



Estudio de casos

Caracterización, diseño y recuperación potencial de recursos residuales mediante un modelo integrado 5S: estudio de caso en una facultad de ciencias de la salud

Characterization, Design, and Potential Resource Recovery through an Integrated 5S Model: A Case Study in a Health Sciences Faculty

Iván Avila-Raya¹ , Martha Angélica Lemus-Solorio² , Luis Enrique Rosas-Avalos¹ , José Luis Rivera-Rojas² , Luis Jesús Villarreal-Gómez³ , María Esther Carcamo-Escalera¹ , Alfonso Lemus-Solorio⁴ 

¹División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria Edificio V2, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México

²Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas. Av. Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria Edificio B, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México

³Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Baja California. Unidad Valle de las Palmas. Blvd. Universitario #1000, C.P. 21500, Tijuana, Baja California México.

⁴Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas "Dr. Ignacio Chávez". Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Rafael Carrillo, Esq. Dr. Salvador González Herrejón S/N, Col. Bosque Cuauhtémoc. C.P. 58020. Morelia, Michoacán, México

Autor de correspondencia: Alfonso Lemus-Solorio, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Rafael Carrillo, Esq. Dr. Salvador González Herrejón S/N, Col. Bosque Cuauhtémoc. C.P. 58020. Morelia, Michoacán. Correo electrónico: 1209689x@umich.mx. ORCID: 0000-0003-2736-5600.

Recibido: 30 de abril del 2026

Aceptado: 14 de septiembre del 2026

Publicado: 1 de octubre del 2026

Resumen. - Este estudio de caso reporta el desarrollo y la evaluación de un modelo integrado de gestión de residuos basado en la metodología 5S para una facultad de ciencias de la salud de una universidad pública del centro de México, donde coexisten flujos de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos biológico-infecciosos. La investigación siguió un diseño de caso único que comprendió diagnóstico de línea base, caracterización técnica de los residuos, diseño de un modelo operativo estructurado en torno a las cinco etapas 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke), implementación piloto y evaluación. El diagnóstico estimó una generación aproximada de 2,200 kg de residuos al mes en condiciones de disposición mezclada y recuperación efectiva nula, mientras que la caracterización mostró que hasta el 79% del flujo tenía potencial de recuperación si se aplicaba una segregación adecuada. El modelo tradujo cada etapa 5S en acciones concretas de gestión de residuos, incluidas estaciones con código de color, rutas internas, criterios de almacenamiento temporal, señalización de peligro basada en el Sistema Globalmente Armonizado, contenedores diferenciados para residuos biológico-infecciosos y registros básicos. La evaluación se centró en el orden operativo, la efectividad de la segregación, la seguridad y la alineación regulatoria con las normas mexicanas (NOM-161-SEMARNAT-2011 y NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002). La intervención produjo una arquitectura operativa coherente que convierte el potencial de recuperación identificado en práctica rutinaria, al tiempo que redujo los riesgos de exposición y mejoró el cumplimiento normativo. La principal contribución es un marco replicable y de bajo costo a escala de facultad que conecta los objetivos de sostenibilidad del campus con las operaciones diarias, particularmente en entornos académicos del área de la salud de instituciones públicas con recursos limitados en América Latina.

Palabras clave: Sostenibilidad en el campus; Gestión integral de residuos; Metodología 5S; Residuos biológico-infecciosos; Economía circular; Educación superior.

Abstract. - This case study reports the development and assessment of a 5S-based integrated waste management model for a public university health sciences faculty in central Mexico, where municipal, special handling and biological-infectious hazardous waste streams coexist. The research followed a single-case design comprising baseline diagnosis, technical waste characterization, design of an operational model structured around the 5S methodology (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke), pilot implementation and evaluation. The diagnosis estimated a generation of approximately 2,200 kg of waste per month under mixed-disposal conditions and zero effective recovery, while characterization showed that up to 79% of the stream had recovery potential if segregation were properly applied. The model translated each 5S stage into concrete waste-management actions, including colour-coded stations, internal routes, temporary storage criteria, hazard signage based on the Globally Harmonized System, differentiated containers for biological-infectious residues, and basic records. Evaluation focused on operational order, segregation effectiveness, safety and regulatory alignment with Mexican standards (NOM-161-SEMARNAT-2011 and NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002). The intervention produced a coherent operating architecture that converts the identified recovery potential into routine practice, while reducing exposure risks and improving compliance. The main contribution is a low-cost, replicable faculty-level framework that connects campus sustainability goals with daily operations, particularly in health-related academic settings of resource-constrained public institutions in Latin America.

Keywords: Campus sustainability; Integrated waste management; 5S methodology; Biological-infectious waste; Circular economy; Higher education.



1. Introducción

Cada vez se espera más que las instituciones de educación superior actúen como laboratorios vivientes de sostenibilidad. Su contribución no se limita a la docencia, la investigación y la vinculación; también depende del desempeño ambiental de los propios campus, incluidos el uso de energía, el consumo de agua, la movilidad, las compras y la gestión de residuos. Entre estos dominios operativos, la gestión de residuos es especialmente visible porque conecta la infraestructura, el mantenimiento, la salud pública, el cumplimiento legal y el comportamiento cotidiano de estudiantes, profesores, personal administrativo y proveedores de servicios [1], [2]. Los sistemas de residuos del campus a menudo se convierten en una prueba práctica de si los principios de sostenibilidad están realmente integrados en la vida institucional.

En la educación superior, los residuos rara vez son homogéneos. Oficinas, aulas, cafeterías, laboratorios, clínicas, eventos temporales y actividades de mantenimiento generan distintos materiales a ritmos diferentes. Los residuos sólidos urbanos pueden coexistir con residuos de manejo especial, como equipos eléctricos y electrónicos, aceite de cocina usado o materiales voluminosos, mientras que las unidades académicas del área de la salud también generan residuos peligrosos. Esta coexistencia complica la segregación, el transporte interno, el almacenamiento, el registro y la disposición final. En consecuencia, la sostenibilidad del campus no puede depender únicamente de campañas de concientización; requiere diseño operativo, responsabilidades claras, organización espacial y procedimientos exigibles [3].

Los estudios previos sobre gestión de residuos universitarios han documentado las cantidades y la composición de los residuos del campus, el papel de la educación ambiental y el potencial de reciclaje y reducción en la fuente. La literatura también muestra que la débil segregación en el punto de generación, la información de gestión limitada y las responsabilidades institucionales fragmentadas son barreras recurrentes para la mejora [4], [5], [6], [7]. Al mismo tiempo, son menos los casos que reportan modelos operativos integrados con gestión diferenciada para múltiples flujos de residuos, particularmente en instituciones públicas que operan con restricciones de recursos. En el sector salud, la combinación de 5S con enfoques Kaizen ha documentado mejoras medibles en la gestión de residuos hospitalarios en contextos de recursos limitados [18], [19].

Esta brecha es más aguda en entornos de ciencias de la salud. Las facultades de medicina y de ciencias biológicas combinan actividades académicas rutinarias con laboratorios, manejo de muestras, sesiones prácticas y materiales que pueden representar riesgos sanitarios. En estos entornos, los residuos no son únicamente un asunto de eficiencia en el uso de recursos; también son una cuestión de salud ocupacional, bioseguridad, prevención de riesgos ambientales y cumplimiento legal. La disposición mezclada puede convertir materiales que de otro modo serían recuperables en rechazos contaminados y también puede incrementar los riesgos de exposición para el personal de limpieza, los estudiantes y los manejadores externos. Por lo tanto, una intervención efectiva debe atender tanto los objetivos de sostenibilidad como los controles de seguridad mediante una única lógica operativa.

En México, este desafío está moldeado por un marco normativo robusto. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos establece responsabilidades diferenciadas, mientras que la NOM-161-SEMARNAT-2011 proporciona criterios para la clasificación y el manejo de los residuos de manejo especial, y la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 regula los Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI). En conjunto, estos instrumentos exigen que las organizaciones identifiquen sus flujos de residuos, los clasifiquen correctamente, establezcan procedimientos internos y garanticen un manejo y



una disposición final seguros [8], [9], [10]. Las universidades no son actores exentos; deben traducir las obligaciones legales en práctica rutinaria dentro del campus. A este marco se suma la NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece los criterios de clasificación de los residuos peligrosos [28], dentro del marco más amplio definido por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [29].

En este contexto, el presente estudio de caso desarrolla y evalúa un modelo integrado de gestión de residuos basado en la metodología 5S para una facultad de ciencias de la salud de una universidad pública del centro de México. El trabajo aborda una pregunta práctica: ¿cómo puede una facultad que genera residuos urbanos, de manejo especial y peligrosos transitar de la disposición mezclada y el control operativo limitado hacia un sistema estandarizado que favorezca la recuperación de materiales, reduzca las condiciones de exposición y fortalezca el cumplimiento normativo? Los objetivos específicos fueron (i) diagnosticar las condiciones de línea base, (ii) caracterizar el flujo de residuos, (iii) diseñar un modelo operativo estructurado en torno a los principios 5S, (iv) implementar medidas diferenciadas por tipo de residuo y (v) evaluar la contribución del modelo al potencial de recuperación, el orden, la seguridad y el cumplimiento.

La principal contribución del trabajo no es plantear una solución universal, sino mostrar cómo una filosofía de gestión consolidada puede traducirse en una intervención de sostenibilidad adaptada a las realidades de la educación superior. Al combinar las 5S, la caracterización de residuos, el diseño de rutas, la gestión visual y los protocolos específicos por flujo, el modelo propuesto ofrece un puente entre los objetivos de sostenibilidad del campus y las operaciones cotidianas concretas. Con ello, contribuye a la literatura sobre sostenibilidad operativa en la educación superior y proporciona una ruta práctica para instituciones similares en América Latina y otros contextos con recursos limitados [11], [12].

2. Materiales y métodos

2.1 Diseño de la investigación y contexto del caso

Este estudio siguió un diseño de investigación aplicada basado en un estudio de caso único. El caso fue una facultad de ciencias de la salud dentro de una gran universidad pública del centro de México. La unidad de análisis fue el sistema interno de gestión de residuos de la facultad, incluidos los puntos de generación, las áreas de almacenamiento, las rutas de recolección, la señalización, las rutinas operativas y los procedimientos específicos por flujo. Se consideró apropiado un diseño de caso único porque la investigación buscó comprender y rediseñar un sistema operativo complejo en su contexto institucional real, en lugar de aislar una variable bajo condiciones controladas. El caso es analíticamente valioso porque concentra varios tipos de residuos que con frecuencia se tratan por separado en la literatura: residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos biológico-infecciosos. Este diseño es consistente con los criterios metodológicos establecidos para la investigación de estudios de caso [24].

El proceso de investigación se organizó en cinco fases vinculadas: diagnóstico de línea base, diseño informado por el flujo de materiales, implementación piloto, evaluación de los efectos operativos y formulación de recomendaciones de escalamiento. Aunque se presentan de manera secuencial, estas fases interactuaron de forma iterativa. Las observaciones realizadas durante el diagnóstico orientaron el diseño del modelo; la implementación generó retroalimentación que condujo a ajustes en el almacenamiento, el control visual y la lógica de rutas; y la fase de evaluación sirvió para interpretar los resultados y para refinar la propuesta operativa.



2.2 Diagnóstico de línea base y caracterización de residuos

El diagnóstico de línea base se centró en comprender cómo se generaban, manejaban y almacenaban los residuos antes de la intervención. Se realizaron recorridos de campo en edificios de docencia, laboratorios, áreas administrativas, zonas de circulación, áreas comunes exteriores y sitios de almacenamiento temporal. Durante estos recorridos se documentaron el número y la condición de los recipientes de residuos, la presencia o ausencia de etiquetas, la distribución de los puntos de recolección, las condiciones de limpieza, la evidencia de disposición mezclada, los cuellos de botella en las rutas, la proximidad entre flujos ordinarios y peligrosos, y la idoneidad de los espacios de almacenamiento temporal. La observación directa se complementó con registros fotográficos e inspección de la infraestructura para identificar deficiencias físicas que afectaban la segregación y el manejo seguro.

Posteriormente se llevó a cabo la caracterización de los residuos con el propósito de estimar la magnitud, composición y distribución de los diferentes flujos generados en la facultad. El diagnóstico identificó una generación aproximada de 2,200 kg de residuos por mes. Para efectos del estudio, los residuos fueron diferenciados de acuerdo con sus características y requerimientos de manejo en tres categorías principales: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP), incluyendo los residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI). Los RSU correspondieron a los residuos generados en áreas administrativas, aulas, zonas comunes y otras actividades con características domiciliarias, e incluyeron fracciones potencialmente valorizables, principalmente papel, cartón y determinados plásticos, así como la fracción no valorizable.

Los RME comprendieron, entre otros, equipos eléctricos y electrónicos y aceite de cocina usado, mientras que los RP incluyeron residuos químicos generados en actividades de laboratorio y los RPBI asociados con las actividades académicas del área de la salud. Esta clasificación permitió establecer flujos diferenciados de acuerdo con sus características, riesgos y requerimientos técnicos y normativos de manejo.

La cuantificación de los residuos se realizó mediante [pesaje directo/registros institucionales] de las diferentes corrientes identificadas. Las masas obtenidas durante el periodo de caracterización se agruparon por categoría y fracción, y posteriormente se normalizaron a una base mensual (kg/mes). La participación relativa de cada fracción se calculó mediante:

$$Xi = \left(\frac{m_i}{m_T} \right) * 100 \quad (1)$$

donde (m_i) corresponde a la masa mensual de la fracción (i) y (m_T) a la masa mensual total caracterizada. El potencial de recuperación se calculó como:

$$P_R = \left(\frac{M_R}{M_T} \right) * 100 \quad (2)$$

donde M_R representa la suma de las fracciones susceptibles de valorización o canalización diferenciada y M_T la masa total caracterizada.



2.3 Diseño del modelo basado en 5S

La etapa de diseño tradujo los hallazgos del diagnóstico en un modelo de gestión integrado estructurado en torno a la metodología 5S. La elección de las 5S fue deliberada. Aunque a menudo se asocia con la manufactura o la gestión de la calidad, la metodología se adapta bien a la sostenibilidad operativa porque vincula el orden físico, las rutinas estandarizadas, el control visual y la disciplina.

En el presente caso, Seiri (clasificar) se utilizó para distinguir las categorías de residuos y eliminar contenedores obsoletos o inapropiados. Seiton (ordenar) guió la reubicación espacial de los puntos de recolección y la organización del almacenamiento temporal. Seiso (limpiar) abordó la lógica de limpieza y la eliminación de las fuentes de contaminación creadas por la disposición mezclada. Seiketsu (estandarizar) se utilizó para definir el código de color, las etiquetas, la señalización, los procedimientos de registro y las condiciones mínimas de manejo. Shitsuke (mantener) enfatizó la disciplina, la capacitación, la rendición de cuentas y la continuidad del sistema en el tiempo.

La Figura 1 resume cómo cada etapa 5S se tradujo en una acción operativa específica y en un efecto de gestión esperado dentro de la facultad. La adaptabilidad de las 5S más allá de la manufactura ha sido documentada específicamente en laboratorios universitarios [16], [17] y en establecimientos de salud con recursos limitados [18], apoyándose en los fundamentos originales de la metodología [14], [15], [30].



Figura 1. Etapas de la metodología 5S, acciones operativas y efectos esperados en el modelo integrado de gestión de residuos propuesto para la facultad de ciencias de la salud. *Fuente: elaboración propia de los autores.*

Cada etapa 5S se tradujo en acciones concretas de gestión de residuos, en lugar de aplicarse como un lema abstracto. La clasificación implicó la identificación de materiales prioritarios, la eliminación de recipientes redundantes y la diferenciación de los flujos urbano, de manejo especial y peligroso. El ordenamiento implicó decidir dónde debían colocarse los contenedores, cómo debían funcionar las rutas internas y qué



áreas debían servir como espacios de acumulación o almacenamiento temporal. La limpieza incluyó las condiciones de aseo y mantenimiento necesarias para evitar olores, fugas, contaminación o desorden. La estandarización introdujo reglas operativas y controles visuales para que acciones similares se repitieran de manera consistente. El mantenimiento incorporó las necesidades de capacitación, los registros básicos y las responsabilidades para preservar los avances más allá del periodo inicial de implementación.

A nivel de residuos sólidos urbanos, el diseño propuso estaciones con código de color para separar los residuos orgánicos de las fracciones recuperables, como plásticos, papel y cartón. Los criterios de ubicación consideraron la circulación peatonal, la densidad de actividad y la accesibilidad para el personal de limpieza. La intervención también incluyó el rediseño del almacenamiento temporal y el uso de etiquetas visibles para reducir la confusión sobre qué podía y qué no podía depositarse en cada recipiente.

2.4 Medidas operativas específicas por flujo

Para los residuos de manejo especial, el modelo incorporó vías diferenciadas de recolección y disposición. Los residuos eléctricos y electrónicos se trataron mediante una estrategia específica de recuperación y canalización vinculada a un programa de economía circular, mientras que al aceite de cocina usado se le asignó una ruta separada de contención y gestión. Estos flujos suelen descuidarse en los programas de campus que se concentran de manera estrecha en los reciclables ordinarios. Su inclusión fortaleció el carácter integrado del modelo y alineó la intervención con los requisitos más amplios de la gestión de residuos de manejo especial conforme a la regulación mexicana [9].

Los residuos peligrosos (RP), incluidos los residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI), requirieron una lógica de diseño más estricta. Aquí la intervención combinó la clasificación legal, el control visual y la ingeniería de seguridad. El modelo incorporó la comunicación de peligros basada en pictogramas del Sistema Globalmente Armonizado (SGA), contenedores diferenciados y protocolos para los Residuos peligrosos biológico-infecciosos, orientación sobre sustancias incompatibles y condiciones más seguras de almacenamiento temporal. El diseño también consideró las necesidades de ventilación y extracción en los entornos de laboratorio y reforzó el papel del equipo de protección personal, el acceso controlado y el registro en la cadena de manejo [10]. Estas medidas no se concibieron como tareas aisladas de cumplimiento, sino como componentes centrales de una operación de campus segura y sostenible. Estas decisiones de diseño se alinearon con la NOM-018-STPS-2015 para la comunicación de peligros químicos [27], con antecedentes de gestión de Residuos peligrosos biológico-infecciosos en hospitales [22] y con las guías internacionales para el manejo seguro de residuos de actividades sanitarias [25].

2.5 Criterios de evaluación

Para orientar la evaluación, el estudio priorizó criterios prácticos de desempeño en lugar de un modelado estadístico avanzado. Se utilizaron cuatro dimensiones: orden operativo, efectividad de la segregación, seguridad y alineación regulatoria. El orden operativo se refirió a la organización de los puntos de recolección, la claridad de las rutas, las condiciones de almacenamiento temporal y la continuidad del sistema. La efectividad de la segregación se refirió a la medida en que las fracciones recuperables podían separarse sin contaminación. La seguridad se refirió al manejo de los residuos peligrosos y biológico-infecciosos, la señalización y la reducción de riesgos para los manejadores. La alineación regulatoria se refirió a si el modelo respondía a los requisitos diferenciados aplicables a los flujos urbano, de manejo especial y peligroso. El potencial de recuperación, estimado mediante la caracterización, se utilizó como



un indicador adicional orientado a resultados. La traducción operativa de cada principio 5S y los productos correspondientes se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Traducción operativa de la metodología 5S en la intervención integrada de gestión de residuos.

Principio 5S	Traducción operativa en la facultad	Producto operativo principal
Clasificar (Seiri)	Diferenciar los flujos urbano, de manejo especial y peligroso; identificar materiales prioritarios; retirar recipientes redundantes o inadecuados.	Categorías de residuos claras y eliminación de la ambigüedad de la disposición mezclada.
Ordenar (Seiton)	Reubicar los puntos de recolección según el flujo peatonal y la densidad de generación; definir rutas internas y áreas de almacenamiento temporal.	Organización espacial más legible y mejor logística de recolección.
Limpiar (Seiso)	Introducir una lógica de limpieza para contenedores, puntos de recolección y áreas de almacenamiento, a fin de prevenir olores, fugas y contaminación.	Condiciones de operación más limpias, seguras e higiénicas.
Estandarizar (Seiketsu)	Aplicar código de color, etiquetas, señalización de peligro, reglas mínimas de manejo y registros básicos como bitácoras y manifiestos.	Procedimientos repetibles, control visual y mejor alineación regulatoria.
Mantener (Shitsuke)	Sostener el sistema mediante capacitación, responsabilidades, disciplina y rutinas de seguimiento que preserven las mejoras en el tiempo.	Continuidad operativa, rendición de cuentas y aprendizaje institucional.

Fuente: elaboración propia de los autores a partir del diagnóstico de campo y la caracterización de residuos.

Dado que el estudio buscó generar un modelo institucional utilizable, la implementación y la evaluación se conectaron deliberadamente. La arquitectura propuesta se examinó por su coherencia técnica y por su viabilidad dentro de las restricciones de una facultad de universidad pública. Esto significó privilegiar las mejoras organizativas de bajo costo, la gestión visual clara, la racionalización de rutas y los procedimientos estandarizados por encima de las soluciones altamente intensivas en capital.

3. Resultados

3.1 Condiciones operativas de línea base y caracterización

El diagnóstico de línea base reveló un sistema caracterizado por la disposición mezclada, la infraestructura desigual y el control operativo limitado. Los recipientes de residuos estaban deteriorados o distribuidos de manera inconsistente, las etiquetas eran inexistentes o insuficientes, y no había una relación coherente entre la ubicación de los contenedores y los patrones reales de uso en la facultad. En varias áreas, los residuos sólidos urbanos, los materiales potencialmente reciclables y los residuos que requerían manejo diferenciado convergían en la misma lógica de recolección. Esto dificultaba que los usuarios separaran los residuos correctamente y que el personal de limpieza preservara cualquier separación después de la recolección. El efecto global fue un sistema que parecía funcional en la superficie, pero que producía un pobre desempeño de sostenibilidad en la práctica.



La caracterización cuantitativa permitió desagregar la generación mensual estimada de 2,200 kg entre las diferentes corrientes identificadas. Los residuos sólidos urbanos (RSU) constituyeron la corriente predominante y estuvieron integrados por fracciones orgánicas, papel y cartón, plásticos, vidrio y metales, además de una fracción no valorizable. De manera complementaria, se identificaron residuos de manejo especial (RME), residuos peligrosos (RP) y residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI), cuyas cantidades y condiciones de manejo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización cuantitativa de las corrientes de residuos generadas en la facultad y su potencial de recuperación.

Categoría	Fracción	Generación (kg/mes)*	Participación (%)	Condición de manejo
RSU	Orgánicos susceptibles de aprovechamiento	700	31.82	Potencialmente valorizable
RSU	Papel y cartón	430	19.55	Potencialmente valorizable
RSU	Plásticos	330	15.00	Potencialmente valorizable
RSU	Vidrio y metales	160	7.27	Potencialmente valorizable
RSU	Fracción no valorizable	260	11.82	Disposición
RME	Equipos eléctricos y electrónicos	70	3.18	Recuperación/canalización
RME	Aceite de cocina usado	48	2.18	Recuperación/canalización
RP	Residuos químicos de laboratorio	142	6.45	Manejo especializado
RPBI	Residuos peligrosos biológico-infecciosos	60	2.73	Manejo especializado
Total		2,200	100.00	

Fuente: elaboración propia de los autores a partir de la caracterización de residuos.

* Estas cantidades individuales son una reconstrucción propuesta y deben sustituirse o validarse con sus registros originales antes de reportarlas como datos observados.

A partir de esta distribución, las fracciones susceptibles de valorización o canalización diferenciada representaron aproximadamente 1,738 kg/mes, equivalentes al 79 % del flujo total caracterizado. En contraste, las fracciones no valorizables y aquellas sujetas a manejo especializado representaron aproximadamente 462 kg/mes (21 %). Este resultado evidencia que el principal potencial de mejora se concentra en preservar la segregación de las fracciones valorizables desde el punto de generación y evitar su contaminación durante la recolección interna.

3.2 Segregación en la fuente y reorganización espacial

El primer resultado importante de la intervención fue la reorganización de la segregación en la fuente para los residuos sólidos urbanos. Se introdujeron estaciones con código de color para distinguir los plásticos recuperables, el papel/cartón y los orgánicos. Aunque tales sistemas son comunes en principio, su contribución en este caso provino de la forma en que se integraron en una lógica operativa más amplia. Los recipientes no se añadieron simplemente; se reubicaron estratégicamente, se estandarizaron y se conectaron con las rutinas internas de recolección. Esto redujo la ambigüedad sobre dónde debían depositarse los materiales y creó mejores condiciones para que el personal de limpieza preservara la segregación después del punto de generación.



Un segundo resultado se relacionó con el orden espacial del sistema. La redistribución de los puntos de recolección y la designación de áreas de almacenamiento temporal hicieron que el flujo de residuos fuera más legible y fácil de gestionar. Anteriormente, la colocación de los contenedores había evolucionado de manera reactiva y fragmentada. Bajo el nuevo modelo, la disposición espacial se trató como una variable operativa: los edificios, los patrones de circulación y el acceso de servicio se consideraron de forma conjunta para que el movimiento de los residuos pudiera seguir rutas internas más cortas, claras y seguras. Esto redujo el manejo innecesario, evitó el desbordamiento en algunas áreas y mejoró la trazabilidad desde los puntos de generación hasta el almacenamiento. La Figura 2 muestra la distribución espacial resultante de los puntos de recolección y las áreas de almacenamiento temporal en la facultad.

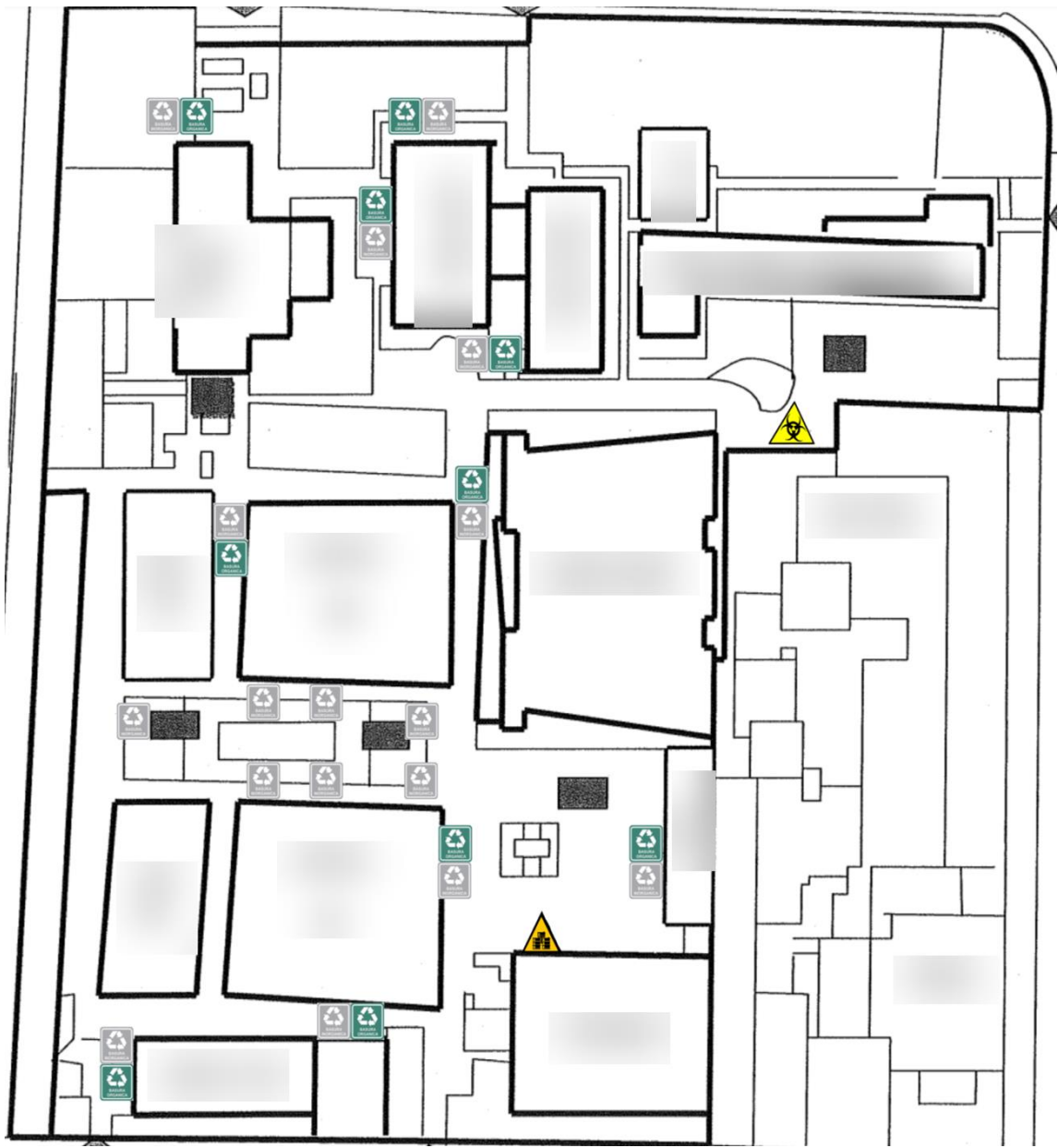


Figura 2. Distribución espacial de los puntos de recolección y las áreas de almacenamiento temporal en la facultad de ciencias de la salud tras la intervención. *Fuente: elaboración propia de los autores.*



3.3 Gestión diferenciada por flujo de residuos

La intervención también clarificó la arquitectura de gestión para los residuos de manejo especial. A los equipos eléctricos y electrónicos, que frecuentemente se acumulan en oficinas y áreas de almacenamiento cuando ocurren ciclos de reemplazo, se le asignó una ruta diferenciada vinculada a un programa de recuperación, en lugar de dejarlos al almacenamiento improvisado o la disposición ordinaria. El aceite de cocina usado proveniente de las actividades de servicio de alimentos también se separó del flujo urbano y se integró a una vía de gestión específica. Aunque estas fracciones representaban una proporción menor del flujo total de residuos caracterizado, su inclusión fue importante porque demostró que un modelo de gestión integral debe atender algo más que las fracciones valorizables generadas en aulas y pasillos.

Los resultados más sensibles se observaron en el flujo de residuos peligrosos, incluidos los RPBI. La intervención formalizó su manejo mediante etiquetas, símbolos de peligro, contenedores diferenciados y condiciones definidas de almacenamiento temporal. En los laboratorios y las áreas del área de la salud, el uso de gestión visual basada en el SGA fortaleció la comunicación sobre los riesgos químicos y mejoró la consistencia de las prácticas de manejo. Para los residuos biológico-infecciosos, el modelo introdujo una diferenciación más clara entre los tipos de residuos y reforzó la necesidad de manejo protegido, contención controlada y disposición conforme a la normativa. Estas medidas fueron relevantes para el cumplimiento legal y para la seguridad cotidiana de la comunidad del campus y del personal de limpieza. Esta comunicación visual basada en el SGA es congruente con los requisitos de la NOM-018-STPS-2015 [27].

3.4 Estandarización, continuidad y potencial de recuperación

Otro resultado importante fue la estandarización de los procedimientos operativos. Antes de la intervención, muchas acciones dependían de la experiencia personal o de rutinas informales. El modelo propuesto introdujo un lenguaje operativo común mediante etiquetas, código de color, lógica de rutas y registros básicos. Se propuso una bitácora de residuos para documentar los movimientos internos y el almacenamiento temporal, mientras que se definieron reglas mínimas para la condición de los contenedores, la higiene del almacenamiento y el equipo de protección personal. Esta estandarización ayudó a transformar la gestión de residuos de una serie de acciones desconectadas en un sistema organizado que podía supervisarse, auditarse y mejorarse con el tiempo.

La contribución de la lógica 5S fue especialmente visible en la transición de acciones correctivas aisladas a una secuencia coherente de mejora. Clasificar estableció qué pertenecía al sistema y qué no. Ordenar hizo que el sistema fuera espacialmente legible. Limpiar abordó las condiciones de aseo requeridas para la sostenibilidad y la higiene. Estandarizar convirtió las buenas prácticas en rutinas repetibles. Mantener vinculó el modelo con la capacitación, la disciplina y la continuidad institucional. La intervención produjo así una arquitectura operativa capaz de sostener el cambio de comportamiento, porque el propio entorno se volvió más claro y estructurado. Esta secuencia de mejora es consistente con los principios de mejora continua descritos en la literatura clásica de gestión de la calidad [26].

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el resultado cuantitativo más significativo siguió siendo la identificación de hasta un 79% del flujo con potencial de valorización o canalización diferenciada dentro del flujo diagnosticado. Esta cifra resignifica a la facultad: de ser meramente una generadora de residuos a ser un sitio de valor material no aprovechado. No obstante, el estudio también mostró que el potencial de recuperación solo es significativo cuando se apoya en condiciones organizativas. Sin segregación en la



fuelle, control de rutas y protocolos específicos por flujo, un alto potencial de recuperación permanece puramente teórico. El flujo operativo integrado del modelo propuesto (desde el diagnóstico y la intervención central hasta el manejo específico por flujo y los resultados) se representa en la Figura 3, mientras que la Tabla 3 resume las condiciones de línea base, las respuestas de la intervención y las implicaciones operativas esperadas en todas las dimensiones del sistema.

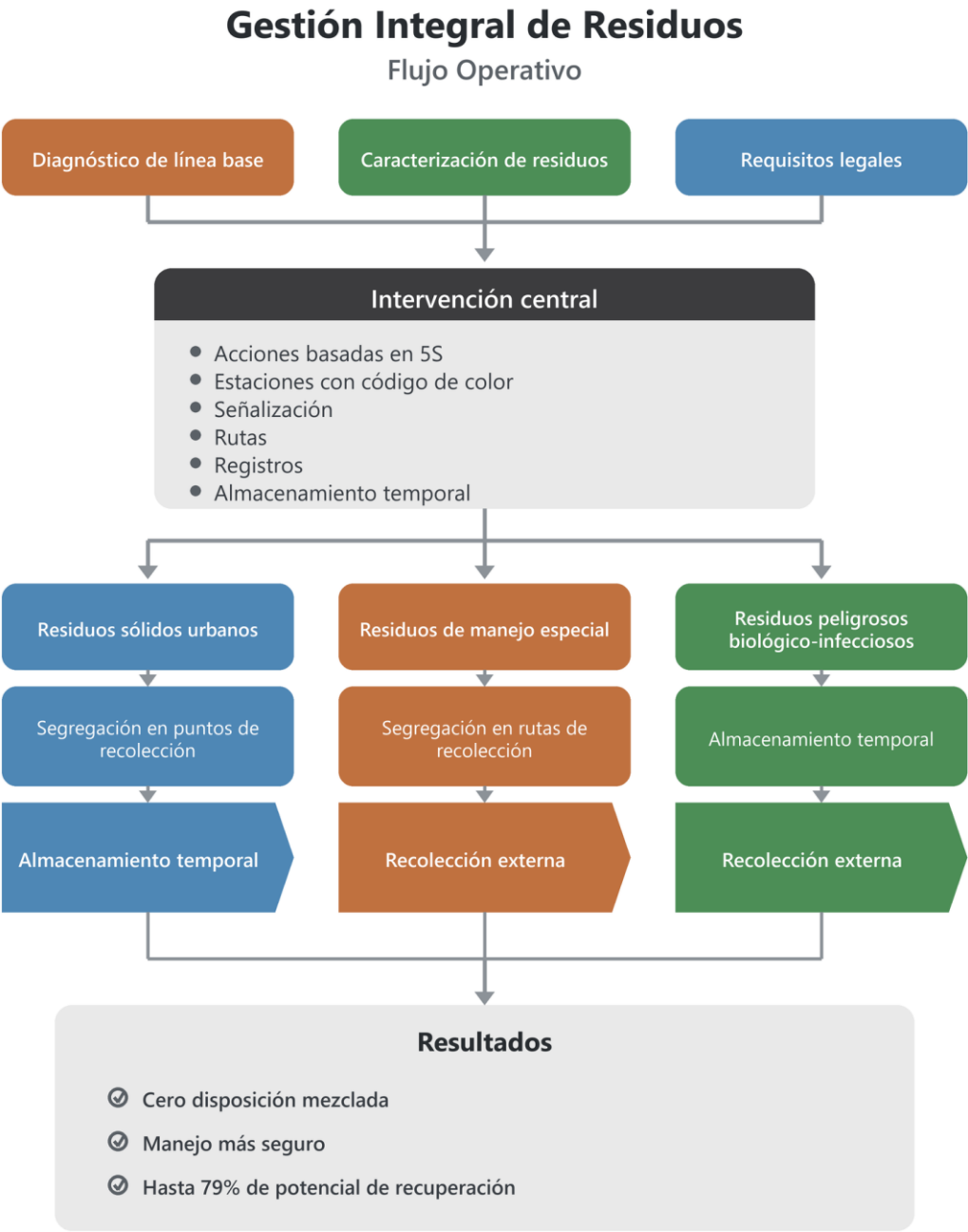


Figura 3. Flujo operativo integrado de la gestión de residuos en la facultad, desde el diagnóstico de línea base y la intervención central basada en 5S hasta el manejo específico por flujo y los resultados. *Fuente: elaboración propia de los autores.*



Tabla 3. Principales hallazgos de línea base, respuestas de la intervención e implicaciones operativas esperadas en los flujos de residuos y las dimensiones de control.

Dimensión	Condición de línea base	Respuesta de la intervención basada en 5S	Implicación esperada/observada
Flujo global	Aprox. 2,200 kg/meses gestionados bajo disposición mezclada y recuperación de materiales nula.	Diagnosticar la composición y reorganizar los flujos urbanos, de manejo especial y peligroso bajo un único modelo operativo.	Hasta 79% de material recuperable identificado cuando se aplica la segregación.
Residuos sólidos urbanos	Fracciones reciclables contaminadas por disposición mezclada; estaciones deterioradas o incompletas en algunas áreas.	Instalar estaciones con código de color, redefinir la ubicación de contenedores y mejorar el orden del almacenamiento temporal.	Fracciones más limpias y mayor viabilidad de recuperación.
Residuos de manejo especial	Los residuos eléctricos y electrónicos y el aceite de cocina usado carecían de vías diferenciadas.	Asignar rutas dedicadas de recolección, contención y canalización vinculadas a prácticas de economía circular.	Manejo más seguro y desvío de la disposición convencional.
Residuos peligrosos	Necesidad de un control más estricto de los residuos peligrosos en espacios de docencia y laboratorio.	Usar contenedores diferenciados, comunicación visual basada en el SGA, almacenamiento más seguro y requisitos de EPP.	Menor riesgo de exposición y mayor cumplimiento regulatorio.
Control y trazabilidad	Muchas acciones dependían de rutinas informales y evidencia documental limitada.	Introducir bitácoras, control de manifiestos y responsabilidades claras para la recolección y la entrega.	Cadena de manejo auditable y mejor rendición de cuentas institucional.

Fuente: elaboración propia de los autores a partir del diagnóstico de campo, el diseño operativo y los registros de implementación. RPBI = residuos peligrosos biológico-infecciosos; EPP = equipo de protección personal; SGA = Sistema Globalmente Armonizado.

4. Discusión

4.1 Sostenibilidad operativa en la educación superior

El caso contribuye a la literatura sobre sostenibilidad en la educación superior de tres maneras. En primer lugar, muestra que la gestión de residuos del campus debe analizarse como un sistema operativo y no solo como un asunto de educación ambiental. La concientización es importante, pero incluso los usuarios motivados tendrán dificultades para segregar correctamente si los recipientes están mal ubicados, las etiquetas son inconsistentes y las rutas internas recombina las fracciones separadas. El presente estudio respalda el argumento de que la infraestructura, las rutinas de trabajo y el control visual son componentes centrales de la sostenibilidad institucional, especialmente en organizaciones públicas grandes donde las operaciones diarias se distribuyen entre múltiples actores [4], [3].

En segundo lugar, el estudio ilustra el valor de adaptar una metodología de gestión familiar (las 5S) a un desafío de sostenibilidad universitaria. Los estudios previos sobre residuos en la educación superior a



menudo han enfatizado las auditorías, las campañas de concientización o las metas de reciclaje. La contribución aquí es mostrar cómo las 5S pueden funcionar como una lógica integradora que vincula el diagnóstico, el orden espacial, la limpieza, la estandarización y la disciplina. En lugar de importar las 5S de forma mecánica desde la manufactura, el modelo las utilizó como una manera de estructurar decisiones específicas del campus sobre categorías de residuos, puntos de recolección, rutas internas, almacenamiento temporal y medidas de cumplimiento. Esta trayectoria es coherente con experiencias reportadas de aplicación de las 5S y del enfoque Kaizen en hospitales públicos de países con recursos limitados [19], [20], [21].

En tercer lugar, el trabajo destaca la importancia de la gestión diferenciada en contextos educativos del área de la salud. Muchas iniciativas de residuos en el campus se concentran principalmente en los reciclables generales, lo cual es comprensible desde el punto de vista de la visibilidad. Sin embargo, las facultades de ciencias de la salud requieren arquitecturas de gestión más amplias, porque las fracciones urbanas recuperables coexisten con residuos químicos, residuos biológico-infecciosos y materiales de manejo especial. Tratar estos flujos dentro de un único modelo operativo ayuda a evitar un enfoque fragmentado en el que las acciones de sostenibilidad quedan desconectadas de la seguridad y el cumplimiento. Esta perspectiva integrada es especialmente relevante donde las actividades de laboratorio y los espacios de atención al público operan lado a lado.

4.2 Ecologización del campus, gobernanza y traducción regulatoria

Los hallazgos también resuenan con el trabajo sobre la ecologización del campus. Un campus más verde no se crea solo mediante compromisos simbólicos o campañas ocasionales; surge de los sistemas cotidianos que influyen en cómo circulan los recursos y se gestionan los riesgos [1], [2]. En este caso, el modelo propuesto contribuye a la ecologización del campus al reducir la disposición mezclada, aumentar la posibilidad de recuperación de materiales y hacer más visible y disciplinada la gestión de residuos peligrosos. Al mismo tiempo, respalda la responsabilidad social universitaria, porque protege a los trabajadores y estudiantes mientras demuestra una gestión ambiental responsable en un entorno de formación profesional.

Otro punto importante se refiere a la escala. Las estrategias a nivel de todo el campus suelen ser deseables, pero difíciles de diseñar e implementar en un solo paso, especialmente en universidades públicas con instalaciones diversas y restricciones presupuestales. El enfoque a nivel de facultad utilizado aquí ofrece una escala intermedia que es analítica y gerencialmente útil. Es lo suficientemente grande como para incluir múltiples flujos de residuos y actores organizativos, pero lo suficientemente pequeña como para permitir un diagnóstico y una implementación detallados. Por lo tanto, las intervenciones a nivel de facultad pueden servir como demostradores o bloques de construcción para estrategias institucionales más amplias, permitiendo a las universidades poner a prueba estándares, lógica de rutas y arreglos de gobernanza antes de intentar un despliegue a escala de todo el campus.

El estudio también muestra el papel de la regulación como una estructura habilitadora, más que como una mera carga de cumplimiento. La NOM-161-SEMARNAT-2011 y la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 establecen obligaciones diferenciadas, pero esas obligaciones no producen automáticamente buenas operaciones. El caso muestra que la regulación se vuelve más efectiva cuando se traduce en reglas operativas simples y visibles, en línea con la lógica de los sistemas de gestión ambiental [13]. El código de color, la señalización, los contenedores dedicados, el almacenamiento protegido y los registros básicos



no son añadidos burocráticos; son los mecanismos operativos mediante los cuales los requisitos legales se vuelven accionables en la práctica diaria. Esto es importante para las instituciones públicas que pueden percibir las exigencias regulatorias como imposiciones externas en lugar de criterios de diseño para sistemas más seguros y sostenibles.

4.3 Relevancia para la economía circular y limitaciones

Desde una perspectiva de economía circular, el trabajo aporta matices a la idea de recuperación. La recuperación a menudo se plantea como un asunto posterior, relacionado con la infraestructura de reciclaje o la demanda del mercado. Sin embargo, en los entornos de campus la primera barrera suele estar aguas arriba: si los materiales permanecen identificables y no contaminados después de su generación. La identificación de un 79% de potencial de recuperación en el presente caso muestra que incluso mejoras organizativas modestas pueden liberar un valor significativo. Esto se alinea con el pensamiento más amplio de la economía circular, que enfatiza el diseño de sistemas para preservar la calidad de los materiales antes de que se conviertan en residuos [11], [12]. Las instituciones de educación superior latinoamericanas, en particular, pueden actuar como agentes de transición hacia modelos circulares dentro de sus propios campus [23].

A pesar de estas contribuciones, el estudio tiene limitaciones. Los hallazgos surgen de un único caso en un contexto institucional y regulatorio específico. El trabajo enfatiza el diseño del modelo y la lógica de implementación más que el desempeño cuantitativo de largo plazo tras años de operación. Dado que la intervención se desarrolló en una facultad de ciencias de la salud, la arquitectura resultante puede requerir adaptación en unidades con perfiles de residuos diferentes, como talleres de ingeniería, instalaciones de artes o campus administrativos. Además, el estudio no incluyó un análisis financiero detallado, una evaluación de ciclo de vida ni una evaluación conductual longitudinal. Estas omisiones no invalidan el modelo, pero delimitan el tipo de afirmaciones que pueden hacerse sobre él.

Por lo tanto, la investigación futura podría extender este trabajo en varias direcciones. Estudios comparativos de múltiples casos podrían probar si la arquitectura basada en 5S se desempeña de manera similar en otras facultades o universidades. Estudios longitudinales podrían dar seguimiento a si la calidad de la segregación y el desempeño en seguridad permanecen estables con el tiempo. Análisis económicos podrían comparar los costos de operación del sistema rediseñado frente a los costos evitados de una segregación deficiente y un manejo inseguro. Evaluaciones ambientales podrían estimar los beneficios en gases de efecto invernadero o en huella de materiales asociados con la mejora de la recuperación y la gestión diferenciada. Finalmente, la investigación organizacional podría examinar cómo la capacitación, el liderazgo y la cultura del campus afectan la etapa de mantener (Shitsuke) de las 5S en las instituciones académicas. Aun con estas limitaciones, el caso demuestra que la sostenibilidad operativa en la educación superior puede avanzar mediante elecciones de diseño comparativamente simples, pero bien integradas.

5. Conclusiones

El estudio desarrolló y evaluó un modelo integrado de gestión de residuos basado en la metodología 5S para una facultad de ciencias de la salud de una universidad pública del centro de México. Los principales resultados muestran que, frente a una generación aproximada de 2,200 kg mensuales bajo disposición mezclada y recuperación efectiva nula, la caracterización identificó hasta un 79% de material con potencial de recuperación, y que la intervención produjo una arquitectura operativa orientada a hacer



técnicamente viable el aprovechamiento de ese potencial mediante segregación, rutas diferenciadas y procedimientos estandarizados.

La principal contribución al campo del conocimiento es demostrar que una filosofía de gestión consolidada puede traducirse en una intervención de sostenibilidad de bajo costo y replicable a escala de facultad, que integra en una sola lógica operativa la segregación en la fuente, el diseño de rutas, la gestión visual y los protocolos específicos para residuos urbanos, de manejo especial y peligrosos biológico-infecciosos. Con ello se reduce el riesgo de exposición y se fortalece la alineación con las normas mexicanas NOM-161-SEMARNAT-2011 y NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002.

En cuanto a su alcance y limitaciones, los resultados provienen de un único caso y enfatizan el diseño y la lógica de implementación más que el desempeño cuantitativo de largo plazo; no se incluyeron análisis financiero, evaluación de ciclo de vida ni seguimiento conductual longitudinal. En términos de aplicabilidad, el modelo ofrece una ruta práctica para instituciones de educación superior con recursos limitados, en particular en entornos del área de la salud donde coexisten fracciones recuperables con residuos que representan riesgos sanitarios.

Finalmente, se plantean nuevas preguntas de investigación: ¿se comporta de manera similar la arquitectura basada en 5S en facultades con distintos perfiles de residuos?, ¿se mantienen estables en el tiempo la calidad de la segregación y el desempeño en seguridad?, ¿cuáles son los beneficios económicos y ambientales netos de la intervención?, y ¿cómo influyen la capacitación, el liderazgo y la cultura organizacional en la sostenibilidad de la etapa de mantenimiento? Abordar estas preguntas permitirá consolidar y escalar modelos operativos de sostenibilidad en la educación superior.

6. Reconocimiento de autoría

Iván Ávila-Raya: Conceptualización; Metodología; Investigación; Curación de datos; Análisis formal; Visualización. *Martha Angélica Lemus-Solorio*: Metodología; Análisis formal; Validación; Visualización; Redacción, revisión y edición. *Luis Enrique Rosas-Avalos*: Conceptualización; Metodología; Investigación; Curación de datos; Análisis formal; Redacción del borrador original; Redacción, revisión y edición. *José Luis Rivera-Rojas*: Metodología; Análisis formal; Validación; Redacción, Redacción del borrador original, revisión y edición. *Luis Jesús Villarreal-Gómez*: Metodología; Conceptualización, Validación; Recursos; Supervisión; Redacción, revisión y edición. *María Esther Carcamo-Escalera*: Investigación; Análisis formal; Visualización; revisión y edición. *Alfonso Lemus-Solorio*: Conceptualización; Metodología; Supervisión; Administración del proyecto; Recursos; Validación; Redacción del borrador original; Redacción, revisión y edición.

Referencias

- [1] M. C. Oliveira and J. Proença, "Sustainable Campus Operations in Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review," *Sustainability*, vol. 17, no. 2, art. 607, 2025.
- [2] W. Leal Filho et al., "Sustainable Development Goals and sustainability teaching at universities: Falling behind or getting ahead of the pack?," *Journal of Cleaner Production*, vol. 232, pp. 285–294, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.309>
- [3] E. Nolasco, P. H. Vieira Durães, J. Pereira Gonçalves, M. C. de Oliveira, L. Monteiro de Abreu, and A. Nascimento de Almeida, "Characterization of solid wastes as a tool to implement waste management strategies in a university campus," *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 22, no. 2, pp. 217–236, 2021.



- [4] M. Hindiyeh, M. Jaradat, A. Albatayneh, B. Alabdellat, Y. Al-Mitwali, and B. Hammad, "Sustainable Green University: Waste Auditing, German Jordanian University as a Case Study," *Frontiers in Built Environment*, vol. 8, art. 884656, 2022.
- [5] S. Dahlawi and M. F. El Sharkawy, "Assessment of solid waste management practice in the university campus," *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 22, no. 3, pp. 561–575, 2021.
- [6] A. Jakimiuk, Y. Matsui, A. Podlasek, E. Koda, V. S. N. S. Goli, and S. Voběrková, "Closing the loop: A case study on pathways for promoting sustainable waste management on university campuses," *Science of the Total Environment*, vol. 892, art. 164349, 2023.
- [7] A. Gallardo, N. Edo-Alcón, M. Carlos, and M. Renau, "The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university," *Waste Management*, vol. 53, pp. 3–11, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.013>
- [8] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Última Reforma DOF 18-01-2021)*. México: Diario Oficial de la Federación, 2021.
- [9] SEMARNAT, *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo*. México: Diario Oficial de la Federación, 1 de febrero de 2013.
- [10] SSA, *Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental — Salud ambiental — Residuos peligrosos biológico-infecciosos — Clasificación y especificaciones de manejo*. México: Diario Oficial de la Federación, 17 de febrero de 2003.
- [11] P. Ghisellini, C. Cialani, and S. Ulgiati, "A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems," *Journal of Cleaner Production*, vol. 114, pp. 11–32, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- [12] L. Salguero-Puerta, J. C. Leyva-Díaz, F. J. Cortés-García, and V. Molina-Moreno, "Sustainability Indicators Concerning Waste Management for Implementation of the Circular Economy Model on the University of Lomé (Togo) Campus," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 12, art. 2234, 2019.
- [13] International Organization for Standardization, *ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. Geneva, Switzerland: ISO, 2015.
- [14] H. Hirano, *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation*. Portland, OR, EE. UU.: Productivity Press, 1995.
- [15] T. Osada, *The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment*. Tokyo, Japón: Asian Productivity Organization, 1991.
- [16] M. Jiménez, L. Romero, M. Domínguez, and M. del M. Espinosa, "5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school," *Safety Science*, vol. 78, pp. 163–172, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.022>
- [17] M. de L. F. Oliveira et al., "5S System in a university clinical laboratory as an important tool for quality assurance in work and learning-teaching environments," *Brazilian Journal of Health Review*, vol. 8, no. 6, art. e84735, 2025. <https://doi.org/10.34119/bjhrv8n6-374>
- [18] S. Kanamori, A. Shibamura, and M. Jimba, "Applicability of the 5S management method for quality improvement in health-care facilities: a review," *Tropical Medicine and Health*, vol. 44, art. 21, 2016. <https://doi.org/10.1186/s41182-016-0022-9>
- [19] H. Ishijima, N. Miyamoto, F. Masaule, and R. John, "Improvements to healthcare waste management at regional referral hospitals in Tanzania using the KAIZEN approach," *The TQM Journal*, vol. 34, no. 5, pp. 939–956, 2022. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0254>
- [20] S. Hammami, F. Hmida, H. Gharbi, A. Ben Salah, and C. Hamouda, "Implementation of the 5S-KAIZEN-TQM approach in a public hospital in Tunisia," *Tunisie Médicale*, vol. 100, no. 7, pp. 503–513, 2022.
- [21] H. Ishijima, K. Nishikido, M. Teshima, S. Nishikawa, and E. A. Gawad, "Introducing the '5S-KAIZEN-TQM' approach into public hospitals in Egypt," *International Journal of Health Care Quality Assurance*, vol. 33, no. 1, pp. 89–109, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJHCQA-06-2018-0143>
- [22] E. Çetin, A. Hussein, and S. Güneş-Durak, "Advancing Sustainable Medical Waste Management: A Case Study on Waste Generation and Classification in a University Hospital Microbiology Laboratory," *Sustainability*, vol. 17, no. 10, art. 4325, 2025.
- [23] D. A. Salas, P. Criollo, and A. D. Ramirez, "The role of higher education institutions in the implementation of circular economy in Latin America," *Sustainability*, vol. 13, no. 17, art. 9805, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13179805>
- [24] R. K. Yin, *Case Study Research and Applications: Design and Methods*, 6th ed. Thousand Oaks, CA, EE. UU.: SAGE, 2018.



- [25] A. Prüss-Üstün, E. Giroult, and P. Rushbrook, Safe Management of Wastes from Health-Care Activities, 2nd ed. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2013.
- [26] W. E. Deming, Out of the Crisis. Cambridge, MA, EE. UU.: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1986.
- [27] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema Armonizado para la Identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas en los Centros de Trabajo. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación, 2015.
- [28] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que Establece las Características, el Procedimiento de Identificación, Clasificación y los Listados de los Residuos Peligrosos. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación, 2005.
- [29] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación, 1988 (última reforma).
- [30] J. P. Womack and D. T. Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, 2nd ed. New York, NY, EE. UU.: Free Press, 2003.

Derechos de Autor (c) 2026 Iván Ávila-Raya, Martha Angélica Lemus-Solorio, Luis Enrique Rosas-Avalos, José Luis Rivera-Rojas, Luis Jesús Villareal-Gómez, María Esther Carcamo-Escalera, Alfonso Lemus-Solorio



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)