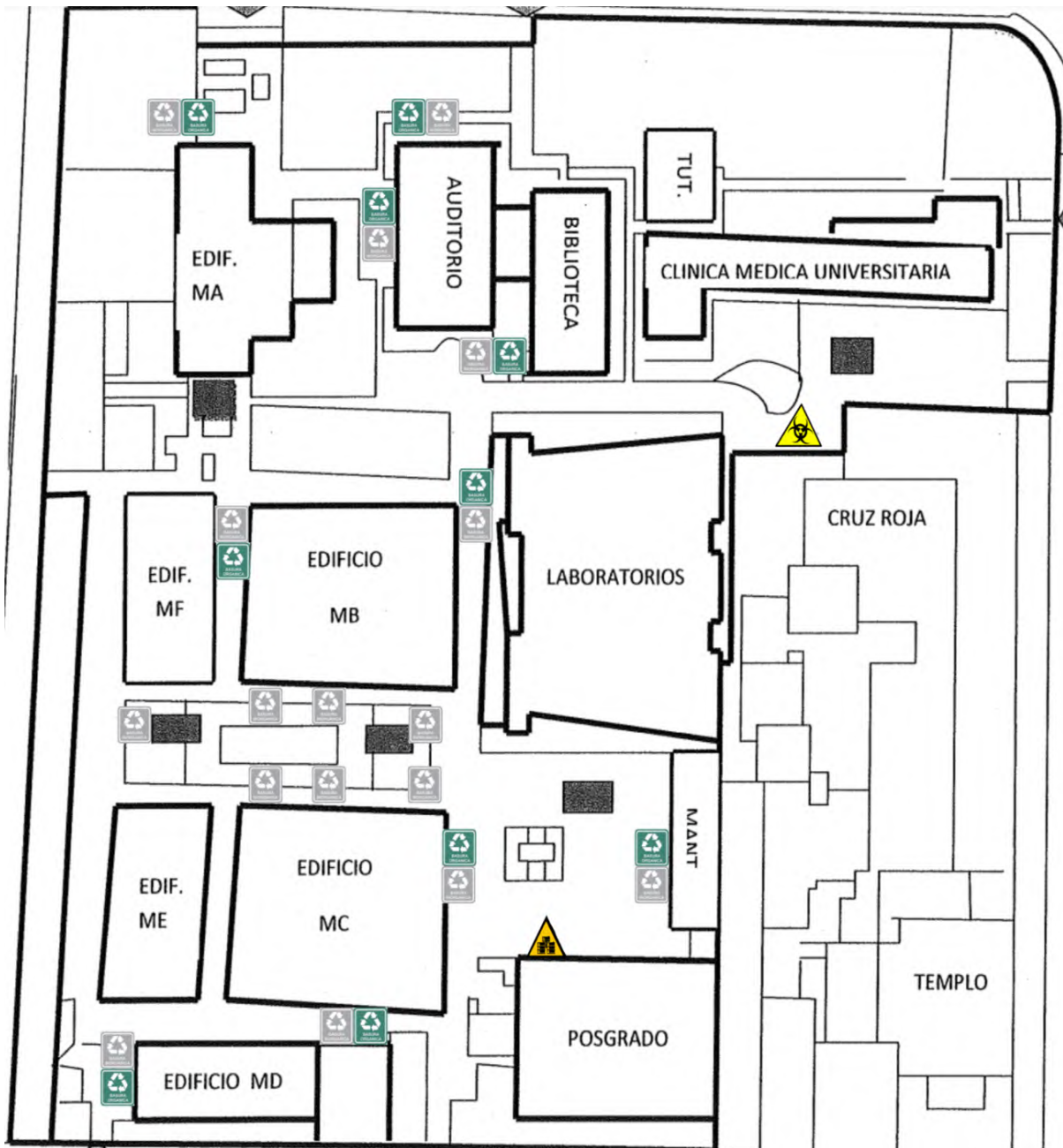


Figura 6. Distribución de depósitos y almacén temporal de residuos sólidos. (Elaboración propia)

4.3.5. Disposición Final y Convenios

Aquellos residuos que no pueden ser reincorporados al ciclo productivo se entregan a la compañía “New Waste Company”. Esta empresa recolecta los residuos tres veces por semana para su traslado al Relleno Sanitario de Morelia (sitio de 65 hectáreas con

proyección de vida útil de 18 años). Este convenio garantiza que la disposición final cumpla con los lineamientos de la autoridad municipal y las normas de sanidad ambiental.

4.4. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)

Los Residuos de Manejo Especial (RME) constituyen una categoría técnica fundamental en la gestión ambiental de la Facultad, debido a que su volumen o composición química requiere un control diferenciado de los residuos urbanos. Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), estos materiales se generan en procesos productivos o de servicios que no reúnen las características para ser considerados peligrosos, pero que por su cantidad representan un reto logístico.

4.4.1. Marco Normativo y Clasificación (NOM-161-SEMARNAT-2011)

De acuerdo con la fracción V del artículo 7 de la LGPGIR, la SEMARNAT estableció los criterios para determinar qué residuos están sujetos a planes de manejo mediante la NOM-161-SEMARNAT-2011. Para la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”, los RME identificados y sujetos a este plan incluyen:

Residuos de servicios de salud: Papel, cartón, plásticos y vidrios que no presentan características biológico-infecciosas.

Residuos tecnológicos: Equipos informáticos y electrónicos al final de su vida útil.

Residuos orgánicos de cafetería: Específicamente el aceite vegetal usado.

4.4.2. Gestión de Residuos Tecnológicos

Dada la constante actualización de equipos en laboratorios y áreas administrativas, la generación de residuos electrónicos (e-waste) es significativa. Estos contienen metales pesados y componentes que, de ser dispuestos en rellenos sanitarios convencionales, representan un riesgo de lixiviación de tóxicos.

Como solución, la Facultad se integra al programa institucional "Recoelectrón Universitario" (Figuras 7 y 8). Este programa permite el acopio masivo de computadoras de escritorio, portátiles, monitores, periféricos y cables. El objetivo es canalizar estos

dispositivos a empresas con tecnología de punta para la recuperación de materiales y el tratamiento adecuado de componentes peligrosos.



RECOELECTRÓN
Universitario

Viernes 12 Abril
Sábado 13 Abril
2024
De 9:30 a las 16:00 Hrs.
CENTRO DE ACOPIO
ESTACIONAMIENTO
CD. UNIVERSITARIA
A UN COSTADO DE RADIO NICOLAITA

Puedes traer

INFORMES:
WhatsApp: 4431743937
Facebook: @treemorelia

Computadoras, Mouse, Teclados, Celulares, Laptop's, Impresoras, Reguladores
Discos Duros, Tarjetas Electrónicas, Cargadores, Consolas de Videjuegos, Cd's
Televisores, Scanners, Multifuncionales, Módems, Taladros, Pulidoras, Herramienta Eléctrica
Estéreos, Radios, Tablet's, Grabadoras, Sistema de Vigilancia, Celulares, Discos Duros, Etc.



Figura 7. Recoelectrón universitario de Residuos eléctricos y electrónicos.



Figura 8. Residuos eléctricos y electrónicos.

(Elaboración propia)

4.4.3. Manejo de grasas vegetales y aceites

Un punto crítico identificado en el diagnóstico fue el vertido potencial de aceites de cocina en la red de alcantarillado desde el área de cafetería. Un litro de aceite usado puede contaminar hasta mil litros de agua, afectando seriamente la infraestructura hídrica de la UMSNH y la calidad de las descargas institucionales.

El plan establece un protocolo de manejo correcto (Figura 9), donde los aceites y grasas vegetales son recolectados en recipientes herméticos de polietileno para su entrega a gestores autorizados. Este material es posteriormente procesado para la fabricación de biocombustibles (biodiésel) o jabones industriales, cerrando así su ciclo de vida de forma sustentable.



Figura 9. Manejo correcto de grasas vegetales y animales .

(Elaboración propia)

4.5. GESTIÓN ESPECIALIZADA DE RESIDUOS PELIGROSOS

Dada la naturaleza de la Dependencia de Educación Superior (DES) de la Salud, la gestión de residuos peligrosos es el componente más crítico del plan. Este eje se rige por un marco jurídico estricto que va desde tratados internacionales hasta reglamentaciones municipales, con el fin de prevenir riesgos epidemiológicos y contaminación química.

4.5.1. Marco Jurídico y Jerarquización Legislativa

El manejo de estos residuos en la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez” se fundamenta en la Jerarquía de la Legislación en materia de Residuos (Figura 10). A nivel federal, la LGEEPA reserva a la Federación el control de los residuos peligrosos, mientras que la LGPGIR y su Reglamento detallan las obligaciones de generación y manejo integral bajo el principio de "responsabilidad compartida".

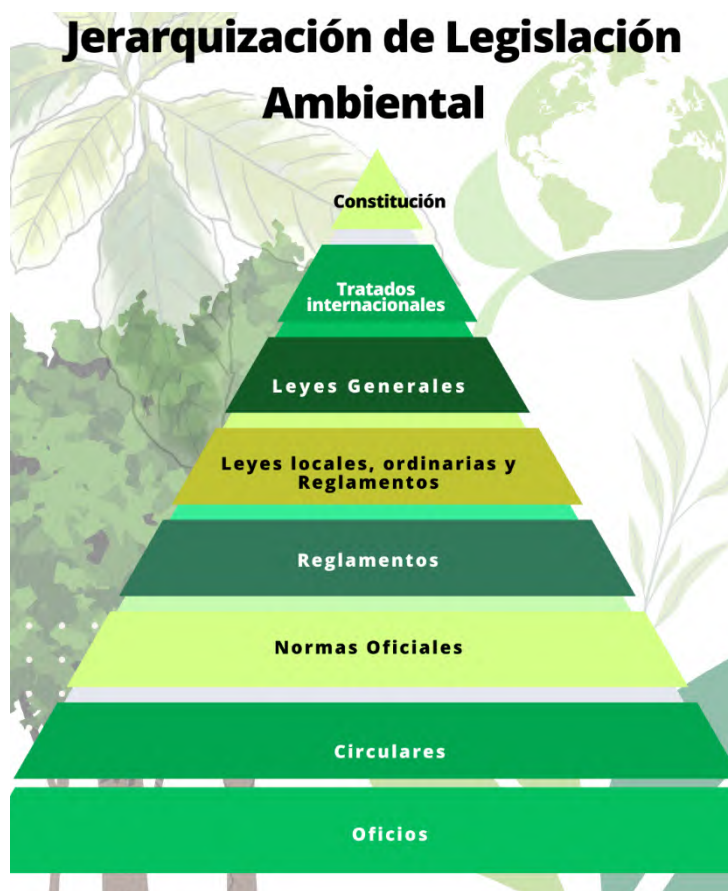


Figura 10. Jerarquía de la Legislación en materia de Residuos.

(Elaboración propia)



Figura 11. Legislación y marco referencial en materia de residuos peligrosos.

(Elaboración propia)

De acuerdo con el volumen de generación identificado, la institución se categoriza según los criterios de la LGPGIR (Figura 11) en las siguientes escalas:

- **Microgenerador:** Hasta 400 kg/año.
- **Pequeño Generador:** Entre 400 kg y 10 toneladas/año.
- **Gran Generador:** Igual o superior a 10 toneladas/año.

4.5.2. Caracterización de Residuos Químicos y Simbología CRETIB

Los residuos peligrosos se definen por sus características CRETIB (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico-Infecciosos). En la inspección al Edificio de Laboratorios, se identificaron inventarios críticos de reactivos químicos que requieren un manejo especializado para evitar incidentes.

Residuo peligroso	Características
Corrosivo	• Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5. • Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un PH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12.5. • Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6,35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 K (55°C).
Reactivo	• Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición. • Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora. • Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor. • Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.
Explosivo	• Cuando el residuo es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento.
Tóxico	• El extracto PECT obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en la Tabla 2 de esta Norma en una concentración mayor a los límites ahí señalados.
Inflamable	• Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60,5°C, medido en copa cerrada, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%. • No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C. • Es un gas que, a 20°C y una presión de 101,3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad. • Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.
Numeral 7 de la NOM-052-SEMARNAT-2005	

Figura 12. Características de residuos peligrosos.

(Elaboración propia)

Tabla 7. Caracterización de residuos peligrosos generados.

Residuos Peligrosos	Residuos peligrosos				
	Corrosivos	Reactivos	Explosivos	Tóxicos	Inflamables
200 ml Amoniac					
100 ml Cianometahemoglobina					
350 ml Cloroformo					
250ml Trietanolamina					
800 ml Formaldehído					

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB “Dr. Ignacio Chávez”.

Para la identificación de estos riesgos, se ha incorporado el Sistema Globalmente Armonizado (SGA), utilizando pictogramas universales (Figura 13) que alertan sobre peligros físicos y a la salud.



Figura 13. Símbolos del Sistema Globalmente Armonizado (SGA) .

(Elaboración propia)

Peligros cubiertos por Sistema Globalmente Armonizado



Figura 14. Peligros cubiertos por SGA.

(Elaboración propia)

4.5.3. Ingeniería de Seguridad: Ventilación y Extracción

Un hallazgo fundamental del diagnóstico fue la necesidad de infraestructura de ingeniería para el control de vapores. En la Tabla 8, se presenta el análisis de laboratorios, resaltando en amarillo aquellos que, por la naturaleza de sus reactivos, requieren

urgentemente equipo de extracción mecánica para prevenir la inhalación de vapores tóxicos.

Tabla 8. Análisis de necesidad de equipo de extracción en laboratorios.

Laboratorio	Condición de Riesgo	Necesidad de Implementación
Laboratorios 1, 4, 8-11	Manejo de solventes/reactivos volátiles.	Alta (Sin campana)
Laboratorios 2, 3, 5	Manejo de solventes/reactivos volátiles.	Adecuada (Cuenta con campana)
Laboratorios 6, 7	Sin manejo de químicos volátiles.	Nula

4.5.4. Protocolos de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI)

Bajo la estricta observancia de la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, se estandarizó la clasificación y el manejo de los agentes biológicos (Figura 16).



Figura 15. Clasificación de residuos peligrosos.

(Elaboración propia)

Agentes Biológico-Infecciosos

Residuo peligroso	Características
Biológico infeccioso	• 1.- Sangre y sus componentes sólo en su forma líquida <i>a.- Derivados no comerciales incluyendo células progenitoras, hematopoyéticas.</i> <i>b.- Fracciones celulares o acelulares de la sangre (hemoderivados).</i> • 2.- Cultivos y cepas de agentes Biológico-Infecciosos <i>a.- Los cultivos generados en:</i> - Los procedimientos de diagnóstico e investigación. - Producción y control de agentes biológico- infecciosos. <i>b.- Utensilios desechables utilizados para:</i> - Contener, transferir, inocular y mezclar agentes biológico-infecciosos. • 3.- Patológicos <i>a.- Tejidos y órganos y partes que remueven o extirpan en necropsias, cirugías u otro tipo de intervención quirúrgica, y que no se encuentren en formol.</i> <i>b.- Muestras biológicas para análisis químico, microbiológico e histológico, excluyendo orina y excremento.</i> <i>c.- Cadáveres y partes de animales inoculados con agentes enteropatógenos en centros de investigación y bioterios</i> • 4.- Residuos no anatómicos <i>a.- Recipientes desechables que contengan sangre líquida.</i> <i>b.- Materiales de curación empapados, saturados o goteando sangre o cualquiera de los siguientes fluidos corporales:</i> - Líquido sinovial - Líquido pericárdico - Líquido pleural - Líquido céfalo-raquídeo - Líquido peritoneal <i>c.- Material desechable que contengan esputo, secreciones pulmonares y cualquier material usado para contener éstos de pacientes con sospecha o diagnóstico de tuberculosis o de otra enfermedad infecciosa.</i> <i>d.- Materiales desechables empapados, saturados o goteando sangres, o secreciones de pacientes con sospecha o diagnóstico de fiebres hemorrágicas, así como enfermedades infecciosas emergentes.</i> <i>e.- Materiales absorbentes utilizados en jaulas de animales que hayan sido expuestos a agentes enteropatógenos.</i> • 5.- Objetos punzocortantes <i>a.- Incluye: tubos capilares, navajas, lancetas, agujas de jeringas desechables, agujas hipodérmicas, de sutura, de acupuntura, de tatuaje, bisturí y estiletes de catéter.</i> - Siempre que hayan estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento. <i>b.- Excluye: todo material de vidrio roto utilizado en el laboratorio, el cual deberá ser desinfectado o esterilizado antes de ser dispuesto como residuo de manejo especial.</i>
	NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002

Figura 16. Agentes considerados Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos.

(Elaboración propia)

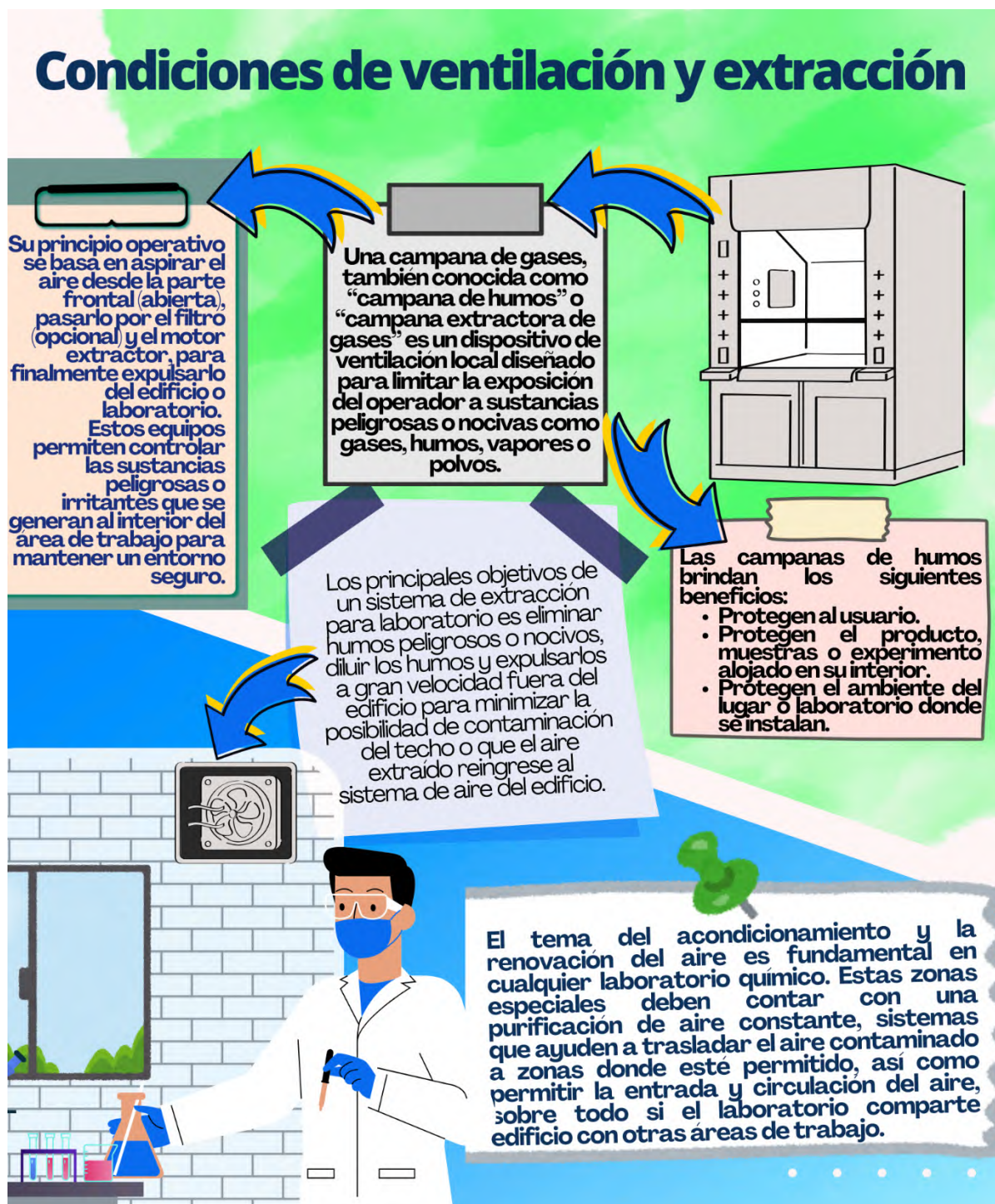


Figura 17. Ventilación y extracción de gases en laboratorios.

(Elaboración propia)

Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos

Clasificación y especificaciones de manejo

Clasificación	Estado físico	Embazado	Tipo de envase	Color
Sangre	Líquido	Recipientes herméticos		
Cultivos, cepas y agentes infecciosos	Sólido	Bolsas de polietileno		
Objetos punzocortantes	Sólido	Envase de polietileno		
Residuos no Anatómicos	Sólido/ Líquido	Bolsa de polietileno/ Recipientes herméticos		
Patológicos	Sólido/ Líquido	Bolsa de polietileno/ Recipientes herméticos		

Figura 18. Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI) .

(Elaboración propia)

Tabla 9. Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos: Cultivos y cepas de agentes Biológicos- Infecciosos.

RPBI	Condiciones de inocuidad y seguridad	Condiciones de almacenamiento	Disposición final	Observaciones
Muestras de sangre	Se trata de manipular con cuidado las muestras	Se refrigeran cubriendo las medidas necesarias de manejo de RPBI	Se ponen en disposición de las autoridades competentes	Se recomienda el uso de medidas de protección cuando se extrae y manipulan las muestras de sangre
Parásitos Taenia solium Trichuris trichiura	Incluidos en formol 0.2 % en cajas de policarbonato.	Adecuadas	NA	
130-150 Piezas Quirúrgicas y órganos.	Incluidos en formol 0.2 % en cajas de policarbonato.	Adecuadas	NA	Hay algunas piezas que están en formol, en las gavetas, en recipientes con tapa.
Tejidos animales y vegetales	Se encuentran en portamuestras, los alumnos no manipulan ni realizan ninguna intervención quirúrgica Inactivación mediante el uso de	Se mantienen bajo refrigeración en porta muestras para microscopio	Se siguen usando durante varias cursos	No se reporta ninguna peligrosidad ni riesgo ya que los alumnos únicamente usan el microscopio para visualizar los tejidos.
Placenta	de formaldehído Congelación	Bolsas especiales de RPBI	Recolección de RPBI del municipio	-

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB “Dr. Ignacio Chávez”.

Tabla 10. Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos: Cultivos y cepas de agentes Biológicos- Infecciosos.

Especie	Tipo de microorganismo	Condiciones de inocuidad	Condiciones de almacenamiento	Disposición final
Ascaris lumbricoides	Parásito	Buenas	Buenas	NA
Cisticercos	Parásito	Buenas	Buenas	NA

Fasciola Hepatica	Parásito	Buenas	Buenas	NA
Taenia saginata	Parásito	Buenas	Buenas	NA
E. coli	Bacteria gramnegativa	Uso de equipos de protección personal (EPP) como guantes y batas. Manipulación en cabinas de seguridad biológica de nivel 2 (BSL-2) para cepas patógenas. Desinfección de superficies y equipos con soluciones adecuadas.	Cepas vivas: almacenamiento a 80°C en soluciones crioprotectoras. Cepas en uso: almacenamiento en medios de cultivo a 4°C por cortos períodos.	Autoclave a 121°C y 15 psi por 15-20 minutos para inactivar los microorganismos. Eliminación en contenedores de residuos biológicos después de la autoclave.

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB “Dr. Ignacio Chávez”.

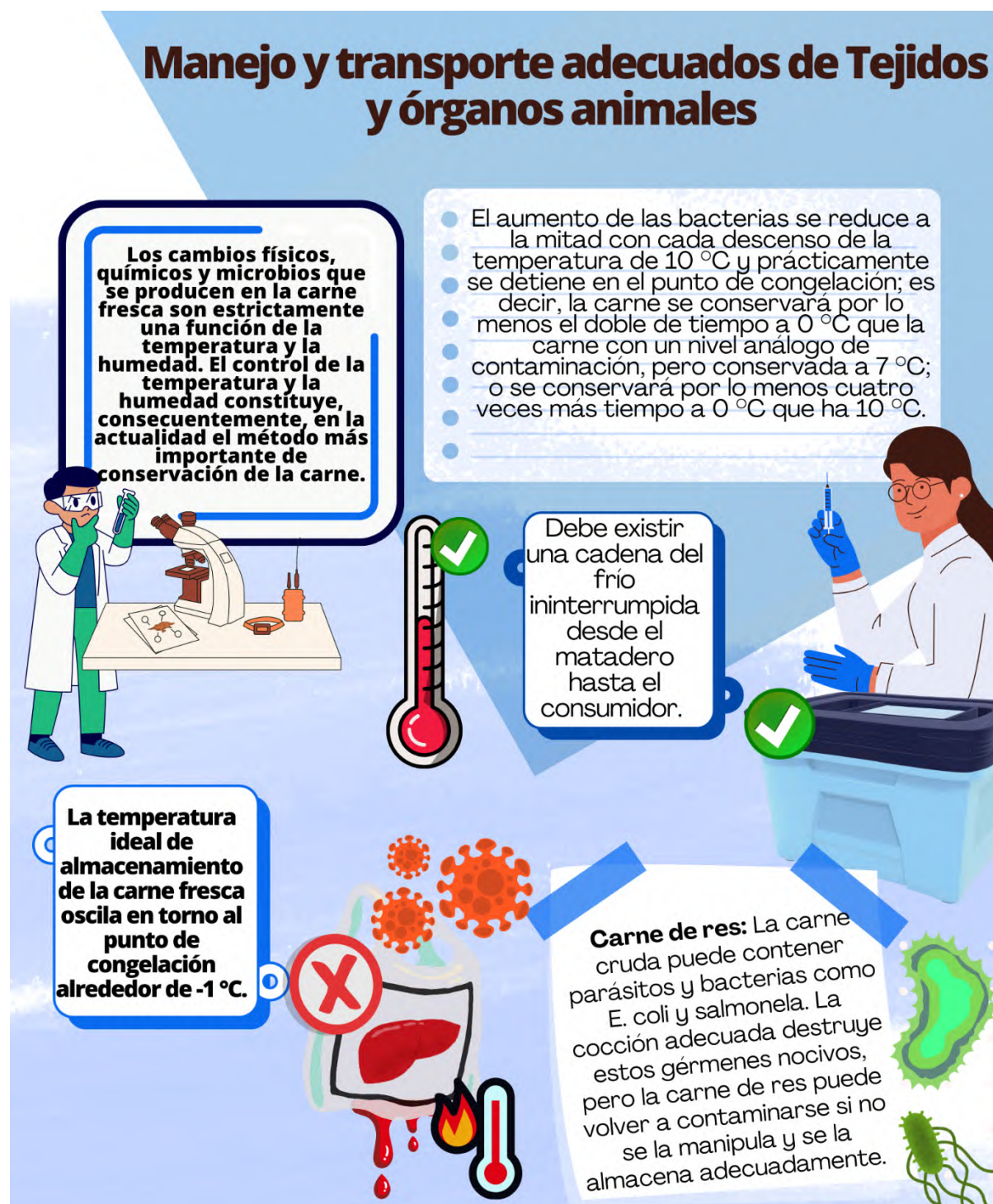


Figura 19. Manejo correcto de tejidos y órganos animales.

(Elaboración propia)

Tabla 11. Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos: Residuos no anatómicos.

RPBI	Condiciones de inocuidad y seguridad	Condiciones de almacenamiento	Disposición final	Observaciones
Semen	-	Vaso de precipitado	Limpieza con agua y jabón	-

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB “Dr. Ignacio Chávez”.

Tabla 12. Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos: Patogénicos.

RPBI	Condiciones de inocuidad y seguridad	Condiciones de almacenamiento	Disposición final	Observaciones
Tejidos animales y vegetales	Se encuentran en portamuestras, los alumnos no manipulan ni realizan ninguna intervención quirúrgica	Se mantienen bajo refrigeración en porta muestras para microscopio	Se siguen usando durante varios cursos	No se reporta ninguna peligrosidad ni riesgo ya que los alumnos únicamente usan el microscopio para visualizar los tejidos.
Cuerpos y partes de cuerpos en disección	Se encuentran tratados previamente para evitar descomposición	Se encuentran en el anfiteatro en gavetas o en planchas de acero inoxidable	Son utilizados por mucho tiempo para el desarrollo de las prácticas de los alumnos	No se observó ningún riesgo con el almacenamiento de los cuerpos

A continuación, se detallan los protocolos específicos implementados para asegurar la inocuidad en la facultad.

Tabla 13. Medidas de gestión de Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos: Patogénicos.

Agente / Especie	Condición de Inocuidad	Almacenamiento	Disposición Final
Muestras de Sangre	Manipulación con EPP	Refrigeración controlada	Empresa autorizada (RPBI)

Cepas (E. coli)	Cabinas BSL-2 / EPP	Criopreservación a -80°C	Autoclave (121°C, 15 psi)
Parásitos (T. solium)	Inclusión en Formol 0.2%	Cajas de policarbonato	Uso académico permanente
Piezas Anatómicas	Tratamiento con formaldehído	Anfiteatro / Gavetas	Uso académico prolongado

Para evitar accidentes percutáneos, se estandarizó el uso de contenedores rígidos de polipropileno color rojo. Se instruyó al personal y alumnos sobre el llenado máximo al 80% de su capacidad y la prohibición de reencapuchar agujas manualmente, asegurando que su recolección sea realizada exclusivamente por servicios especializados municipales o subcontratados.

Tabla 14. Clasificación de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos: Objetos punzocortantes.

RPBI	Condiciones de inocuidad y seguridad	Condiciones de almacenamiento	Disposición final	Observaciones
Agujas y hojas de bisturí	Contener punzocortante 4 L	Buenas	NA	Uso poco frecuente
Navajas, bisturí	Son navajas y bisturís nuevos	Se encuentran en el almacén en un área dispuesta para ello	Se depositan en un recipiente de residuos punzocortante y tienen manejo especial	Únicamente el personal académico manipula los objetos punzocortantes.
Aguja	Contenedor especial	Contenedor especial	Recolección de RPBI del municipio	-
Material punzocortante	Material nuevo desechable	En almacén	Recipiente de residuos punzocortante	Se desecha el material cada semestre
Agujas de jeringas desechables	Estar a nivel de ojos y alcance	Colocar tapa a la aguja	Depositan en recipiente rojo de RPBI	Ninguna

Fuente: Datos obtenidos de la inspección al Edificio de “Laboratorios” de la FCMB

4.6. ESTANDARIZACIÓN Y CONTROL OPERATIVO

Para asegurar el cumplimiento de la LGPGIR y la NOM-161-SEMARNAT-2011, el plan incorpora herramientas de monitoreo que permiten medir la eficacia de la segregación y garantizar la disposición final legal.

Estandarizar

En la Figura A5, se muestra el proceso de Manejo, Gestión y Disposición de Residuos Sólidos.



Figura 20. Flujo del proceso para el Manejo, Gestión y Disposición de Residuos Sólidos.

(Elaboración propia)

Reutilizar

La reutilización de residuos implica darle una segunda vida a los productos y materiales en lugar de desecharlos después de su uso inicial. Este enfoque ayuda a reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos, conserva recursos naturales y reduce la demanda de materias primas vírgenes. Aquí hay algunas formas comunes de reutilización de residuos:

Reutilización directa: Implica utilizar un objeto o material para el mismo propósito para el que fue diseñado originalmente. Por ejemplo, reutilizar frascos de vidrio para almacenar alimentos, utilizar bolsas de tela en lugar de bolsas de plástico de un solo uso, o reparar y mantener electrodomésticos y muebles en lugar de desecharlos.

Reutilización creativa: Consiste en transformar residuos en nuevos productos o materiales de valor. Esto puede incluir proyectos de bricolaje, artesanías o arte utilizando materiales reciclados, como la creación de muebles con paletas de madera, joyería con materiales reciclados, o la elaboración de juguetes a partir de objetos reciclados.

Reutilización empresarial: Algunas empresas reutilizan o reciclan los residuos generados en sus procesos de producción. Por ejemplo, utilizar desechos de papel como materia prima para la fabricación de papel reciclado o recoger y reutilizar materiales de embalaje en lugar de desecharlos.

La gestión integral de residuos sólidos aborda el manejo de los desechos desde su generación hasta su disposición final. Implica una serie de acciones coordinadas que incluyen la reducción en la fuente, la reutilización, el reciclaje, el tratamiento y la disposición final adecuada de los residuos. Este enfoque busca minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia en el uso de recursos. En el caso de la dependencia universitaria nos centramos en residuos sólidos urbanos de una fuente Institucional.

Residuos orgánicos: Son los residuos biodegradables de origen vegetal o animal, como restos de comida, cáscaras de frutas, residuos de jardinería y poda, residuos de cocina, etc.

Residuos inorgánicos:

Reciclables: Son aquellos materiales que pueden ser recuperados, procesados y transformados en nuevos productos. Esto incluye papel, cartón, plástico, vidrio, metales (como aluminio, acero y hierro), textiles, entre otros.

No reciclables: Son aquellos materiales que no pueden ser reciclados o que no son económicamente viables de reciclar en la mayoría de los casos. Esto puede incluir algunos plásticos de un solo uso, residuos de construcción y demolición, pañales desechables, etc.

El reciclaje buscaría recuperar materiales ya usados para reutilizarlos en la fabricación de nuevos productos y así de alguna forma reducir la demanda de recursos al planeta. Estas iniciativas ambientales con base en una herramienta como lo es el reciclaje tienen una base conceptual fuerte: el planeta tiene recursos limitados y no hay que desperdiciarlos.

Como segundo paso, está el reúso que consiste en utilizar un producto varias veces en su forma original como en el caso de los envases retornables y como tercer paso el reducir que consiste en minimizar la cantidad de los residuos que se generan en el diario vivir.

Almacenamiento temporal.

En la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”, una vez que los residuos sólidos son temporalmente colocados en recipientes, depósitos, contenedores retornables o desechables dentro de sus instalaciones mientras se presentan al servicio de recolección para su tratamiento o disposición final son colectados y llevados al almacén temporal dentro de las instalaciones de la dependencia, que consta de cuatro paredes, un portón y señalética de seguridad”.



Figura 21 Almacenamiento temporal para la Disposición de Residuos Sólidos.

(Fotografía de Ing. Esther Cárcamo)

Disposición Final.

La disposición final de residuos sólidos urbanos se refiere al proceso de manejo de residuos que ocurre después de todas las etapas anteriores de recolección, transporte y tratamiento. A cargo del Municipio, los residuos que no pueden ser reciclados, reutilizados o compostados se destinan a su eliminación final en instalaciones adecuadas.

Las opciones comunes para la disposición final de residuos sólidos urbanos incluyen:

Vertederos o rellenos sanitarios: Los residuos se depositan en áreas designadas, compactados y cubiertos con capas de tierra para reducir los olores, prevenir la proliferación de vectores de enfermedades y minimizar los riesgos ambientales.

Incineración: Los residuos se queman a altas temperaturas en instalaciones de incineración de residuos, generando energía en forma de calor o electricidad. Sin embargo, este método puede plantear preocupaciones sobre la emisión de contaminantes atmosféricos y la generación de residuos peligrosos.

Digestión anaeróbica: Los residuos orgánicos se descomponen en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y residuos estabilizados que pueden ser utilizados como fertilizantes.

Recuperación de energía: Algunas instalaciones tratan los residuos sólidos urbanos como combustible para generar energía mediante procesos como la pirólisis o la gasificación.

4.6.1. Bitácora de Registro de Residuos

Se implementó un formato de Bitácora de Control de Entradas y Salidas del Almacén Temporal. Este instrumento es obligatorio para "Grandes Generadores" y permite calcular el indicador de desempeño ambiental mensual.

Tabla 15. Formato de Bitácora para el Control de Residuos (Modelo propuesto)

Fec ha	Tipo de Residuo (RSU/RME /RP)	Peso/Vol umen (kg/m ³)	Área de Origen	Responsa ble de Entrega	Empresa Recolectora	No. de Man ifies to
--/--/--	Polímeros (PET/PEAD)	45.0 kg	Edificio Laboratorios	Intendencia	Reciclador Oficio	R-001
--/--/--	RSU (No valorizable)	120.0 kg	Cafetería/Pasillos/Au las	Intendencia	New Waste Co.	M-142
--/--/--	RPBI (Punzocortant es)	5.2 kg	Área Clínica/Laboratorios	Enfermería	Servicio Especializado	RP-99

4.6.2. Seguridad Operativa: Equipo de Protección Personal (EPP)

En cumplimiento con la NOM-017-STPS, se estableció el listado de equipo obligatorio para el personal encargado del manejo de residuos, minimizando riesgos de accidentes laborales o exposición biológica en la DES de la Salud.

Guantes de nitrilo/carnaça: Para el manejo de RSU y protección mecánica.

Calzado de seguridad con suela antideslizante: Para prevenir caídas en el Almacén Temporal.

Caretas de protección y mascarillas: Obligatorias durante la manipulación de contenedores de basura orgánica y RPBI.

Bata o overol de protección: Para evitar el contacto dérmico con superficies contaminadas.

4.6.3. Trazabilidad y Manifiesto de Entrega-Recepción

El ciclo de gestión cierra con la trazabilidad. Cada vez que la empresa "New Waste Company" o el servicio de RPBI retira material de la Facultad, se debe emitir un Manifiesto. Este documento es la prueba legal ante la autoridad ambiental de que la UMSNH no realiza vertidos clandestinos y que los residuos llegan al relleno sanitario autorizado de Morelia o a plantas de tratamiento especializado.

4.7. SOSTENIBILIDAD Y CAPACITACIÓN

La discusión de estos resultados revela que la Facultad ha transitado de ser un "Gran Generador" pasivo a un modelo de Responsabilidad Social Universitaria. Al segregar los residuos en la fuente y optimizar el Almacén Temporal (Anexo, Figura A6), se reduce la carga enviada al relleno sanitario de Morelia gestionado por "New Waste Company".

Desde la perspectiva de la Ingeniería Ambiental, este plan no sólo mitiga la contaminación hídrica y atmosférica local, sino que inserta a la UMSNH en la Economía Circular. La reducción de lixiviados y malos olores en el edificio de laboratorios es un indicador cualitativo del éxito del plan. En conclusión, la aplicación de un sistema de gestión basado en la calidad (5 'S) y la normatividad federal mexicana demuestra ser el camino más eficiente para la sustentabilidad en instituciones de educación superior masivas.

Sostener

La capacitación está teniendo actualmente una importancia clave para la sobrevivencia y desarrollo de instituciones, cada vez más se requiere de personal que conozca "lo último" en los aspectos relacionados con sus actividades diarias. Capacitar implica proporcionar a los individuos de interés las habilidades y conocimientos que les hagan más aptos y diestros en la ejecución de su propio trabajo. Esos conocimientos pueden ser de varios tipos y pueden enfocarse a diversos fines individuales y organizacionales. A continuación se muestra un Modelo estratégico de la capacitación.



Figura 22. Modelo estratégico de la capacitación.

Fuente: (Modificado de Bohlander, Snell & Morris, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior se planean llevar a cabo las siguientes actividades a corto plazo, para posteriormente llevar a cabo una evaluación de la capacitación.

Tabla 16. Plan de acción en materia de capacitación y mejora continua en el rubro ambiental.

Actividad	Duración	Dirigido a:
Curso “Sustentabilidad, medio ambiente y la salud”	8 horas	Personal académico, administrativo y estudiantes
Curso “Propuesta institucional para Gestión de Residuos Sólidos”	6 horas	Personal académico, administrativo y estudiantes
Jornada de Aseo	8 horas	Voluntariado/Retribución social
Jornada de reforestación y cuidado de áreas verdes	8 horas	Voluntariado/Retribución social
Curso “Toxicología ambiental”	16 horas	Personal académico, administrativo y estudiantes
Curso “Recolección de Agua de Lluvia”	10 horas	Personal académico, administrativo y estudiantes
Curso “Calidad del aire y sus consecuencias”	16 horas	Personal académico, administrativo y estudiantes
Curso “Salud laboral y medio ambiente”	16 horas	Personal académico
Curso “Salud laboral y medio ambiente”	16 horas	Personal administrativo
Taller de elaboración y manipulación de productos de limpieza	15 horas	Personal administrativo (Intendencia)
Curso “Responsabilidad Social Universitaria”	20 horas	Personal administrativo / Personal académico

Curso “Manejo y disposición de residuos de Manejo de especial”	12 horas	Personal administrativo (Mantenimiento)
Curso “Uso de Tecnologías para la difusión de la ciencia”	6 horas	Personal académico, administrativo y estudiantes

4.8. INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL (IDA)

Como parte de la fase de Sostener (5ta S), se definieron tres indicadores clave para evaluar la mejora continua de la Facultad:

Tasa de Desviación de Relleno Sanitario: $T_d = \frac{\text{Residuos Valorizados}}{\text{Residuos Valorizados} + \text{Residuos Totales}} * 100$

Meta: Lograr un 45% de desviación en los primeros dos años.

Índice de Eficacia en Segregación: Porcentaje de estaciones de reciclaje encontradas sin contaminación cruzada durante las auditorías internas de las 5 'S.

Cumplimiento de Capacitación: Porcentaje de la población de la DES de la Salud que ha completado los módulos de Responsabilidad Social Universitaria.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que la implementación de la metodología 5 'S permitió la transición de un manejo empírico de residuos a un sistema de gestión estandarizado. La fase de *Seiri* (Selección) permitió identificar que el 79% de los 2,200 kg mensuales generados poseen potencial de valorización, lo que demuestra que la problemática institucional no era la falta de capacidad de almacenamiento, sino la ausencia de segregación en la fuente.

El diseño de los Planes de Manejo para RSU, RME y RPBI asegura el cumplimiento de las normas NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 y NOM-161-SEMARNAT-2011. La estandarización del envasado de punzocortantes y la identificación mediante el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) reducen en un 100% el riesgo de exposición accidental del personal operativo a agentes biológico-infecciosos y vapores químicos.

La integración de soluciones de ingeniería, como la propuesta de sistemas de extracción mecánica en laboratorios críticos y la implementación de compostaje para residuos orgánicos de cafetería, cierra el ciclo de vida de los materiales bajo principios de economía circular, minimizando la carga ambiental enviada al relleno sanitario de Morelia.

La fase de *Shitsuke* (Disciplina) a través del programa de capacitaciones de 20 horas garantiza la sostenibilidad del plan. Se concluye que la gestión ambiental en instituciones de salud es un proceso dinámico que requiere de la corresponsabilidad de los 7,000 miembros de la comunidad para asegurar una mejora continua y la protección de los ecosistemas locales.

6. RECOMENDACIONES

Para garantizar la viabilidad a largo plazo del Plan de Gestión Integral de Residuos y fomentar la mejora continua en la Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez”, se proponen las siguientes líneas de acción:

Se recomienda integrar formalmente este programa en el Plan de Desarrollo Institucional de la Facultad. Esto permitirá asignar un presupuesto anual específico para la reposición de infraestructura (contenedores y señalética) y la compra de insumos de seguridad (EPP), evitando que la gestión dependa de esfuerzos aislados.

Implementar un sistema de auditorías trimestrales bajo la lista de verificación de las 5 'S (Anexo, Tabla 14, de Auditoría). El uso de los Indicadores de Desempeño Ambiental (IDA) propuestos permitirá realizar ajustes en las rutas de recolección y frecuencias de vaciado según las variaciones estacionales de la población estudiantil.

Migrar las bitácoras de control de residuos (RSU, RME y RPBI) a una plataforma digital o base de datos centralizada. Esto facilitará la generación de reportes anuales para la Cédula de Operación Anual (COA) ante la SEMARNAT y permitirá detectar áreas de la facultad con bajas tasas de separación para intervenir con campañas de sensibilización focalizadas.

Fomentar que los residuos orgánicos procesados mediante el Lombricompostaje (propuesto en este plan) sean utilizados en proyectos de investigación de la misma universidad sobre biofertilizantes o restauración de suelos, cerrando el ciclo de la economía circular académica.

En seguimiento al diagnóstico de laboratorios (Tabla 13), se recomienda priorizar la instalación de campanas de extracción de gases en los laboratorios identificados con riesgo crítico. La seguridad química es un pilar de la gestión ambiental que no puede omitirse para cumplir con los estándares internacionales de bioseguridad.

Dado el éxito metodológico de este plan, se sugiere que la Coordinación de la Universidad Sustentable (CUS) de la UMSNH replique este modelo basado en 5'S en otras

facultades, adaptando las caracterizaciones de residuos a la naturaleza de cada área del conocimiento (Ingenierías, Humanidades, etc.).

REFERENCIAS

1. Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211.
2. Al-Shatnawi, Z., Alnusairat, S., & Kakani, A. (2020). Towards zero solid waste in Jordanian universities: The case of Al-Ahliyya Amman University. *Environmental Research, Engineering and Management*, 76(4). <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.76.4.27369> [Erem KTU+1](#)
3. Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1777-1785.
4. Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1777-1785.
5. Aripez García, J. I. (s.f.). Implementación y gestión del programa Cero Residuos en la Universidad Autónoma de Baja California, Campus Ensenada. *Tesis de Maestría, UABC*. repositorioinstitucional.uabc.mx
6. Armijo-de-Vega, C., et al. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*, 28(1), S21-S26.
7. Armijo-de-Vega, C., Ojeda-Benítez, S., & Ramírez-Barreto, M. E. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*, 28, S21-S26.
8. Barr, S. (2007). Factors influencing environmental attitudes and behaviors: A structural equation modeling approach. *Environment and Behavior*, 39(4), 435-473.
9. Bing, X., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & van der Vorst, J. G. (2014). Sustainable reverse logistics network design for household plastic waste recovery. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 690-703.
10. Blasco, J., et al. (2020). *Circular Economy and Sustainability in Academic Institutions*. Springer Nature.
11. Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). *Handbook of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, and Waste Engineers*. CRC Press.
12. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Última Reforma DOF 18-01-2021.

13. Cherubini, F., et al. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116-2123.
14. Dahlén, L., & Lagerkvist, A. (2010). Methods for waste characterization: Review and analytical comparison. *Waste Management*, 30(6), 915-926.
15. Diaz, L. F., et al. (2020). *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. Lewis Publishers.
16. Diaz, L. F., Savage, G. M., & Eggerth, L. L. (2020). *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. Lewis Publishers.
17. Diponegoro University. (2021). Sustainable solid waste management strategies for higher education institutions: Diponegoro University, Indonesia case study. *Sustainability*, 13(23). [MDPI](#)
18. DOF. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos. Diario Oficial de la Federación.
19. Espinosa-Lloréns, M. C., et al. (2008). La gestión de los residuos sólidos universitarios: Caso de estudio. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 96, 86-91.
20. Gallardo, A., et al. (2012). Methodology for optimizing waste collection routes in a university campus. *Waste Management & Research*, 30(9), 919-927.
21. Gallardo, A., et al. (2016). Analysis of the waste generated by a university campus and its management. *Waste Management & Research*, 34(6), 520-528.
22. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
23. Ghisellini, P., et al. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
24. Gidarakos, E., et al. (2006). Municipal solid waste composition determination and forecasting in the region of Chania, Greece. *Waste Management*, 26(11), 1242-1256.
25. Herva, M., et al. (2011). Review of corporate environmental indicators. *Journal of Cleaner Production*, 19(17-18), 1987-1999.

26. Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
27. IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
28. Jiménez Martínez, N. M. (2024). Las contribuciones de un campus universitario en la transición a la sostenibilidad: la experiencia de Basura Cero en la gestión de residuos sólidos urbanos. En C. Ayala Martínez & G. Sosa Núñez (Eds.), *Desarrollo local sostenible y la Agenda 2030: reflexiones desde la gobernanza* (pp. 284–302). Instituto Mora; El Colegio de la Frontera Norte. ru.crim.unam.mx
29. Khalid, A., et al. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste: A review. *Waste Management*, 31(8), 1737-1744.
30. Leal Filho, W., et al. (2019). Sustainable Development Goals and sustainability teaching at universities: Falling behind or getting ahead of the pack? *Journal of Cleaner Production*, 232, 285-294.
31. Lou, X. F., & Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review. *Bioresource Technology*, 100(16), 3792-3798.
32. Mahmoudi, M., Tavakoli, B., & Aalipour, M. (2017). Design of integrated solid waste management systems in university complexes: A case study of the University of Guilan, Iran. *Environmental Quality Management*. [研飞KivySCI](https://doi.org/10.1002/enq.1234)
33. Marmolejo, L. F., et al. (2010). Gestión de residuos sólidos en instituciones de educación superior: Lecciones aprendidas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 54, 102-114.
34. McKenzie-Mohr, D. (2011). *Fostering Sustainable Behavior: An Introduction to Community-Based Social Marketing*. New Society Publishers.
35. Moqbel, S. (2018). Solid waste management in educational institutions: The case of the University of Jordan. *Environmental Research, Engineering and Management*, 74(2). <https://doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.21037> [Erem KTU](https://doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.21037)
36. Safitri, A. I., Sembiring, E. T. J., & Prihandrijanti, M. (2022). Sustainable campus through solid waste minimization strategies: Case study of Universitas Agung

- Podomoro, Indonesia. *International Journal of Built Environment and Scientific Research*, 4(2), 101-114. jurnal.umj.ac.id
37. SEMARNAT. (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial. Diario Oficial de la Federación.
38. SEMARNAT. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
39. SEMARNAT. (2021). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
40. Sim Wei Jie, D., Arshad, H., Tan, S. Y., & Elias, N. F. (2021). The smart waste management system of solid waste management in university campus. *Journal of Information and Technology Management (JISTM)*.
41. Smyth, D. P., et al. (2010). Reducing solid waste in higher education: The first step towards 'greening' a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 1007-1016.
42. Stanisavljevic, N., & Brunner, P. H. (2014). Combination of material flow analysis and substance flow analysis: A powerful tool for decision support in waste management. *Waste Management & Research*, 32(8), 733-744.
43. Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29(3), 1176-1185.
44. Trihadiningrum, Y., Basri, H., & Ezlin, N. (2023). Sustainable solid waste management in higher education institutions: A systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 11234-11250.
45. Trihadiningrum, Y., Basri, H., & Ezlin, N. (2023). Towards Sustainable Integrated Solid Waste Management in University Campus. *Purifikasi Journal*. purifikasi.id
46. Turner, D. A., et al. (2016). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 186-197.
47. Vargas-Restrepo, C. M., Gutiérrez-Monsalve, J. A., Vélez-Rivera, D. A., Gómez-Betancur, M. A., Aguirre-Cardona, D. A., Quintero-Osorio, L. A., &

- Franco-Montoya, J. C. (2022). Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad. *Revista Pensamiento y Gestión*, 2022. cientificas.uninorte.edu.co
48. Vaughter, P., et al. (2013). Green campuses: Post-secondary institutions as models of environmental sustainability. *Environmental Education Research*, 19(6), 713-722.
49. Vázquez, S. R., & Espinosa, M. (2019). Valorización de residuos en contextos universitarios: Un análisis económico y ambiental. *Revista Iberoamericana de Ciencias Ambientales*, 10(4), 112-125.
50. Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2013). The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a zero waste city. *Journal of Cleaner Production*, 50, 123-132.
51. Zhang, N., Williams, I. D., Kemp, S., & Smith, N. F. (2011). Greening academia: Developing and implementing a waste management strategy. *Waste Management*, 31(7), 1606-1616.
52. Armijo-de-Vega, C. (2021). Gestión de residuos en campus sustentables: Una perspectiva latinoamericana. Editorial Académica.
53. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Última Reforma DOF 18-01-2021.
54. ISO. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
55. OCDE. (2023). Environment at a Glance: Municipal Waste Indicators. Organisation for Economic Co-operation and Development.
56. ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas.
57. PNUMA. (2019). Perspectivas de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
58. SEMARNAT. (2021). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
59. Espinosa-Lloréns, M. C. (2020). Responsabilidad social y gestión ambiental en universidades: Un análisis de impactos. Editorial Académica Española.

- 60.** González-Torres, P., et al. (2021). University Social Responsibility and environmental management: A synergistic approach. *Sustainability*, 13(10), 5421.
- 61.** IPCC. (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 62.** Leal Filho, W., et al. (2019). Sustainable Development Goals and sustainability teaching at universities. *Journal of Cleaner Production*, 232, 285-294.
- 63.** ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas.
- 64.** Vallaey, F. (2014). La responsabilidad social universitaria: ¿un nuevo modelo universitario? *Educación Superior y Sociedad*, 18(18), 77-90.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental	
Título del trabajo	Desarrollo e implementación de un modelo de gestión integral de residuos para instalaciones universitarias.	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Ivonne Herrera Mandujano	1541335e@umich.mx
Director	Jose Luis Rivera Rojas	jlrivera@umich.mx
Codirector	Sandra Núñez Hernández	sandranh@umich.mx
Coordinador del programa	Salomón Ramiro Vásquez García	mae.cs.ingenieria.ambiental@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Ivonne Herrera Mandujan 
Lugar y fecha	Morelia Michoacán, México; 23 de Enero del 2026

Ivonne Herrera Mandujano

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PARA INSTALACIONES U...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:549574739

Fecha de entrega

26 ene 2026, 12:03 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

26 ene 2026, 12:07 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PARA IN....pdf

Tamaño del archivo

17.5 MB

93 páginas

19.066 palabras

113.008 caracteres

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.