

**ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD A PARTIR DE LA METODOLOGÍA DE
WHOLE SYSTEM MAPPING PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS
SALAS DE CIRUGÍA Y UNIDAD RENAL DE UN HOSPITAL.**

Elaborado por:

Anderson Stiven Acosta Forero

Natalia López Quintero

Cynthia Natalia Moreno Aguilar

Especialización en Gerencia de Procesos y calidad

Seminario de Investigación

Bogotá D.C., Colombia

Junio 2025

Título

Estrategias de sostenibilidad a partir de la metodología de Whole System Mapping para la gestión de residuos sólidos en las salas de cirugía y unidad renal de un hospital.

Resumen

La gestión de residuos hospitalarios en Colombia es crítica, generando alrededor de 600,000 toneladas anuales, con Cundinamarca representando el 10%. La correcta clasificación de residuos peligrosos y no peligrosos es esencial para mitigar impactos en la salud pública y el medio ambiente. Para mejorar esta gestión, se propuso formular la estrategia de co generación de energía a partir de residuos peligrosos, la transformación secundaria a partir de residuos reciclables de origen de cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno (PE) y el programa institucional de lecciones aprendidas en la segregación de residuos para las salas de cirugía y unidad renal, utilizando la metodología de Whole System Mapping, los resultados de las fuentes primarias como las encuestas y las entrevistas, los informes de gestión y el formato de residuos hospitalarios (RH1). Este documento desarrolla un marco teórico que destaca las tecnologías utilizadas para la gestión de residuos, estrategias de sostenibilidad y sistema de mapeo para el estudio del proceso de generación y segregación de residuos sólidos.

Palabras clave: Residuos hospitalarios, Sostenibilidad, Whole System Mapping, Ciclo de vida, Tecnologías Sostenibles, Sistemas de Mapeo, Co generación de energía, Transformación secundaria.

Problema de Investigación

Antecedentes

La gestión adecuada de los residuos hospitalarios es un tema de creciente relevancia en Colombia, donde se generan aproximadamente 600,000 toneladas de residuos peligrosos anualmente. De esta cifra, Cundinamarca representa el 10% de los desechos generados en el sector salud. Esta situación marca la necesidad de categorizar correctamente los residuos no peligrosos y peligrosos para mitigar sus impactos en la salud pública y el medio ambiente (Gobernación de Cundinamarca, 2024).

Los hospitales de niveles I, II y III en el país pueden generar cerca de 5,560 toneladas anuales de residuos hospitalarios y similares, de los cuales entre el 75% y el 90% son residuos comparables a los domésticos, y un 10% a 25% son considerados peligrosos debido a su naturaleza patógena (Rodríguez, 2014). Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estima que la proporción de residuos peligrosos puede llegar al 40%. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2024).

En cuanto al marco normativo, el Decreto 1076 de 2015 regula diversos aspectos de la gestión ambiental en el país, incluyendo la gestión de residuos hospitalarios. Teniendo en cuenta las disposiciones legales que se han expedido sobre la materia y los nuevos avances técnicos relacionados, se identificó la necesidad de modificar y actualizar la Resolución 1164 de 2002 “Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares”. En el año 2014, se expidió el Decreto 351 de 2014 “Por el cual se

reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades” compilado en el Título 10 del Decreto 780 de 2016, el cual contempla las disposiciones generales para la gestión de residuos generados en la atención en salud y otras actividades y donde se establece en el artículo 2.8.10.17, el régimen de transición ante la necesidad de expedir un Manual que establezca las disposiciones específicas para garantizar dicha gestión. De esta manera, la Resolución 591 de 2024 "Por la cual se adopta el Manual para la Gestión Integral de Residuos Generados en la Atención en Salud y Otras Actividades" está dirigida a reglamentar las disposiciones técnicas que le permitan tanto a generadores, transportadores y gestores contar con los lineamientos mínimos encaminados a lograr la gestión integral de los residuos generados en las actividades de salud y otras actividades enmarcadas en el ámbito de aplicación del Título 10 del Decreto 780 de 2016.

Desde una perspectiva tecnológica, se han identificado diversas tecnologías para el tratamiento de residuos, incluyendo la incineración, esterilización a vapor, desinfección por microondas y tratamiento químico (Circular Waste Solutions, 2024). La automatización y el uso de robots especializados se han convertido en herramientas clave para mejorar la eficiencia en el manejo de residuos, minimizando riesgos y reduciendo errores humanos (Incinerox, 2023). Sin embargo, la OMS ha señalado que la incineración de residuos no peligrosos sigue siendo una práctica problemática (OMS, 2024).

El Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES, ha enfatizado que el manejo inadecuado de residuos sólidos puede generar enfermedades, contaminación de fuentes hídricas y del aire, así como riesgos ambientales (CONPES 3530, 2008). Por lo tanto, es

fundamental implementar prácticas sostenibles en la gestión de residuos hospitalarios, lo que requiere la colaboración entre el gobierno, las instituciones y la academia, así como la capacitación del personal de salud en la clasificación adecuada de residuos. (Patiño & Acevedo, 2019).

De acuerdo a la investigación realizada por en el año 2021 la Organización Mundial de la Salud, se observó que el 61% de los hospitales disponían de servicios básicos para los desechos de la atención de salud. En el año 2023 solo el 25% de los establecimientos de salud disponían de servicios básicos de gestión de desechos de la atención de la salud, identificando una situación más compleja en contextos frágiles. (OMS, 2024)

Según la Resolución 591 del 2024, en el capítulo 4 sobre la gestión integral de residuos generados en la atención en salud y otras actividades, se presenta una clasificación de los residuos generados en el ámbito de la salud y otras actividades, dividiéndolos en dos categorías principales: residuos no peligrosos y residuos peligrosos. Los residuos no peligrosos se subdividen en aquellos que son aprovechables, como los orgánicos, y los que no lo son. Por otro lado, los residuos peligrosos se clasifican en residuos con riesgo biológico o infeccioso, que incluyen biosanitarios, anatomo-patológicos y cortopunzantes, y otros residuos peligrosos, que abarcan sustancias corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables. Esta clasificación es esencial para manejar adecuadamente los diferentes tipos de residuos y minimizar su impacto en la salud pública y el medio ambiente.

Una parte significativa de los desechos generales no peligrosos es reciclable o compostable, las tasas de generación de desechos varían ampliamente y se estiman mejor mediante mediciones locales (Chatier et al.,2014), para el hospital objeto de estudio, por la generación en promedio de 325.388 Kg/año en residuos se clasifica como gran generador.

En el contexto de la sostenibilidad, que abarca de manera integral los aspectos sociales, ambientales y económicos que se derivan del desarrollo sostenible, entendiéndose como la gestión responsable y equilibrada de los recursos, con el objetivo de satisfacer las necesidades de todos los grupos de interés.

Guillermo Botero, director de sostenibilidad y responsabilidad social de la Clínica Shaio, señala que el sistema de salud en Colombia enfrenta desafíos significativos, especialmente en la implementación de prácticas sostenibles. Por esta razón, considera clave impulsar acciones con impacto que involucren a todas las partes interesadas dentro de las actividades que se originan dentro de la ejecución de los servicios, hasta la etapa final. (Agencia UNAL, 2023)

Actualmente en Colombia, se tienen algunas medidas para impulsar la sostenibilidad en los hospitales, dentro de las cuales se destacan, la eficiencia energética, en términos de métodos de ahorro de energía, la gestión de residuos, la cual es clave para reducir el impacto ambiental, y la optimización del uso de equipos médicos, los hospitales y centros de salud son parte y solución de la crisis medioambiental que se está generando, de ahí la importancia de implementar prácticas sostenibles para reducir su impacto y que su viabilidad económica y funcional sea sostenible en el futuro.

Para la generación de las estrategias sostenibles, Jeremy Faludi creó el Whole System Mapping o mapeo del sistema completo, la cual es una herramienta fundamental en la creación de estrategias sostenibles, ya que permite visualizar y comprender las interconexiones y relaciones entre diferentes actores, procesos y recursos dentro de un sistema. Al adoptar esta perspectiva holística, los diseñadores de estrategias pueden identificar patrones, flujos de información y recursos, así como áreas de oportunidad y riesgo. Este enfoque facilita la identificación de soluciones integradas que no solo abordan problemas específicos, sino que también promueven la sostenibilidad a largo plazo, al considerar las implicaciones sociales, económicas y ambientales. (VentureWell, s.f.)

Descripción del problema

A pesar de la existencia de una normativa ambiental vigente que regula la gestión de residuos hospitalarios y de un conjunto de métodos, procedimientos y acciones controladas desde la generación hasta la disposición final, persisten problemas técnicos y prácticas inadecuadas en su manejo, por lo cual, no se tiene una herramienta efectiva para la generación de estrategias de sostenibilidad en el manejo de residuos hospitalarios, evidenciándose en una falta de dirección estratégica que lleva a tomar acciones de manera puntual, aunque se tienen las estrategias de disposición, no se tiene establecida una metodología que le permita al hospital definir cómo hacer el aprovechamiento sostenible de residuos sólidos generados en las salas de cirugía y unidad renal, para lo cual, la metodología del Whole System Mapping, permite identificar las interacciones en el proceso para la creación de estrategias sostenibles.

Pregunta de investigación.

¿Cuáles pueden ser las mejores estrategias de sostenibilidad para la gestión de residuos sólidos en las áreas de cirugía y unidad renal de un hospital mediante el uso del Whole System Mapping?

Objetivos

Objetivo general

Formular las estrategias de sostenibilidad en la Gestión de Residuos sólidos en las salas de cirugía y unidad renal de un Hospital a partir de la aplicación de la metodología del Whole System Mapping.

Objetivos específicos

- Analizar el entorno de las salas de cirugía y unidad renal hospital para determinar oportunidades de mejora en la Gestión de residuos sólidos hospitalarios.
- Analizar casos de estudio de la implementación de la herramienta del Whole System Mapping para la generación de estrategias sostenibles.
- Aplicar la metodología de la herramienta Whole System Mapping para la generación de estrategias sostenibles en las salas de cirugía y unidad renal del hospital a partir de los residuos sólidos generados.
- Identificar las estrategias de sostenibilidad que se pueden proponer con la herramienta Whole System Mapping para la generación de residuos sólidos.

Justificación

A partir de realizar la investigación se va a adquirir conocimiento teórico práctico en la aplicación de la metodología de Whole System Mapping para la generación de estrategias sostenibles en el proceso de manejo de residuos hospitalarios, ya que se aplicarán los pasos del sistema, donde se tiene la necesidad de mapear el proceso, utilizar ciclos de vida estimados o métricas cuantitativas, realizar la lluvia de ideas y poder generar las estrategias de sostenibilidad.

Para el hospital, la implementación del Whole System Mapping es fundamental para mejorar la eficacia del manejo integral de residuos sólidos hospitalarios en las salas de cirugía y unidad renal, que pueden ser extrapolables al resto del hospital. El desarrollo de esta metodología puede generar un impacto positivo en la seguridad de los pacientes y de los trabajadores, así como en el bienestar del personal. Al desarrollar estrategias sostenibles se identifican oportunidades para reducir, reutilizar y reciclar residuos, para contribuir a su propia sostenibilidad. De este modo, no solo optimiza sus procesos, sino que también se posiciona como un modelo a seguir en la implementación de prácticas sostenibles dentro del sector.

El uso del Whole System Mapping es metodológicamente útil porque facilita la comprensión del flujo de trabajo en el proceso de la gestión de residuos, lo que resulta apropiado para identificar ineficiencias y áreas de mejora, permitiendo detectar oportunidades para implementar prácticas sostenibles, optimizar recursos y generar posibles beneficios económicos.

Para la especialización en Gerencia de procesos y calidad, el Whole System Mapping es una herramienta que se basa en un pensamiento sistémico, útil para solucionar problemas ya que

incorpora el mapeo del sistema completo permitiendo identificar todas las interacciones y dependencias dentro del sistema, lo que es crucial para entender cómo las decisiones en un área pueden afectar a otras. Este enfoque ayuda a desarrollar estrategias que optimizan no solo la eficiencia operativa, sino también la sostenibilidad ambiental, económica y social.

Marco Teórico

Los desechos representan una preocupación global significativa, ya que el manejo inadecuado de los mismos, puede causar contaminación ambiental y poner en riesgo la salud de humanos y animales (Intosai, 2003). En el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la contaminación por desechos es un problema crítico en todo el mundo, destacando los peligros de los desechos radiactivos, médicos y peligrosos. La quema y el vertido ilegal de desechos contribuyen a la contaminación del aire, suelo y agua. Como respuesta a esta crisis, la comunidad internacional ha respondido con acuerdos que regulan la gestión de desechos, enfatizando la prevención, minimización y reciclaje, como se discutió en la Conferencia de Río de 1992 y en la Cumbre de Johannesburgo de 2002.

De acuerdo con La Organización Panamericana de la Salud, la gestión ambiental, química y de residuos sanitarios (conocida como HCWM, por sus siglas en inglés) es esencial para la calidad de la atención y la prevención y el control de infecciones en los centros de salud. (Organización Panamericana de la Salud [OPS], s.f).

A partir de lo anterior es importante tener en cuenta la clasificación de residuos según su naturaleza y normativa legal vigente en Colombia.

Tipos de residuos generados en hospitales

Para la gestión de residuos en Colombia existe una normativa que regula la clasificación de residuos la cual se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de residuos hospitalarios según normativa.

Clasificación de residuos hospitalarios	
	Biodegradables: Son los residuos de origen químico o natural, que pueden descomponerse rápidamente en el entorno de manera natural.
Residuos no peligrosos: Estos se definen por no representar ningún peligro o riesgo para la salud y el medio ambiente.	Reciclables: Son aquellos residuos que no se degradan fácilmente, por lo tanto, pueden ser insumo o materia prima en otro proceso productivo
	Inertes: Son los residuos que no se descomponen, no son reciclables y su degradación natural toma largos períodos de tiempo.
	Ordinarios o comunes: Son los residuos que se generan en las actividades habituales y cotidianas.

Residuos Peligrosos: Son residuos que representan un peligro potencial para la salud humana y el medio ambiente, pueden ser de origen: infecciosos, combustibles, inflamables, explosivos, reactivos, radiactivos, volátiles, corrosivos o tóxicos.

Residuos Infecciosos o de Riesgo Biológico: Son residuos que pueden provocar enfermedades infecciosas que albergan microorganismos como bacterias, parásitos, virus, hongos, oncogénicos o recombinantes, así como sus toxinas.

Nota. Elaboración propia tomado del Decreto 2676 (2000), la Resolución 1164 (2002) y la Resolución 591 (2024).

A su vez la Organización Mundial de la Salud (2024) clasifica los residuos de riesgo biológico en: residuos biosanitarios, residuos cortopunzantes, residuos infecciosos, residuos patológicos y anatomopatológicos, de animales, residuos farmacéuticos, residuos citotóxicos, residuos químicos, residuos reactivos, residuos de metales pesados, residuos de aceites usados, residuos de envases presurizados y residuos de radiactivos.

Por tanto, una definición de los "Residuos de Salud" abarca todos los residuos sólidos y líquidos que se generan durante el diagnóstico, tratamiento, inmunización de seres humanos, investigación y producción de productos biológicos, entre otras actividades. Debido a su naturaleza peligrosa, la gestión de estos residuos requiere un método sistemático y coordinado que incluya la segregación adecuada, la recolección segura, el almacenamiento controlado, el tratamiento efectivo y la disposición final responsable, con el objetivo de minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (Ruiz, 2024).

Importancia de una gestión adecuada de residuos

La importancia de gestionar los residuos generados en hospitales radica en un impacto ambiental, en la salud pública y en el cumplimiento de las normativas vigentes. En primer lugar, es un requisito de las Instituciones de salud para garantizar la seguridad inmediata y el bienestar tanto del personal en salud como de los pacientes y la comunidad en general, así mismo un compromiso para contribuir con la sostenibilidad medioambiental (Exposto et al., 2022).

Además, para la Escuela Colombiana de Rehabilitación (s.f.) la importancia radica en proteger la salud pública, prevenir la contaminación, resalta sobre el adecuado uso y la segregación en la implementación de planes de gestión de residuos.

Sostenibilidad e impactos asociados a la gestión de residuos

Enfermedades

La gestión inadecuada de los residuos hospitalarios representa riesgos significativos para la salud pública, el medio ambiente y los trabajadores sanitarios, especialmente aquellos encargados de su manejo. Según el estudio de Abarca (2021), el 75% del personal de limpieza en hospitales no sigue los protocolos de bioseguridad, lo que correlaciona con un aumento de accidentes laborales y problemas de salud como enfermedades respiratorias y molestias dérmicas en los trabajadores. (Guillen & Campoverde, 2024). Además, la exposición ocupacional a microorganismos patógenos puede causar infecciones graves a través de diversas vías de ingreso al cuerpo humano, destacando la importancia del uso adecuado de equipos de protección personal y medidas de bioseguridad (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2021). La falta de conciencia institucional sobre los riesgos y la ausencia de políticas eficaces agravan el

problema, aumentando la transmisión de enfermedades infecciosas como VIH/SIDA y hepatitis. Asimismo, la eliminación incorrecta de residuos hospitalarios puede contaminar el agua potable y liberar sustancias nocivas al ambiente (Banstola et al., 2024).

Impacto ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la fabricación y la eliminación de los residuos en el sector salud impactan significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero y a la contaminación ambiental. La eliminación inadecuada de desechos sanitarios en vertederos puede tener graves consecuencias ambientales, como la contaminación de aguas potables, superficiales y subterráneas si estos no son gestionados correctamente. Además, el uso de desinfectantes químicos para tratar estos desechos puede liberar sustancias nocivas al medio ambiente si no se manejan, almacenan y eliminan de manera responsable. La incineración de residuos es una práctica común, pero si no se realiza adecuadamente o se incinera material inapropiado, puede liberar contaminantes atmosféricos causando efectos adversos para la salud humana (OMS, 2024).

Sostenibilidad

La gestión sostenible de residuos hospitalarios es un desafío que requiere un compromiso colectivo y la implementación de políticas efectivas para disminuir el impacto negativo que los residuos causan al medio ambiente, a la sociedad y a las finanzas de cada institución prestadora de servicios de salud. Estrategias como la capacitación del personal, la segregación adecuada, el uso de tecnologías de reciclaje y un enfoque basado en el ciclo de vida son fundamentales para

abordar los problemas asociados con los residuos peligrosos en el sector salud (Berrachedi., et 2024).

Al adoptar un enfoque sistémico, las organizaciones pueden mejorar su desempeño ambiental y contribuir a la salud pública y al bienestar del entorno. De acuerdo con Schuth, (2023) algunos componentes esenciales de una gestión sostenible son:

Prevención y minimización en la fuente: Aplicar el modelo de las 5R el cual consiste en rechazar, reducir, reutilizar, reciclar y recuperar para fomentar la economía circular, evitando la generación de residuos innecesarios y aprovechando materiales en nuevos ciclos de producción.

Desmaterialización: Reducir el impacto ambiental en la prestación del servicio sin comprometer calidad, mediante el diseño de productos con menor material y la implementación de soluciones digitales.

Economía circular: Establecer alianzas con proveedores y empresas especializadas para valorizar los residuos reciclables y crear estrategias para la transformación de los residuos en nuevos productos.

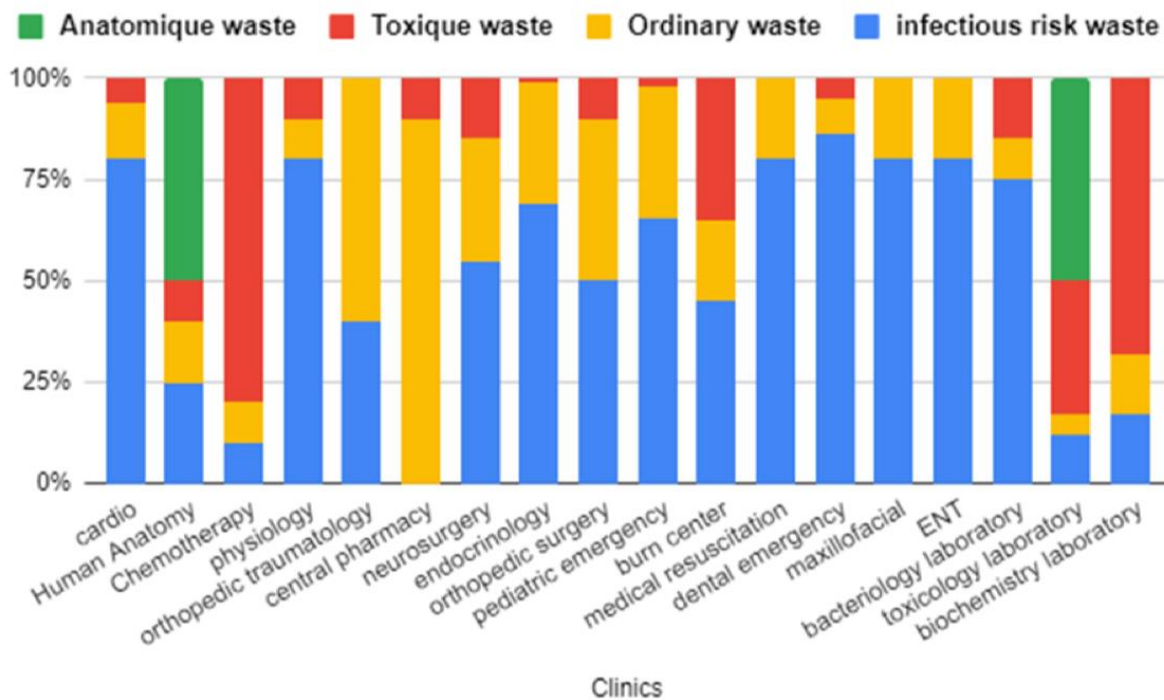
Innovación Tecnológica: Disponer de tecnologías para el monitoreo y trazabilidad de residuos o que minimicen el consumo de energía o generación de residuos secundarios.

Educación, capacitación y sensibilización: La capacitación del personal involucrado sobre el impacto de los residuos y la sensibilización a la comunidad son claves para los programas sostenibles de residuos.

Cabe resaltar que cada clínica u hospital tiene sus propias características específicas en términos de generación de residuos, se han identificado a partir de estudios que los residuos peligrosos, se clasifican en tres (infecciosos, tóxicos y anatómicos) y están presentes con alrededor del 50% del total de residuos. La cuantificación de los residuos es un indicador estratégico para tener una política de gestión sostenible. Una distribución general de residuos generados en hospitales por áreas se puede evidenciar en la Figura 1.

Figura 1

Porcentaje de residuos generados por área en hospitales



Nota. Tomado de *Distribution of medical waste generated by clinic*, de Berrachedi, R., Chaib, R., Kahoul, H., & Nettour, D. (2024).

Desde una perspectiva de residuos generados en quirófanos que se reciclan, actualmente se encuentran los tipos de plásticos, como el cloruro de polivinilo, polietileno, poliopileno, poliuretano y copolímeros. Los residuos del quirófano en su gran mayoría pueden considerarse no peligrosos, los cuales no están contaminados ni infectados ya que previamente no han tenido contacto con el paciente (Veličković & Ilić Živojinović, 2023).

Adicionalmente, los materiales empleados en el proceso de hemodiálisis están principalmente compuestos por plásticos, polímeros y otros compuestos sintéticos, lo que implica rigurosos requisitos de biocompatibilidad, durabilidad y esterilidad que deben cumplir

para garantizar su manejo y disposición. Por consiguiente, Arias-Guillén (2024) clasifica según su naturaleza los residuos producidos durante este proceso en:

Grupo I: Residuos asimilables: Estos incluyen materiales como papel y cartón, envases plásticos y metálicos, envoltorios de insumos médicos, garrafas vacías de concentrados, desechos orgánicos, vidrio y otros residuos que no se pueden clasificar en categorías específicas.

Grupo II: Residuo sanitario no específico: Material de curas, vendas, yesos, guantes, líneas, así como todos aquellos residuos no clasificables como de riesgo.

Grupo III: Residuos sanitarios con riesgo biológico: Incluyen sangre y derivados en estado líquido, vacunas vivas o atenuadas, restos anatómicos de poca entidad, cultivos y agentes infecciosos, desechos provenientes de animales utilizados en investigación, así como materiales punzocortantes como agujas, hojas de bisturí y portaobjetos.

Grupo IV y Grupo V: Son de material citotóxico que posee propiedades mutagénicas, cancerígenas o teratogénicas, así como medicamentos peligrosos para la salud y sustancias químicas de riesgo.

En el contexto de la sostenibilidad, se destacan las 5R, las cuales provienen de la transición desde las 3R del reciclaje (reutilizar, reducir y reciclar). Según LEANPIO (2022) las 5R, se clasifican en:

- Rechazar: El mejor desecho es el que no llega a producirse.

- Reducir: Reducir la cantidad de residuos que se generan en origen, lo que puede requerir un poco de planificación previa. Adicionalmente, es tomar decisiones de consumo correctas.
- Reciclar: Es el cumplimiento del ciclo del producto, debe reincorporarse al proceso productivo como materia prima, permitiendo así la creación de un nuevo producto.

Una vez un producto ya ha cumplido con su función y ha terminado su vida útil tal y como está, debe regresar a la cadena de producción como materia prima para así poder dar vida a un nuevo producto (LEANPIO, 2022).

- Recuperar: Volver a utilizar las piezas de los objetos que se iban a desechar.
- Reparar: Alargar la vida útil para no generar residuos.

En el estudio titulado "The 6th R of sustainability: Repurposing operating room waste for community benefit", se aborda la problemática de que la industria de la salud es uno de los mayores productores de gases de efecto invernadero, contribuyendo casi con el 10% de la producción de estos gases en Estados Unidos. Las áreas de cirugía, en particular, son responsables de una gran parte de los desechos generados; por ejemplo, en Canadá, los reemplazos totales de rodilla generaron el equivalente a 2000 camiones de basura de desechos en vertederos.

Para mitigar el impacto ambiental de la cirugía, las instituciones de salud han comenzado a implementar las 5R. Sin embargo, Bae et al. (2024) propone la metodología "6R": siendo la

sexta “R”, reutilizar, argumentando que los desechos de las salas de cirugía pueden ser adaptados y utilizados con éxito para fines no médicos. Es relevante señalar que el reciclaje sigue siendo una práctica fundamental y aceptada en el esfuerzo por hacer que la atención quirúrgica sea más sostenible.

Innovaciones Tecnológicas en la gestión de residuos

Según Bharadwaj et al. (2025) dentro de las innovaciones sostenibles, existen investigaciones relacionadas con el desarrollo de nuevos catalizadores a partir de residuos sólidos, teniendo en cuenta la evaluación del ciclo de vida ambiental (LCA) de los catalizadores derivados de residuos, destacando su papel en la intensificación de procesos y su alineación con los principios de la química verde. Los residuos hospitalarios, que incluyen agujas desechadas, kits de EPP, guantes y delantales, pueden transformarse en energía térmica, materiales o productos de valor agregado utilizando diferentes métodos como:

- Pirólisis: Relacionada a la descomposición térmica en ausencia de oxígeno.
- Incineración: Combustión controlada para reducir el volumen de residuos
- Esterilización por microondas: Uso de microondas para eliminar patógenos
- Gasificación por plasma: Conversión de residuos en gas sintético a altas temperaturas.

Adicionalmente, el uso de tecnologías como desactivación química, microondas, radiación ultravioleta y métodos de permite un manejo de residuos seguro y responsable, reduciendo los riesgos asociados a la salud y el ambiente. En países como Suecia y Estados

Unidos, estas soluciones ya se han integrado en sus sistemas de gestión de residuos hospitalarios. Por ejemplo, Suecia ha desarrollado un modelo eficiente que combina la incineración segura de desechos con la recuperación de energía, aprovechando el calor generado para producir electricidad y calefacción para la población local. En Estados Unidos se emplean tecnologías avanzadas de esterilización, como autoclaves de plasma y sistemas de descontaminación a altas temperaturas, para tratar eficazmente los residuos médicos (Incinerox, s.f.).

La Tabla 2, muestra los diferentes procesos y condiciones de varias tecnologías de tratamiento para convertir los desechos hospitalarios en productos valiosos. Estas tecnologías pueden mejorar la gestión de residuos para minimizar el impacto ambiental y generar productos de gran utilidad (Bharadwaj et al., 2025).

Tabla 2

Lista de procesos y condiciones de varias tecnologías de tratamiento.

Residuos	Proceso de tratamiento	Condiciones de proceso	Productos útiles
Mascarillas, plásticos usados, kits de EPP (Elementos de protección personal) Compuestos de poliestireno.	Pirolisis	400 °C, 10°C	Bio aceite y gas
Tela de algodón/poliéster	Hidrolisis	140–350 °C,	Biogás

Productos médicos de PVC (Policloruro de vinilo)	Digestión Anaeróbica, Carbonización hidrotermal	30.3 °C 210 °C, 30 min	Combustible Sólido
Residuos de alimentos	Pre- tratamiento hidrotermal	-	Biometano
Residuos médicos	Gasificación por plasma	-	Gas de síntesis

Nota. Adaptado de *List of conversion of different hospital wastes to useful products.* of conversion. Bharadwaj. (2025).

Para Cho et al. (2024) la gestión de residuos hospitalarios a menudo clasifica todos los desechos, incluyendo el embalaje plástico no contaminado, como peligrosos, lo que lleva a la incineración como el método de tratamiento principal. Si bien es efectivo para un tratamiento seguro, la incineración incurre en altos costos y tiene un impacto ambiental significativo. Se puede tener una segregación y gestión sostenible de los residuos de embalaje plástico derivados del uso de dispositivos médicos para mitigar los impactos negativos ambientales. Plásticos como cloruro de polivinilo (PVC), Polietileno Tereftalato (PET), Poliestireno (PS) y Polietileno Tereftalato Glicol (PETG) son los más perjudiciales en relación con el calentamiento global y la toxicidad para la salud. En la comparación de tres escenarios de gestión de residuos, el primer escenario se refiere a la incineración de desechos médicos, que es el más representativo actualmente. El segundo escenario implica el vertido de todos los residuos en rellenos sanitarios, mientras que el tercero se centra en el reciclaje de plásticos. Los resultados muestran que el tercer escenario es el más sostenible, ya que el reciclaje no solo reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también conserva recursos hídricos y

disminuye la necesidad de producción de plásticos vírgenes, un proceso intensivo en energía. Por el contrario, el primer escenario contribuye a la contaminación del aire y el segundo puede generar lixiviados que contaminan fuentes hídricas. Lo mencionado anteriormente, destaca la importancia de clasificar adecuadamente los plásticos generados, promoviendo la economía circular y reduciendo la generación de desechos. Los hallazgos de Nematollahi (2025) también respaldan esta idea, indicando que la recuperación de materiales de desechos no infecciosos disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y el agotamiento de recursos en comparación con la incineración y el vertido en rellenos sanitarios, además de subrayar métodos alternativos como la desinfección química y el compostaje. Esto resalta la necesidad de mejorar la segregación y el tratamiento de residuos en las empresas de servicios de salud.

Economía Circular (CE)

La economía circular (EC) es un modelo económico que busca sustituir la idea tradicional de "fin de ciclo de vida útil" de los productos por estrategias orientadas a la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales a lo largo de las etapas de producción, distribución y consumo. Este enfoque tiene como objetivo principal minimizar tanto las emisiones al medio ambiente como la extracción de recursos naturales, promoviendo la reintegración de productos, componentes y materiales al sistema económico una vez que han cumplido su función, prolongando así su uso y valor en el tiempo (Chew et al., 2023).

Sepetis et al. (2024), menciona que los municipios que adoptan modelos de EC en la gestión de residuos hospitalarios pueden observar reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en la salud pública.

Análisis de Ciclo de Vida (LCA)

El análisis del ciclo de vida, es una herramienta que permite la transformación y reducción del impacto ambiental, mediante esta metodología se identifican los puntos críticos a lo largo del ciclo de vida para reducir el impacto del producto y/o servicio. Estos enfoques tienen en cuenta desde la extracción de materias primas, fabricación, distribución, uso, eliminación, reciclaje o reutilización (Anthesis Group, s.f.).

Desde el punto de vista de Bharadwaj et al. (2025) un enfoque de ciclo de vida es esencial para evaluar y mejorar la sostenibilidad en la gestión de residuos hospitalarios. Este enfoque considera todos los impactos ambientales asociados desde la generación hasta la disposición final de los residuos. Implementar un análisis del ciclo de vida (LCA) permite identificar áreas de mejora y optimizar procesos para reducir emisiones y el uso de recursos. La integración de principios de sostenibilidad en el diseño de productos médicos y su embalaje es fundamental para avanzar hacia una gestión más efectiva de los residuos. Adicionalmente, destaca los beneficios ambientales de adoptar prácticas de gestión de desechos sostenibles en el sector de la salud, específicamente a través de la segregación y el reciclaje de en lugar de la incineración convencional de desechos peligrosos. Los hallazgos de la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) revelan que la transición de la incineración de desechos peligrosos a la gestión de

desechos generales y estrategias de reciclaje de plásticos puede llevar a reducciones significativas en los impactos ambientales. Específicamente, el relleno sanitario de desechos generales reduce el impacto del calentamiento global en un 79.7%, mientras que el reciclaje de plásticos reduce aún más el daño en un 11.8% adicional, en comparación con las prácticas actuales.

Sistemas de Mapeo

Un sistema de mapeo es una forma de visualizar sistemas. Los mapas de sistemas comprenden los sistemas y sus relaciones ya que algunos sistemas no se pueden entender a través de la medición; por lo tanto, deben entenderse a través del mapeo (MacEwan University, s.f.).

La institución VentureWell (s.f.), indica que el pensamiento sistémico puede hacer que el producto o servicio sea más sostenible y mejore las necesidades de los usuarios, este sistema ayuda a tomar distancia y observar el panorama general, para así resolver los problemas correctos. El Mapeo del Sistema Completo es solo un método para el pensamiento sistémico, lo hace más concreto y práctico, al proporcionar un proceso estructurado, visual y colaborativo entre disciplinas. Este sistema convierte la sostenibilidad de una carga en una herramienta de innovación al combinar el panorama general con un enfoque en las prioridades, lo que permite una ideación más profunda y radical.

Aplicaciones de Métodos de Sistema de Mapeo

Faludi (2020), hace referencia a que el mapeo de sistemas completos es una de las formas más simples de pensamiento sistémico y, algunas empresas lo utilizan como marco para integrar

múltiples herramientas y métodos de sostenibilidad en el proceso estándar de desarrollo de productos. Este pensamiento ayuda a dar un paso atrás y mirar el panorama general.

Adicionalmente, el mapeo de todo el sistema es uno de los métodos más simples ya que lo hace más concreto y accionable, al proporcionar un proceso estructurado que es visual y colaborativo entre disciplinas. Faludi propone el Whole System Mapping (WSM), como sistema de mapeo completo diseñado en cuatro pasos, comenzando por crear un mapa completo del sistema del producto, seguido por establecer prioridades basadas en la evaluación del ciclo de vida (LCA), posteriormente realizar una lluvia de ideas sobre las soluciones en su mapa del sistema y, por último, elegir las ideas ganadoras según las prioridades de quien lo aplica.

Para la aplicación del Whole System Mapping se crea un mapa de sistema completo el cual identifica las principales áreas de impacto del ciclo de vida, para Hutchens, et al (2013) lo analizó basado en un modelo de refrigerador tradicional con el fin de determinar las oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad. Con base en las prioridades generadas, se realizó un Análisis de Ciclo de Vida (LCA), lluvia de ideas y Matriz de decisión, identificando oportunidades de mejora ya que este es un modelo fácil de usar, optimizado y eficiente desde el punto de vista energético. Por otra parte, para Hvistendahl, et al (2013) quien aplicó el diseño a un refrigerador tradicional, mostró que el rediseño es diferenciador ya que hay un ahorro de energía óptimo que se generó bajo la metodología del Whole System Mapping para permitir al usuario tener un producto sostenible.

Zerbino et al., (2025), relaciona las metodologías de mapeo utilizadas para describir los procesos inter e intraempresariales dentro de los sistemas de suministro, es decir, Integration

Definition for Function Modeling (IDEF0), Business Process Model and Notation (BPMN), unified modeling language (UML) y Engineering, Procurement and Construction (EPC), describiendo que estas presentan limitaciones dentro del contexto de la economía circular (CE). Ejemplos de estas limitaciones son la limitada capacidad para representar y distinguir los flujos de materiales y emisiones en las diferentes etapas de un sistema de suministro, la baja legibilidad cuando se representan sistemas de suministro en entornos circulares y el limitado apoyo para los análisis de ciclo de vida del producto (LCA). Para abordar estas limitaciones, Zerbino propone el MACSS, una metodología de mapeo concebida y desarrollada a través de un diseño de investigación basado en Digital Rights Management (DRM) que consta de tres fases: Concepción, Desarrollo del modelo y Validación. En la fase de validación, se verificó la aplicabilidad real y la accionabilidad de la metodología a través de un ejemplo de la vida real en el sistema de suministro de vidrio plano.

Pronk (2024), destaca el valor de los mapas de sistemas, como los CLD, para visualizar la complejidad de factores interdependientes relacionados con la actividad física (AP). Estas herramientas facilitan la comprensión compartida entre partes interesadas y permiten identificar comportamientos del sistema, factores impulsores y posibles soluciones.

Marco Legal

En Colombia la normativa legal existente para la gestión de los residuos hospitalarios se observa en la Tabla 3.

Tabla 3*Normativa para la gestión de residuos hospitalarios en Colombia*

Norma	Año	Entidad	Descripción	Aplicación
Decreto 2676	2000	Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente.	Por el cual se reglamenta la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares. Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente.	Direcciona el Sistema de Gestión de Residuos hospitalarios, incluyendo clasificación, almacenamiento, recolección y disposición final segura.
Resolución 1164	2002	Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Salud	Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares. Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Salud.	Define protocolos técnicos para el manejo interno de residuos en el hospital, promoviendo prácticas seguras desde la generación hasta la disposición.
Ley 1252	2008	El Congreso de Colombia	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.	Fundamenta las obligaciones legales del personal de salud frente a los residuos peligrosos, incluyendo sanciones por mal manejo y disposiciones ambientales.
Decreto 351	2014	Ministerio de Salud y Protección Social	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.	Amplía el alcance del Decreto 2676, incluyendo nuevas tecnologías y lineamientos para mejorar la trazabilidad y el control de residuos

				peligrosos y no peligrosos.
Decreto 780	2016	Sector Salud y Protección Social	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Salud y Protección Social	Consolida todas las regulaciones relacionadas con el sector salud, incluyendo capítulos específicos sobre residuos hospitalarios.
Resolución 591	2024	Ministerio de Salud y Protección Social	"Por la cual se adopta el Manual para la Gestión Integral de Residuos Generados en la Atención en Salud y Otras Actividades".	Actualiza los lineamientos técnicos de manejo de residuos, incorporando principios de economía circular, gestión diferenciada y tecnologías de tratamiento más seguras.

Nota. Elaboración propia

Metodología

Para abordar los problemas técnicos y prácticas inadecuadas en la gestión de residuos sólidos en las salas de Cirugía y Unidad Renal de un hospital, se determina el enfoque, el alcance y el diseño para lograr los objetivos propuestos a través de la formulación de estrategias de sostenibilidad teniendo como eje la metodología de Whole System Mapping (WSM).

- **Enfoque, alcance, diseño de la investigación**

Enfoque:

La investigación es no experimental, se lleva a cabo utilizando un enfoque mixto. Teniendo en cuenta la clasificación, manejo y gestión de los residuos del Hospital de referencia, las características de los residuos sólidos en las salas de Cirugía y Unidad Renal y la clasificación de los residuos de acuerdo a la legislación colombiana, se recopilan y se analizan las características cualitativas de los residuos sólidos mediante entrevistas al personal involucrado. Para tal fin se analiza el método utilizado por el Hospital para la segregación, la recolección, el almacenamiento, el tratamiento y la disposición final, con el fin de comprender la magnitud y el impacto en la generación de ciertos tipos de residuos para el desarrollo de una gestión sostenible.

Por otra parte, dentro de la recolección de datos a través de registros, informes y el Plan de Gestión Integral de Residuos Generados en la Atención en Salud y otras Actividades (PGIRASA) desarrollado por el Hospital en los últimos dos años, se analizan las variables cuantitativas como las cantidades, el peso y los costos de disposición final de los residuos sólidos generados por el Hospital en las salas de Cirugía y Unidad Renal.

Alcance:

La investigación se define como exploratoria de la gestión de residuos sólidos completa y profunda, con alcance descriptivo, centrada en proponer estrategias de sostenibilidad a partir de la metodología de Whole System Mapping para la gestión de residuos de las Salas de cirugía y

Unidad Renal la cual proporciona comprensión del tratamiento y segregación que se le dan a los residuos, los problemas técnicos y las prácticas en la gestión de los residuos sólidos del Hospital, de tal manera que se identifiquen las causas del problema. La parte exploratoria se refiere al grado de validación de la herramienta mientras que la parte descriptiva se refiere al manejo específico de los residuos sólidos de las áreas mencionadas anteriormente.

Diseño:

Se determina un diseño no experimental - longitudinal, lo que corresponde a un periodo de dos años desde enero de 2022 a diciembre de 2024.

Definición de variables

La definición de variables se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Variables identificadas para la metodología de Whole System Mapping en la gestión de residuos sólidos.

Variable	Tipo de variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
Cantidad de residuos generados	Cuantitativa , continua	La cantidad total de residuos generados por las salas de cirugía y unidad renal en un período específico	Se mide en kilogramos (kg) de residuos generados en el área de salas de cirugía y unidad renal del hospital para el periodo 2022- 2024 a través de recolección de información.

Tipo de residuos generados	Cualitativa, nominal	Diferenciación entre los residuos peligrosos (material quirúrgico contaminado, productos farmacéuticos, productos químicos) y los no peligrosos.	Se clasifica cada tipo de residuo como peligroso o no peligroso según las Normativas legales y Plan de gestión de residuos del hospital.
Tasa de aprovechamiento de residuos	Cuantitativa, continua	El porcentaje de aprovechamiento de residuos sólidos respecto a la cantidad de residuos generados en el hospital.	Se consolidará el porcentaje de aprovechamiento de residuos sólidos de los últimos tres años. <i>Tasa de aprovechamiento:</i> $\frac{\text{Residuos sólidos aprovechable}}{\text{Residuos sólidos generados}}$
Ingreso por disposición	Cuantitativa, continua	Es el ingreso económico al hospital por la disposición final de los residuos sólidos.	Se mide en términos de ingresos totales generados en un período.
Ahorro por disposición	Cuantitativa, continua	Es el ahorro que se genera a partir de la implementación de prácticas de reciclaje y reducción de residuos, como la reutilización de materiales o	Se calculará el ahorro en términos de reducción de costos por la disposición final.

		la optimización del manejo.	
Disminución de impacto ambiental	Cuantitativa , continua	Reducir el impacto ambiental de acuerdo con el análisis desarrollado se define la categoría de impacto.	Se medirá por kilogramo (kg) de residuo aprovechable, según su disposición.

Nota. Elaboración propia

- **Población y muestra**

El grupo administrativo de gestión ambiental y sanitaria del hospital está conformado por nueve (9) personas: Gerente o Sub delegado, Jefe de Planeación y Garantía de la Calidad, Directora Científica, Directora Administrativa, Directora Financiera, Subdirector de Hotelería Hospitalaria, Líder de Proyecto de Arquitectura, Mantenimiento y Equipo Médico, Profesional en Misión con Actividades de Ingeniería Ambiental, Subdirector de Talento Humano (SG – SST). Según lo observado durante la visita técnica al Hospital (comunicación personal abril 06 de 2025). Este Grupo Administrativo es el gestor y coordinador del Plan para la Gestión Interna de Residuos Hospitalarios y es apoyado por la empresa prestadora del servicio público especial de aseo o de desactivación de residuos.

Dentro de la unidad renal, el hospital tiene siete (7) personas involucradas en el proceso de hemodiálisis y por lo tanto responsables de la disposición de residuos que se generan en el área, cuenta con tres (3) enfermeros, una (1) persona encargada del lavado del sistema de ultrafiltrado, un (1) especialista nefrólogo, un (1) residente y (1) medico hospitalario.

En las salas de cirugía, el personal mínimo involucrado es siete (7) personas que participan dependiendo la complejidad del procedimiento y, por lo tanto, participan en la disposición de residuos que se generan, distribuyéndose en, un (1) cirujano especialista, un (1) anestesiólogo, un (1) instrumentador quirúrgico, dos (2) enfermeros, un (1) camillero y un (1) una persona de servicios generales.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el total de la población a tener en cuenta para esta investigación es de 23 personas.

Para un porcentaje de confianza del 90% y una probabilidad de ocurrencia del 10%, la presente investigación está constituida por una muestra de 18 personas que en efecto constituyen el 78.2% de la población estudiada.

- **Selección de métodos o instrumentos para recolección de información.**

En el análisis cualitativo para la clasificación, manejo y gestión de los residuos del Hospital se realizan cuatro entrevistas al Líder de Proyecto Arquitectura, al Lider de Mantenimiento, al Líder de Equipo Médico y al Profesional en Misión con Actividades de Ingeniería Ambiental, y al Líder de la Empresa de aseo interno. (Ver guion de entrevista en el anexo A)

En el análisis cuantitativo se realizaron 14 encuestas al personal operativo encargado de la segregación, la recolección, el almacenamiento y el tratamiento de los residuos. (Ver formato de encuesta en el anexo B)

Adicionalmente se recopila y se analizan las cifras de residuos generados del Hospital en las salas de Cirugía y Unidad Renal a través de registros existentes, como informes de disposición de residuos, contratación contractual que incluyen costos financieros asociados a la disposición de residuos, documentos que pueden proporcionar datos históricos y actuales, esto puede incluir registros de gastos, facturas de proveedores, y otros datos financieros relacionados con la generación y disposición de residuos sólidos.

- **Métodos y Técnicas de análisis de datos**

Para la investigación se realizará un análisis estadístico descriptivo para resumir y presentar los datos de manera concisa. Esto incluye la estadística descriptiva a través de gráficos (gráficos de barras y tablas) para visualizar la distribución de los datos.

En el análisis de datos cualitativos se tendrán en cuenta la técnica de análisis del discurso para profundizar la interpretación de las respuestas y la técnica de nube de palabras para identificar temas, necesidades o problemas recurrentes.

Análisis y discusión de los resultados

A continuación, para el desarrollo del objetivo sobre casos de estudio de implementación de sistemas de mapeo, se analizaron tres artículos científicos que contienen diferentes métodos y análisis de sistemas para la generación de estrategias:

Primero, según Faludi y Agogino (2018) en el artículo “Que prácticas de diseño utilizan los profesionales para la sostenibilidad e innovación”, se tiene información recopilada de diferentes entrevistas a diseñadores, ingenieros, gerentes y especialistas en sostenibilidad, las cuales muestran que valoran una amplia gama de prácticas de diseño tradicionales y sostenibles.

Las prácticas de diseño valoradas tanto para la sostenibilidad como para la innovación fueron el Pensamiento Sistémico, El Paso Natural, la Investigación, la Analogía, la Cultura de la Empresa y el mapeo de Todo el Sistema.

Dentro de las prácticas de diseño mencionadas y valoradas por los entrevistados del artículo se encuentran:

- Green Goals Strategies: Integra sostenibilidad ambiental en diseño, producción y gestión. Optimizando recursos y generando bienestar
- Lyfe cycle assessment: Metodología para evaluar impactos ambientales de un producto y/o servicio a lo largo de todas las etapas del proceso.
- Lluvia de Ideas: Técnica para la generación de ideas creativas y/o soluciones innovadoras de acuerdo con el problema planteado.

Por otro lado, existen otros sistemas de pensamiento sistémico, los cuales fueron poco mencionados en el artículo, pero son valorados por características como innovación y sostenibilidad

- Whole System Mapping: Metodología que permite analizar un product y/o servicio como un sistema completo y considera las interacciones para buscar mejoras en sostenibilidad y resolver el problema, integra el LCA.
- Agile/ Lean: Metodología centrada en la optimización de procesos, participando en la eliminación de desperdicios y mejorando continuamente la eficiencia integrando objetivos de sostenibilidad.

Las prácticas de diseño valoradas por Faludi y Agogino (2018), para la sostenibilidad y la innovación fueron el pensamiento sistémico, el paso natural, la investigación y la analogía. En general, los resultados ayudan a tomar decisiones conscientes sobre que herramientas o actividades utilizar en el proceso de diseño, para impulsar tanto la sostenibilidad como la innovación.

Segundo, la dinámica de sistemas es una técnica utilizada para comprender comportamientos complejos de los sistemas a través de la construcción de modelos y es útil para conceptualizar las relaciones entre varios factores dinámicos que interactúan e identificar posibles puntos de intervención dentro del sistema donde las innovaciones específicas podrían tener el mayor impacto o encontrar la mayor resistencia, como lo menciona Morasae et al.

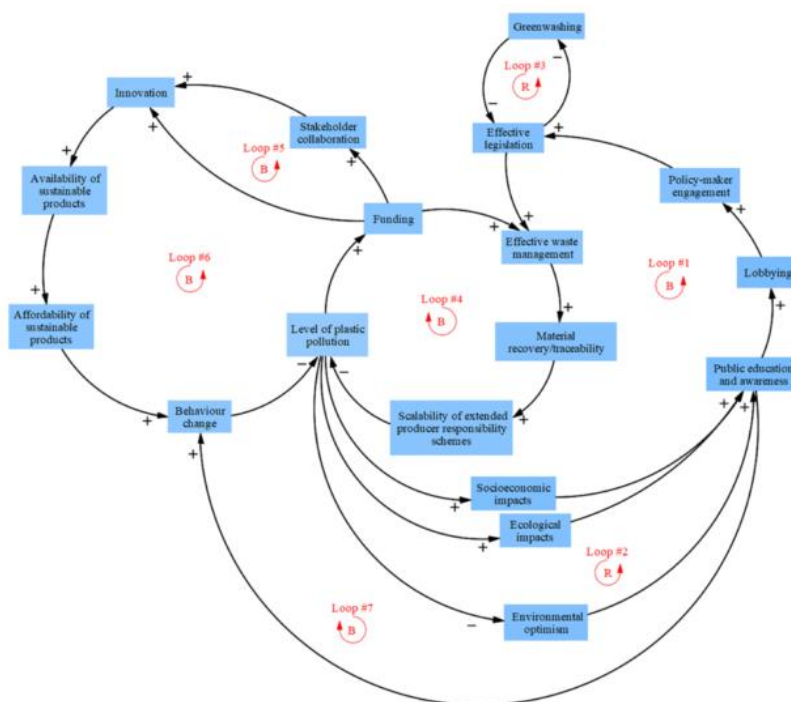
(2024), en su artículo “Uso del mapeo de sistemas para comprender las limitaciones y los facilitadores de las soluciones a la contaminación plástica”

Basados en el artículo, veinticinco participantes investigadores científicos de diferentes áreas profesiones y nacionalidades que trabajan en la contaminación por plásticos, completaron una serie de actividades a través de un ejercicio interactivo e iterativo de construcción de modelos grupales durante un taller de un día. El proceso culminó con la generación de un diagrama de bucle causal como se observa en la Figura 2, basado en las perspectivas de los participantes, que muestra los factores dinámicos relacionados con las limitaciones y los facilitadores de las soluciones a la contaminación por plásticos.

El mapeo de sistemas, mediante bucle causal hace hincapié en la necesidad de intervenciones sistémicas integrales para hacer frente al problema actual y cada vez más complejo de la contaminación por plásticos.

Figura 2

Diagrama de bucle causal - Descripción general de las relaciones con las barreras y los facilitadores para encontrar soluciones para la contaminación plástica.



Nota. Tomado de *Using systems mapping to understand the constraints and enablers of solutions to plastic pollution*, de Morasae, E. K., Botterell, Z. L. R., Andrews, S., Beaumont, N., Boisseaux, P., Chadwick, H. M., Cherrington, R., Cole, M., Coppock, R., Deakin, K., Duncan, E. M., Flor, D., Galloway, T. S., Garrard, S. L., Godley, B. J., Harley-Nyang, D., Lewis, C., Lindeque, P. K., McCutcheon, P., Nelms, S. E. (2024)

Este sistema de mapeo visual muestra los factores y subsistemas que influyen en el desarrollo de soluciones al problema de la contaminación por plásticos a través de las relaciones

causa y efecto, además muestra que están interrelacionados mediante las variables interconectadas con enlaces causales que son las flechas, signos de enlace “+” o “-” que indican si la influencia es positiva o negativa.

Tercero, Hutchens, et al. (2013) en el análisis del ciclo de vida “Creando un refrigerados más sostenible” explica las comparaciones de análisis del ciclo de vida del producto (LCA), el mapa del sistema, las prioridades y métricas, la matriz de decisión y la elección final del diseño. Este análisis lo realizo basado en un modelo de refrigerador tradicional con el fin de determinar las oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad. Con base en las prioridades generadas y el análisis del LCA, se generó la lluvia de ideas y la matriz de decisión, identificando oportunidades de mejora y generando estrategias para la optimización desde el punto de vista energético, creando un modelo más sostenible y de sentido común. El Whole system mapping, que se muestra en la Figura 3, lo crea a partir de las interacciones del producto a mejorar con distintas interacciones con la cadena de valor, y las ideas se generan sobre el mismo WSM con el fin de encontrar y priorizar las que se evaluarán en la matriz para obtener las estrategias, como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Whole System Mapping para identificar las oportunidades de mejora del impacto del ciclo de vida de un refrigerador.

Tabla 5

Matriz de evaluación para las metodologías de generación de estrategias sostenibles

Nombre del Sistema	Peso	Green Goals Strategies	Life Cycle Assessment	Brainstorm	Whole System Mapping	Agile / Lean	Diagrama de Bucle
Evaluación de impactos	5	5	5	3	5	3	4
Definición de objetivos y alcance	5	5	5	5	5	5	5
Generación libre de ideas	4	1	5	5	5	4	4
Selección de soluciones	5	4	5	4	5	5	5
Pensamiento sistémico	5	3	2	1	5	3	5
Mejora continua	4	5	5	5	3	5	3
Optimización de Procesos	4	4	3	4	4	4	3
Equipos multidisciplinarios	2	2	2	2	2	5	1
Optimización de recursos	4	4	4	4	3	5	3
Total Calificación		145	157	141	164	162	149

Nota. Elaboración propia

Para la generación de estrategias sostenibles, destacan el Whole System Mapping y Agile/Lean por obtener las puntuaciones más altas, reflejando su robustez en pensamiento sistémico, mejora continua y optimización de procesos. Por otro lado, Life Cycle Assessment sobresale en evaluación de impactos y definición de objetivos. Esta comparación facilita seleccionar la metodología más adecuada según las necesidades del hospital, lo que permite generar estrategias para la innovación y la sostenibilidad en el proceso de la gestión de residuos.

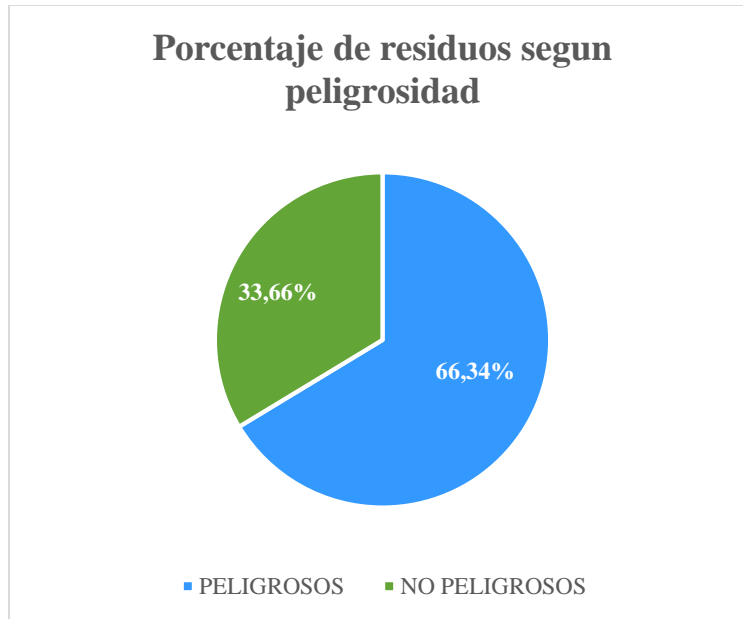
Residuos generados según su clasificación en las salas de cirugía y unidad renal

Para el desarrollo del objetivo del análisis del entorno en la gestión de los residuos del hospital, a partir de la visita realizada al hospital en las áreas de las 8 salas de cirugía y unidad renal, entrevistas, encuestas y lo reportado en el formato de Residuos Hospitalarios (RH1), el cual tiene la información de generación y manejo de residuos peligrosos y no peligrosos, reportadas diariamente por las áreas establecidas en el Plan de Gestión Integral de residuos sólidos hospitalarios y similares (PGIRSHYS). Además, se corroboró con lo reportado en el reporte Sistema de Información de residuos hospitalarios - SIRHO, aplicativo, en el cual se reportan los residuos hospitalarios a la secretaria Distrital de salud y con el reporte de Registro único ambiental (RUA) del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM) el cual exige el reporte del manejo de residuos peligrosos generados por las instituciones prestadoras de salud.

En cuanto a clasificación de residuos según su peligrosidad se encuentra que en general la relación es 2:1, teniendo una participación de residuos peligrosos del 66.34% y de no peligrosos del 33.66%, según se muestra en la Figura 4, demostrando que el Hospital genera una mayor cantidad de residuos peligrosos. Para las áreas de estudio, en la unidad renal, la participación de residuos no peligrosos es del 55% y la de peligrosos es del 45% y en las salas de cirugía los residuos con mayor porcentaje son los peligrosos con un 70% y un 30% de residuos no peligrosos.

Figura 4

Porcentaje de residuos según su peligrosidad



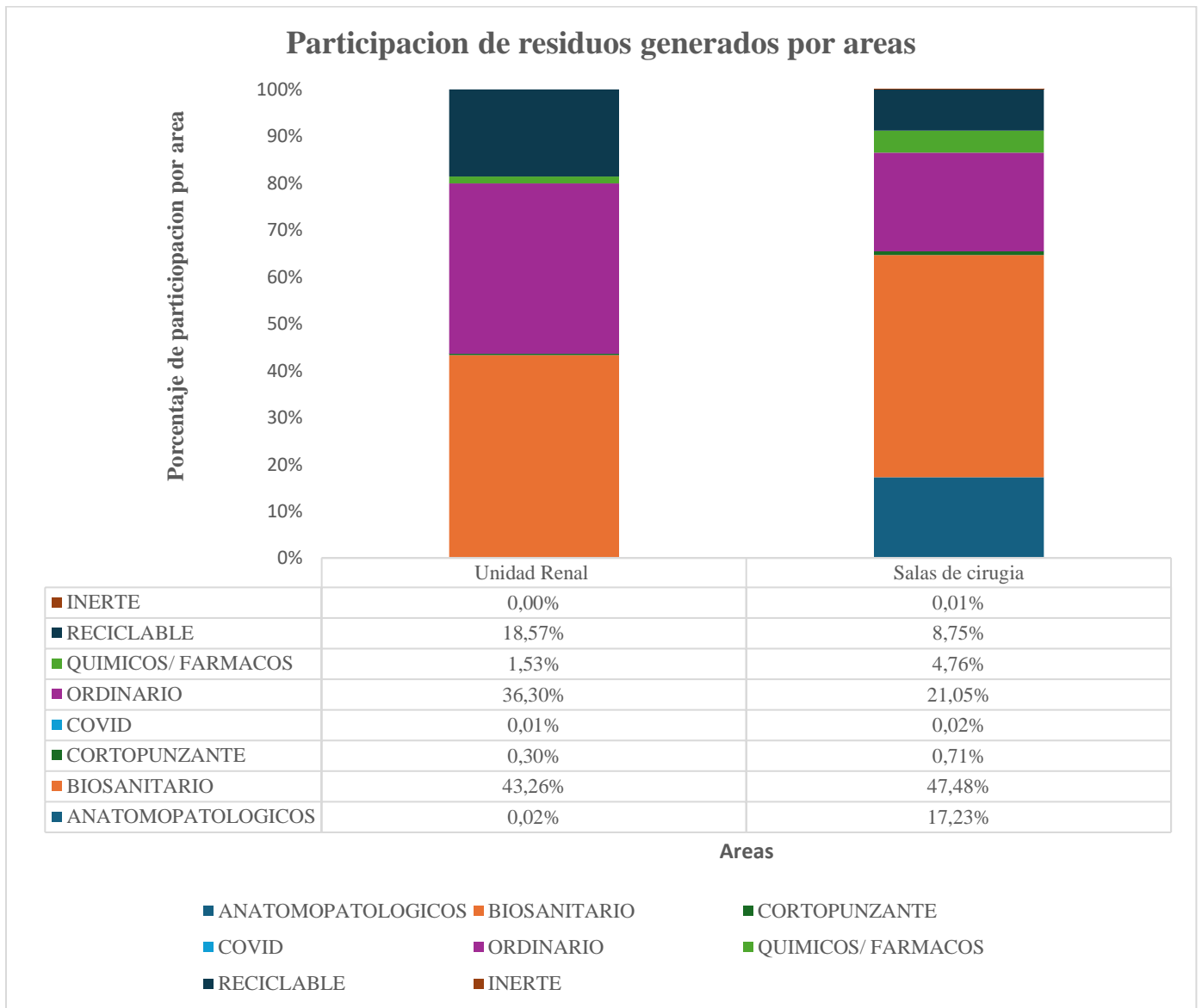
Nota. Elaboración propia

En general, la proporción de los residuos generados según la clasificación de los mismos se observa en la Figura 5 , para cada una de las áreas, unidad renal y salas de cirugía, el residuo predominante en ambas áreas es el relacionado a Residuos Biosanitarios con 43% y 47% respectivamente, reflejando la naturaleza de las actividades realizadas en las áreas, relacionadas al contacto de fluidos biológicos y materiales contaminados, seguido por los residuos ordinarios que participan con un 36% y 21% respectivamente, estos desechos hacen parte de los no peligrosos y se atribuyen a la atención diaria de pacientes. En menor medida se encuentran los residuos COVID ya que estos fueron generados únicamente en el periodo 2022, donde se desarrolló la pandemia y los residuos cortopunzantes los cuales tienen un porcentaje de

participación de 0.30% y 0.71% para estas áreas respectivamente, atribuidos a ciertos procedimientos. Cabe mencionar que los residuos anatomopatológicos solo se generan en sala de cirugía ya que son tejidos u órganos.

Figura 5

Clasificación de residuos según peligrosidad para unidad renal y salas de cirugía



Nota. Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 6 se detalla la cantidad de residuos por kilogramo, generados en las Salas de Cirugía y Unidad Renal en el Hospital durante el periodo 2022 al 2024.

Tabla 6

Cantidad de residuos generados en Salas de Cirugía y Unidad Renal

Residuos	2022		2023		2024		Total Salas de Cirugia (Kg)	Total Unidad Renal (Kg)
	Salas de Cirugia (Kg)	Unidad renal (Kg)	Salas de Cirugia (Kg)	Unidad renal (Kg)	Salas de Cirugia (Kg)	Unidad renal (Kg)		
Anatomopatologicos	5.385	1	5.107	2	5.672	0	16.164	3
Biosanitario	15.419	2.489	13.517	2.332	15.606	2.563	44.542	7.384
Cortopunzante	206	21	226	15	235	16	667	52
Covid	18	2	0	0	0	0	18	2
Inerte	1	0	1	0	5	0	7	0
Ordinario	7.617	2.215	6.508	1.899	5.620	2.083	19.745	6.197
Qf	1.334	55	1.305	107	1.829	100	4.468	262
Reciclable	2.839	1.068	2.614	1.059	2.757	1.043	8.210	3.170
Total general	32.819	5.851	29.278	5.414	31.724	5.805	93.821	17.070

Nota. Elaboración propia

Durante el periodo 2022-2024, en la tabla 5, se muestra que el hospital generó en las salas de cirugía 16,164 kg de residuos anatomopatológicos y 44,542 kg de residuos biosanitarios, ambos con incrementos significativos en el 2024 (10.5% y 13.5%, respectivamente), gestionados

mediante incineración y esterilización por Ecoentorno. En las dos áreas, los residuos biosanitarios y ordinarios presentan una tendencia estable, salvo un aumento puntual de residuos anatomopatológicos en 2023 para la Unidad Renal. Los residuos cortopunzantes, inertes, químicos y reciclables se mantienen en volúmenes menores y constantes, y los residuos asociados a COVID-19 los cuales se reportaron solo en el 2022. Se destaca una tendencia a la disminución en los residuos ordinarios y la constancia en los reciclables, aunque estos últimos no generan beneficios económicos para el hospital para lo cual hay una oportunidad en estudiar aquellos residuos que puedan tener un uso secundario. De los últimos tres años, el total de residuos generados en cirugía (93,821 kg) es mayor al de la unidad renal (17,070 kg), lo que evidencia una mayor intensidad y complejidad en las actividades quirúrgicas. Estos resultados resaltan la importancia de fortalecer las estrategias de segregación y gestión eficiente, especialmente en aquellos de mayor volumen y riesgo.

Análisis realizado a partir de las entrevistas “ Gestión de Residuos en Salas Quirúrgicas y Unidad Renal”

Las entrevistas se analizaron cualitativamente mediante la herramienta de nube de palabras, con el fin de obtener un recurso visual para mostrar aquellas palabras que se repitieron o fueron frecuentes durante cada una de las cuatro entrevistas. Las palabras que más se repitieron fueron gestión del cumplimiento, cambio, capacitación, residuos, proceso, entre otras, las cuales se observan en la Figura 6.

Figura 6

Nube de palabras generada a partir de las entrevistas



Nota. Elaborado con información de las entrevistas a través del generador de nubes de palabras y etiquetas online (s.f.).

Adicionalmente, a partir de las cuatro entrevistas se creó la Tabla 7, donde se organizaron las ideas principales, hechos concretos, dolores, ganancias, soluciones e ideas en las que el hospital está participando actualmente. Se observa una coincidencia en la importancia de la capacitación y la correcta separación de residuos como ejes centrales para mejorar la gestión ambiental dentro de la organización. Sin embargo, persisten retos significativos, como la baja adherencia a protocolos, la rotación de personal, la sobrecarga laboral y la falta de sentido de

pertenencia, lo que repercute en la disposición y segregación adecuada. Aunque existen avances en infraestructura y protocolos internos, la falta de seguimiento y el compromiso parcial del personal limitan la efectividad de las acciones implementadas. Las soluciones actuales se centran en la capacitación, señalización y recolección diferenciada, pero las ideas propuestas apuntan a fortalecer la cultura organizacional mediante incentivos, campañas visuales, auditorías internas y el establecimiento de metas de sostenibilidad, además de empezar a pensar en estrategias integrales como la generación de energía a partir de aquellos residuos que son peligrosos.

Tabla 7

Resultados e ideas mediante entrevistas realizadas al personal

Categoría	Entrevista 1	Entrevista 2	Entrevista 3	Entrevista 4
Ideas principales	Importancia de la separación y capacitación.	Necesidad de fortalecer cultura organizacional en manejo de residuos.	Conciencia del impacto ambiental, necesidad de mejora continua.	Importancia en el cumplimiento normativo y no impacto hacia el ambiente
Hechos	Existen rutas de residuos, capacitación es intermitente.	Se cuenta con protocolos, pero se incumplen en ocasiones quizá por temas de capacitación.	Hay normativas y manejo diferenciado, pero falta seguimiento por parte del área.	Hay establecida una ruta de residuos y capacitaciones según PGIRASA
Dolores	Mala disposición por parte del personal, falta de sentido de pertenencia	Baja adherencia a protocolos, sobrecarga laboral impide cumplimiento.	Poco control sobre el cumplimiento y correcta disposición.	Rotación de personal que hace que existan fallas en la disposición.

Ganancias	Se ha avanzado en infraestructura para disposición.	Personal conoce los códigos de residuos.	Compromiso parcial del personal con el proceso.	Infraestructura
Soluciones actuales	Capacitación, rutas establecidas, supervisión eventual.	Señalización, capacitación periódica.	Protocolos internos, recolección diferenciada.	Reciclaje y participación en ideas de cogeneración de energía
Ideas	Incorporar incentivos, establecer responsables por área.	Crear campañas visuales, establecer líderes ambientales.	Aplicar auditorías internas, incluir metas de sostenibilidad.	Cogeneración de energía a partir de los residuos peligrosos

Nota. Elaboración propia

Análisis realizado a partir de la encuesta " Gestión de Residuos en Salas Quirúrgicas y Unidad Renal"

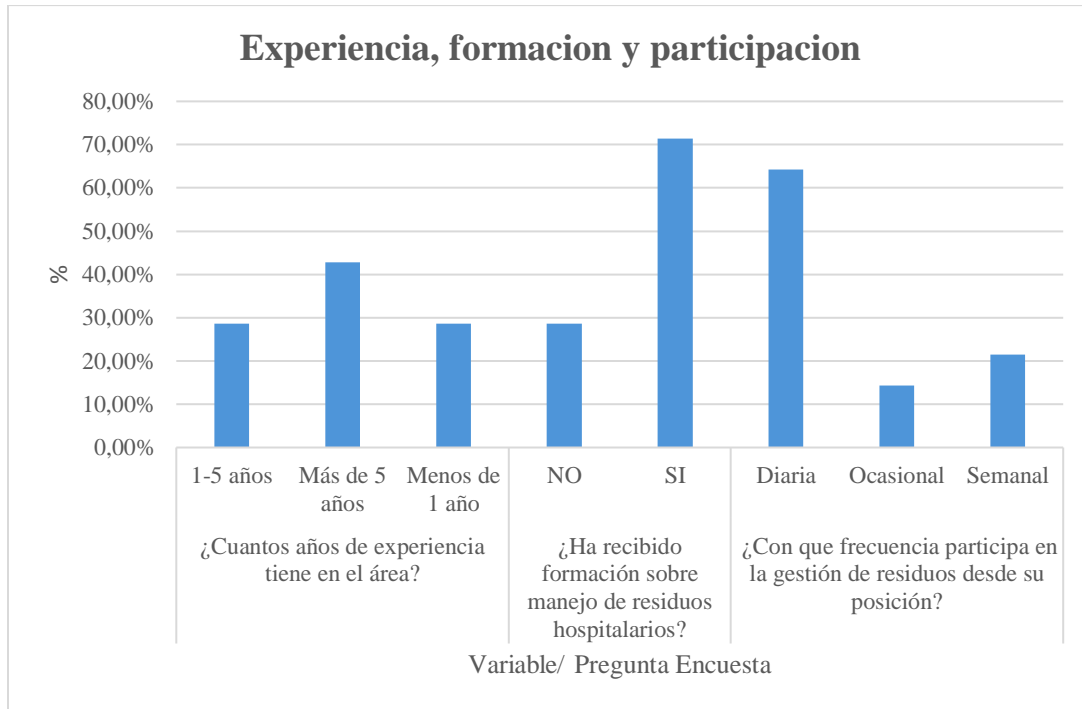
El análisis descriptivo de los resultados de la encuesta sobre la gestión de residuos hospitalarios realizadas al personal que participa en las áreas de salas de cirugía y unidad renal, 7 personas respectivamente dentro de cada área respondieron la encuesta mediante formulario de forms. El análisis, se realizó interrelacionando las variables para obtener un análisis estadístico descriptivo de la encuesta.

1. Experiencia, formación y participación

Según la encuesta, la mayoría de los participantes tienen más de 5 años de experiencia laboral (42.8%) y el restante (28.2%) entre 0 y 5 años en el área de unidad renal y salas de cirugías, De las personas que realizan estas actividades el (64.28%) gestiona residuos diariamente como se detalla en la Figura 7.

Figura 7

Análisis de variables de Experiencia, formación y participación según resultados de Encuesta



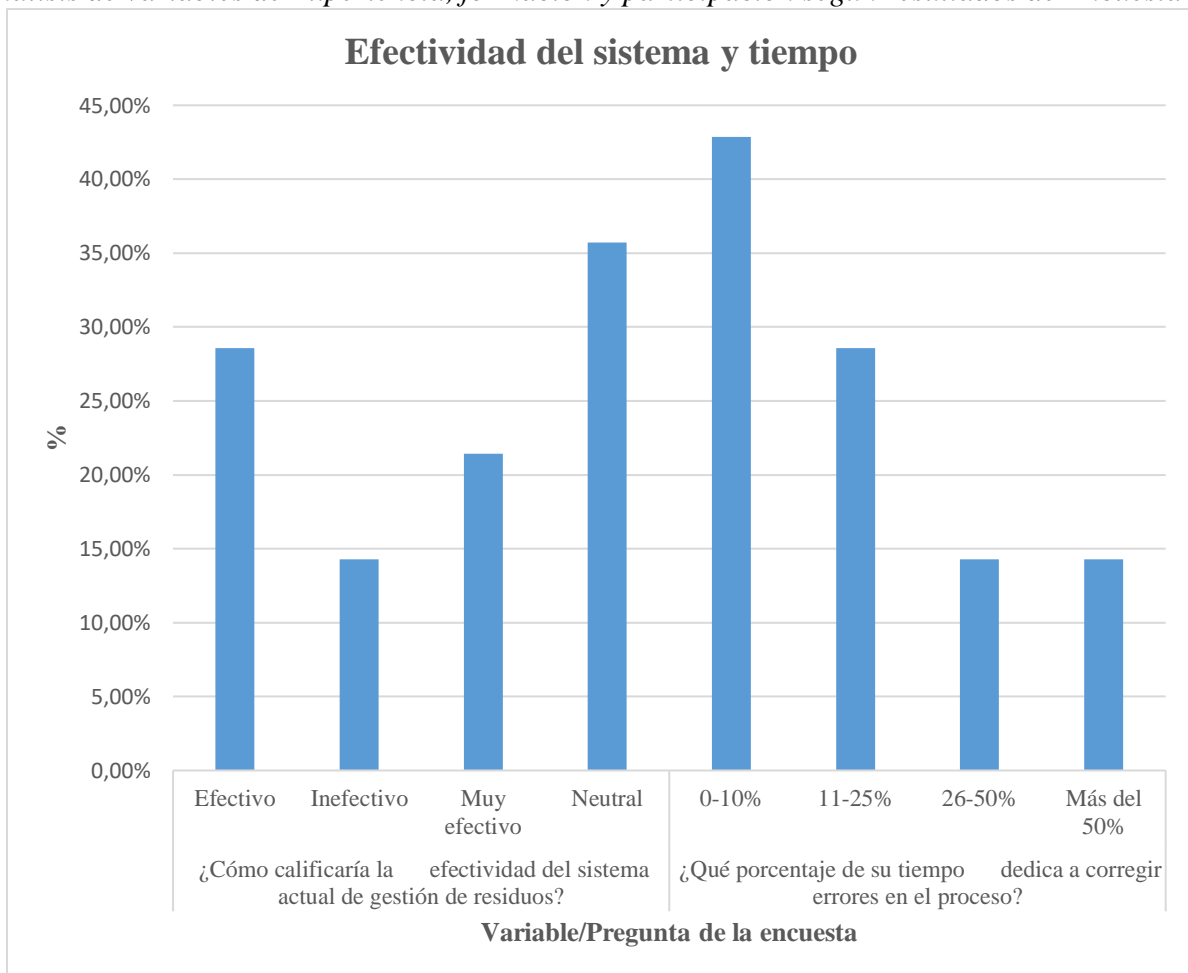
Nota. Elaboración propia

La mayoría de los encuestados calificó el sistema actual de gestión de residuos como neutral (35.7%) y efectivo (28.6%), un grupo menor lo señaló muy efectivo (21.4%) e inefectivo (14.2%). De acuerdo con estas respuestas, se evidencia que, aunque consideran el sistema neutral, se debería tener la percepción de un sistema de gestión de residuos muy efectivo, también los encuestados manifiestan que dedican a corregir errores en este proceso del 0% al 25% de su tiempo, por lo tanto, no se evidencia compromiso para mejorar la eficiencia del

sistema. Esto puede estar influenciado a que el 71.43% ha recibido formación en manejo de residuos, lo que indica que la percepción de los encuestados frente a la efectividad puede estar influenciada por la capacitación recibida, esto indica una percepción positiva, pero con áreas de mejora identificadas. Es decir, hay una parte del grupo que no ha recibido la capacitación y puede estar afectando en un 50% la efectividad, como se observa en la Figura 8.

Figura 8

Análisis de variables de Experiencia, formación y participación según resultados de Encuesta



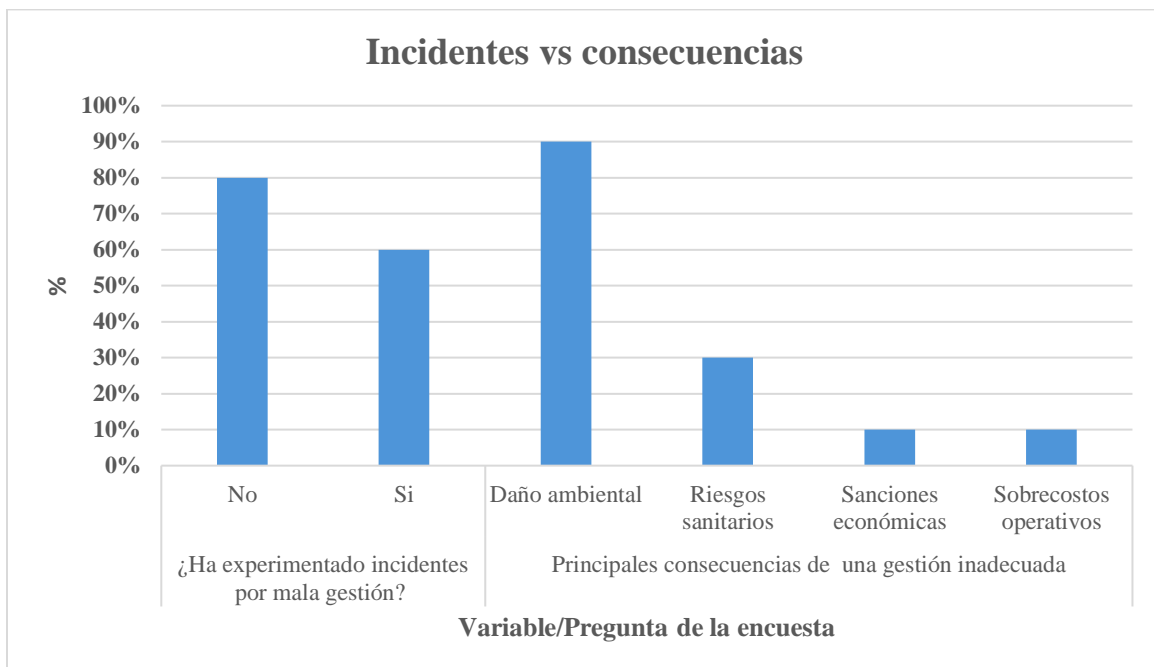
Nota. Elaboración propia

2. Incidentes y consecuencias

De acuerdo con los resultados de la encuesta, el 57% de la muestra no ha experimentado incidentes por mala gestión, por el contrario, el 43% se ha evidenciado incidentes con consecuencias percibidas con daño ambiental (90%) al tener una mala segregación de residuos y riesgos sanitarios (30%) al entrar en contacto con material peligroso, esto implica que suelen dedicar más tiempo a corregir errores en el proceso, como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Análisis de variables de Experiencia, formación y participación según resultados de Encuesta



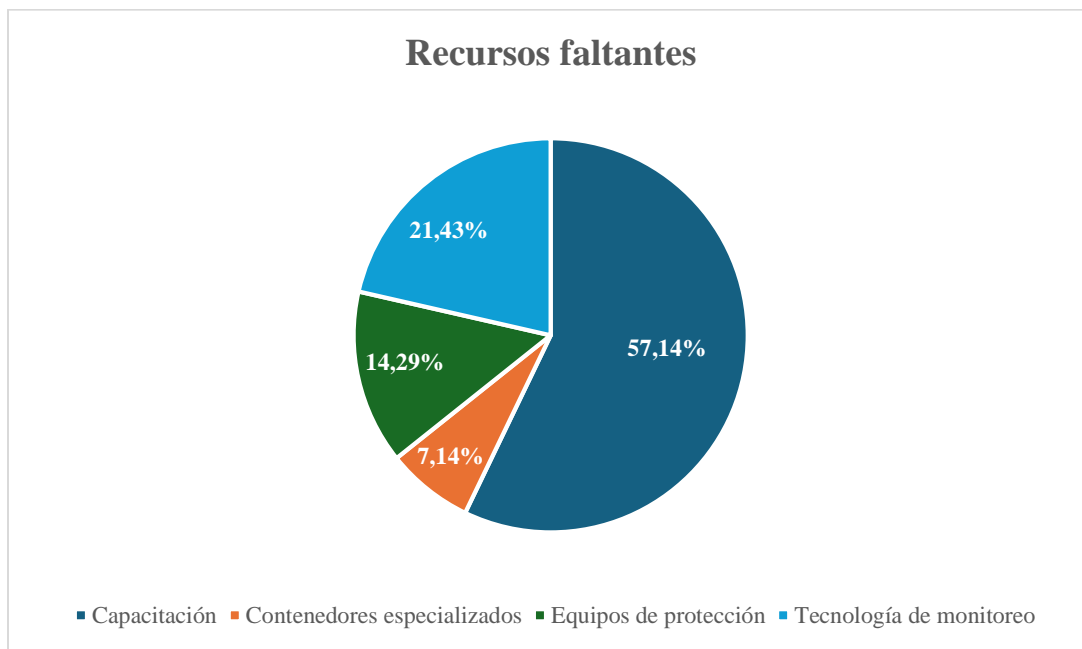
Nota. Elaboración propia

3. Causas de errores y recursos faltantes

Según la Figura 10, los principales desafíos para la gestión adecuada de residuos son la falta de formación, la infraestructura inadecuada y la sobrecarga de trabajo, siendo los recursos más solicitados para optimizar el proceso la capacitación con un 57.14%, los equipos de y tecnología de monitoreo con un 21.43%.

Figura 10

Análisis de variables de Experiencia, formación y participación según resultados de Encuesta



Nota. Elaboración propia

4. Sostenibilidad y propuestas de mejora

Dentro de las estrategias de sostenibilidad más mencionadas por los encuestados, en la Figura 11, se observa que, para mejorar la gestión de residuos, se encuentran: los programas de

reutilización (45.45%), alianzas con recicladoras (31.82%) y automatización en la clasificación (22.73%), adicionalmente se identificó que el 71% de los encuestados estarían dispuestos a participar en pruebas piloto de nuevas estrategias de sostenibilidad dependiendo de las condiciones de dichas pruebas. El 77.27% esta relacionado a estrategias a reciclaje sin embargo los programas de reutilización en el hospital no son viables ya que en el hospital todo debe ser grado medio por tanto la estrategia estaría destinada a la transformación secundaria de los residuos sólidos de origen PVC y PE.

Figura 11

Análisis de variables de Experiencia, formación y participación según resultados de Encuesta



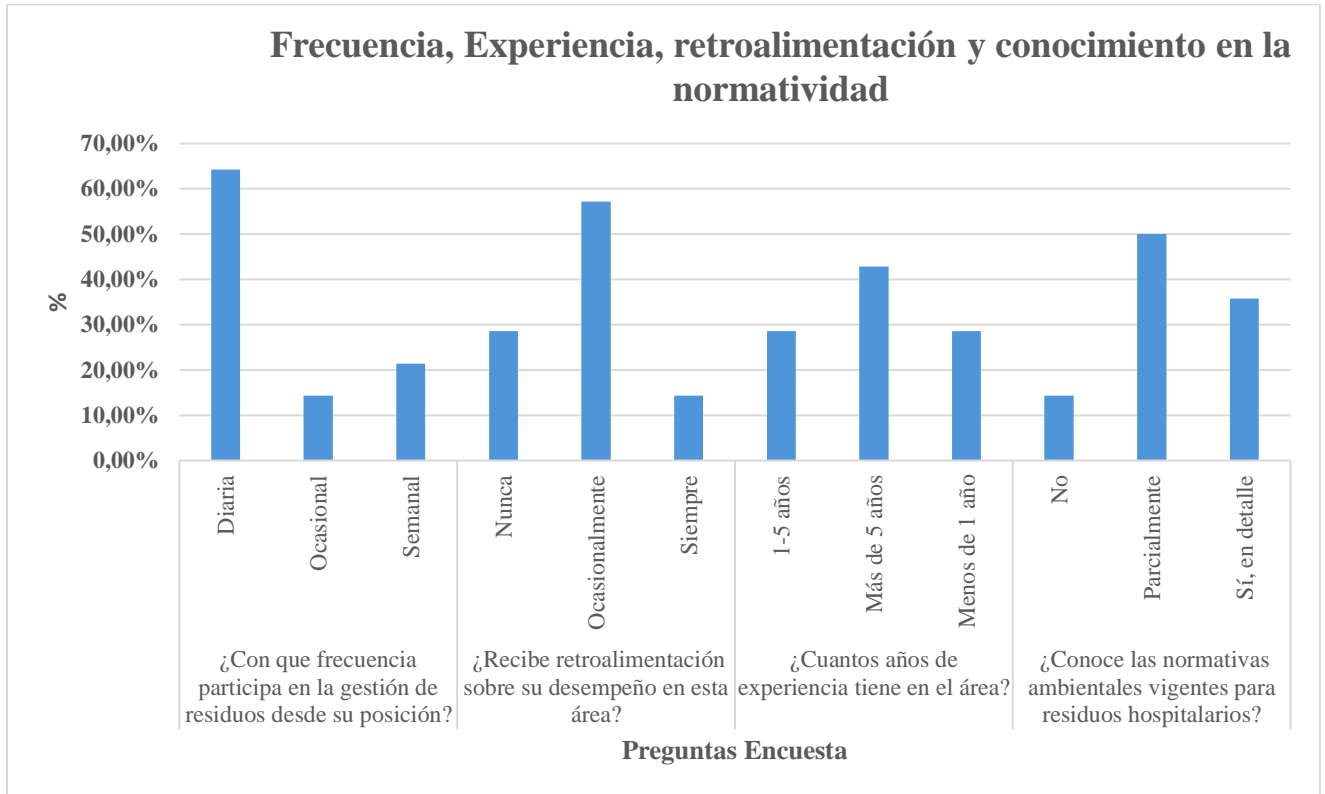
Nota. Elaboración propia

5. Frecuencia, Experiencia, retroalimentación y conocimiento en la normatividad

Se identificó que las diferentes frecuencias por parte de los encuestados en su mayoría tienen un manejo de residuos diario (64.2%), y el restante (35.8%) lo realizan de manera semanal u ocasionalmente, no obstante los trabajadores con mayor experiencia consideran que cometen mayores errores en la disposición de residuos y al mismo tiempo consideran que no reciben retroalimentación, ni supervisión por lo tanto, esta misma población no conoce la normatividad en detalle por lo estaría relacionado a la falta de formación, como se observa en la Figura 11.

Figura 11

Análisis de variables de Experiencia, formación y participación según resultados de Encuesta



Nota. Elaboración propia

Con base en el reporte de residuos aprovechables, para ambas salas, según lo reportado, el porcentaje de aprovechamiento en términos de residuos reciclables es de 10.3%.

$$\text{Porcentaje de residuos reciclables} = \frac{11.380}{110.891} \times 100 = 10.3\%$$

Actualmente, para el hospital no hay ingreso económico por la disposición final de los residuos sólidos, los residuos reciclables, estos se entregan a una Asociación de recicladores sin ningún ingreso por los residuos.

Implementación del Whole system mapping – WSM

Para la identificación y generación de estrategias se aplica la metodología del Whole System Mapping (WSM) como se muestra a continuación:

Objetivo del WSM: Aplicar la metodología de la herramienta Whole System Mapping para la generación de estrategias sostenibles en las salas de cirugía y unidad renal del hospital a partir de los residuos que contienen cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno (PE), así como de los residuos peligrosos.

1. Mapeo del Sistema: Diseño del sistema de la bolsa de PVC.

Mediante el análisis del entorno en la gestión de residuos observados en las salas de cirugía y unidad renal del hospital se identificó que dentro de los residuos ordinarios se tienen residuos cuyo material de origen son PVC y PE, los cuales podrían ser aprovechables, a partir de esta información, se genera el mapa completo del sistema de las bolsas de líquidos de bolsas intravenosas como se observa en la siguiente Figura 12.

Las interacciones de las bolsas de líquidos intravenosos con su entorno son:

1. Materia Prima y proceso de fabricación:

Según lo indica Toprakçı, et al. (2024). El PVC se clasifica en dos grandes categorías: PVC flexible (fPVC) y PVC rígido (rPVC). El PVC flexible, también conocido como PVC

plastificado, suele tener una densidad de entre 1,1 y 1,35 g/ cm³. Es el que se utiliza para las bolsas de líquido intravenoso, se sintetiza añadiendo plastificantes compatibles al PVC puro para reducir la cristalinidad . El proceso de obtención se realiza mediante calandrado, el cual somete una lámina de plástico a altas presiones y temperaturas para obtener el compuesto flexible (Groover, 1997).

Cabe resaltar que el alto contenido de cloro en el PVC imparte estabilidad química, alta durabilidad y alta termoestabilidad. (European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, 2008).

2. Proveedores

Los proveedores fabrican la bolsa de líquido intravenoso utilizando la materia prima de PVC de grado médico, estas bolsas son comercializadas a quien fabrica los sueros intravenosos a las empresas, según Baxter International Inc (2025), las soluciones intravenosas se elaboran en ambientes controlados, utilizando equipos y procedimientos autorizados que garantizan el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Fabricación (BPF). Una vez completado el proceso de producción, las bolsas se trasladan al área de distribución para su entrega al cliente final.

3. Distribución

La distribución se da a partir del momento que sale de la planta de fabricación a los centros de distribución mediante transporte terrestre y de los centros de distribución se hace entrega a las farmacias hospitalarias y otras áreas de almacenamiento.

4. Almacén

De acuerdo con la visita realizada en el hospital, en el almacén, las bolsas son gestionadas para su posterior entrega al personal médico o de enfermería, quienes las administran a los pacientes en sus respectivos tratamientos.

5. Uso con el paciente

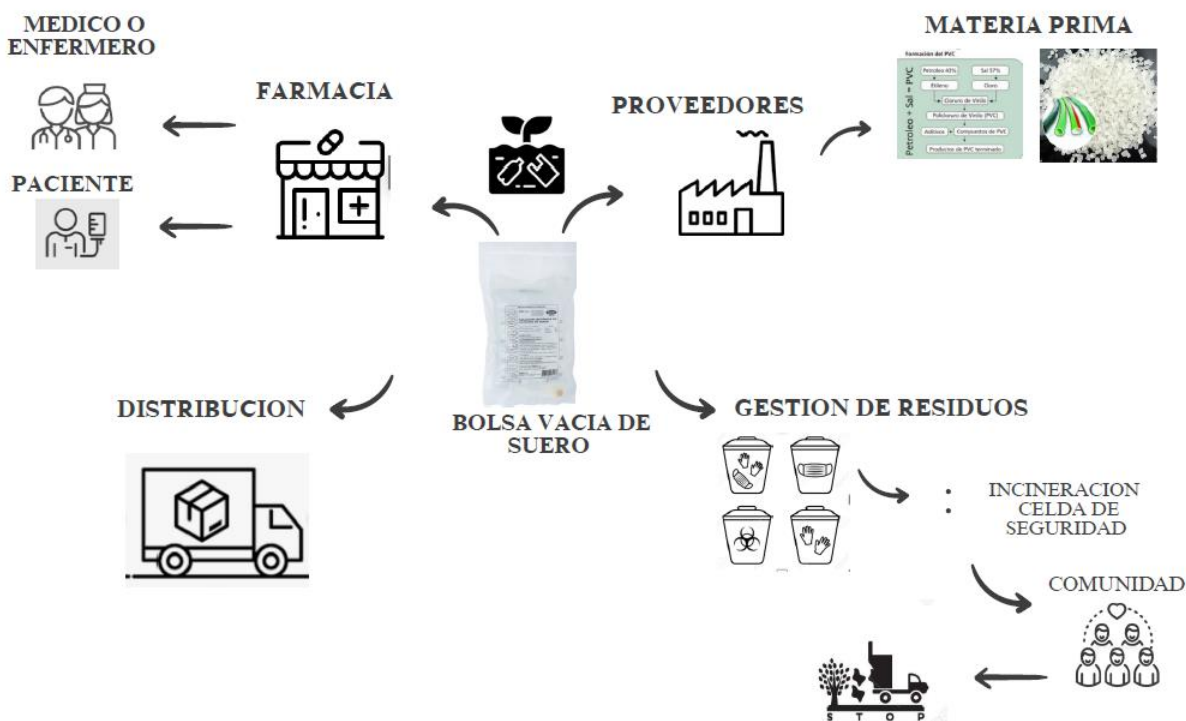
El paciente recibe el tratamiento con el suero, mediante la bolsa de líquido intravenoso según el tratamiento requerido y las indicaciones del médico tratante.

6. Gestión de residuos

Luego de su uso, la bolsa vacía de suero se convierte en un residuo hospitalario si ha entrado en contacto con fluidos corporales o medicamentos. La bolsa vacía es clasificada y depositada en contenedores de residuos (puede incluir residuos infecciosos o peligrosos, dependiendo del uso). Los residuos se gestionan siguiendo protocolos hospitalarios de seguridad según lo establecido por el PGIRASA teniendo como aliado al gestor externo Ecoentorno, quien realiza el tratamiento a través de incineración y la disposición se realiza mediante celda de seguridad.

Figura 12

Diseño del Sistema de mapeo actual



Nota. Elaboración propia

Establecer prioridades basadas en la evaluación del ciclo de vida

Para el LCA no hay que considerar todo el Mapeo del sistema, el más grande impacto ambiental de la bolsa ocurre en:

Ciclo de vida del PVC: En esta etapa del proceso del WSM se revisan cuáles son los más grandes impactos ambientales que tienen las bolsas de líquidos intravenosos, de acuerdo con la ficha técnica, la composición de estas bolsas que corresponde a PVC (plástico grado medico) y el

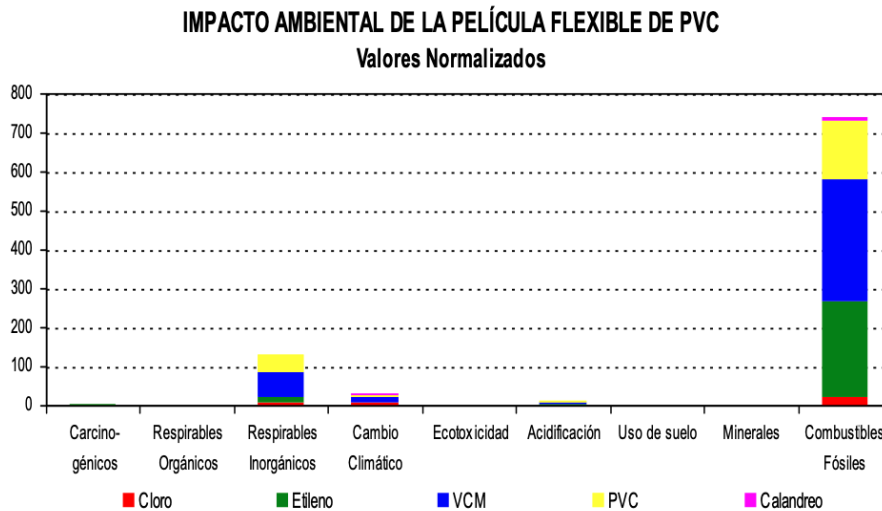
empaque secundario se refiere a “empacado individualmente sobre bolsa de Polietileno de alta densidad”.

A partir del LCA para el proceso de calandreo según la Figura 13 los principales contribuyentes al impacto ambiental son el monómero de cloruro de vinilo, el etileno y la resina de PVC, los cuales afectan directamente el consumo de combustibles fósiles, así mismo el proceso de calandreo afecta directamente el cambio climático y el consume de combustibles fósiles (Asociación Nacional de la Industria Química, 2006).

Para la aplicación de la metodología del Whole System Mapping, no se va a tomar la afectación que tiene la fabricación de la película flexible, sino la afectación que tiene la bolsa de PVC vacía en la matriz suelo ya que esta normalmente va a incineración y posteriormente a celda de seguridad como disposición final, por esto se tiene que debido a la limitada fotoxidación y a las escasas condiciones oxigenadas para la degradación, según Montegiove et al, (2023) estas bolsas pueden persistir en los suelos por más de 100 años.

Figura 13

Contribución al impacto ambiental en películas flexibles de PVC - LCA



Nota. Tomado de *Estudio estratégico: Ciclo de vida del PVC* de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ). (2006).

Prioridades: Las prioridades se establecen de acuerdo con el impacto ambiental identificado mediante el LCA, es viable tener tres prioridades, una para el ambiente, una para el negocio y para el usuario y/o comunidad (VentureWell, s.f.).

Prioridad 1- Ambiente: Minimizar la generación de bolsas como residuo ordinario y empezar a volverlas material reciclado para transformación secundaria y reducir la cantidad y los efectos de la contaminación por material de cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno (PE) que llegan al suelo mediante disposición y tratamiento a través de celdas de seguridad.

Prioridad 2 – Negocio: Separar en la fuente los plásticos mediante tecnologías como la técnica de fluorescencia de rayos basada en la naturaleza orgánica del polímero, la cual se usa para separar el PVC del PET. Adicionalmente, la automatización y digitalización en el formato RH1 en la gestión de los residuos ayudaría a disminuir la carga de trabajo y un sistema eficiente de trazabilidad digitalizado, teniendo el flujo de residuos desde que se generan hasta que se disponen en tiempo real. Por otra parte, la creación del programa de lecciones aprendidas que puede generar concientización en los colaboradores y personal involucrado para la correcta segregación de residuos.

Prioridad 3 – Social: Generar alianzas con empresas que realicen reciclaje secundario, también conocido como reciclaje mecánico, esto implica la recolección, separación y clasificación para la producción de baldosas, techos y mobiliario para poder generar proyectos de construcción sociales que ayuden a mejorar condiciones de la población. Las empresas aliadas deben tener tecnologías para reciclaje secundario en extrusión por tornillo, triturado, moldeo por inyección y moldeo (Joseph et al, 2021).

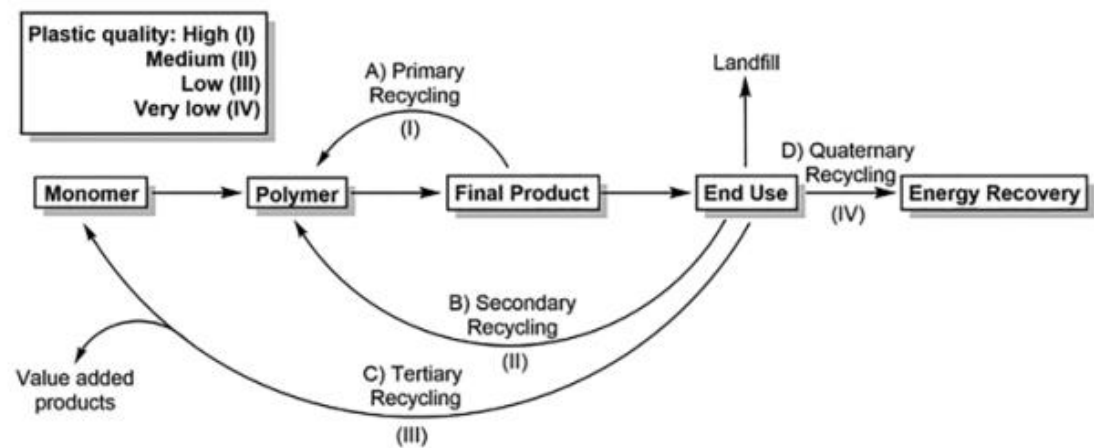
2. Lluvia de ideas

En el Anexo D- Lluvia de ideas del Whole System Mapping, se identificaron 16 ideas centradas en la disposición de los residuos, considerando cada uno de los nodos del sistema, con el objetivo de generar propuestas orientadas a mejorar la eficiencia y minimizar los impactos, basándose en los aportes obtenidos de los actores involucrados en la investigación, a partir de los resultados analizados de las encuestas, entrevistas y búsqueda bibliográfica como lo indica

Joseph et al. (2021) en la Figura 14. Se establecen ideas como co generación de energía a partir de residuos plásticos y/o biológicos, la transformación secundaria del PVC o PE, así como el reciclaje en la fuente.

Figura 14

La calidad del plástico asociada a diferentes estrategias de reciclaje de plástico.



Nota. Tomado de, *Recycling of medical plastics*, de Joseph, B., James, J., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2021).

Elección de ideas ganadoras según las prioridades: A partir de la Tabla 7 se evaluaron las propuestas más relevantes, eligiendo las prioridades y su potencial de impacto para el desarrollo de estrategias sostenibles en la gestión de residuos.

Tabla 7

Matriz para la evaluación de ideas para generar estrategias a partir del WSM

Prioridades	Peso	Transformación Secundaria/ Reciclaje Mecánico	Cogeneración de energía	Técnicas de clasificación automatizada	Buenas prácticas en tipos de plásticos desde la fuente	Lecciones aprendidas de los incidentes relacionados a la gestión de residuos
Prioridad 1- Ambiente	5	5	5	5	5	5
Prioridad 2- Negocio	3	4	4	2	5	4
Prioridad 3 - Social	5	5	4	3	2	3
Total		62	57	46	50	52

Nota. Elaboración propia

El análisis de la matriz de prioridades para la generación de estrategias a partir del WSM indica que la prioridad ambiental y social tienen un peso considerablemente alto en la evaluación de ideas, en comparación con la prioridad de negocio. Las estrategias como la transformación secundaria/reciclaje mecánico y la cogeneración de energía obtienen las puntuaciones más elevadas, reflejando una clara orientación hacia iniciativas que aportan beneficios tanto ambientales como sociales. Por otro lado, la capacitación en tipos de plásticos y las técnicas de clasificación automatizada, aunque relevantes, muestran una menor ponderación, especialmente desde la perspectiva de negocio, lo que significa que su impacto económico es percibido como

limitado frente a las otras alternativas. En general, la tabla evidencia que las estrategias pueden direccionarse en acciones que contribuyen de manera integral a la sostenibilidad.

A partir de estos resultados al diseño del sistema de mapeo actual sobre el nodo relacionado a la generación de residuos se obtiene el mapeo con las estrategias priorizadas en la Figura 14.

Figura 14

Propuesta de Sistema de Mapeo a partir de las ideas ganadoras



Nota. Elaboración propia

A partir de la Figura 13 en donde se observa un diseño integral que abarca todas las etapas del ciclo de vida de la bolsa de líquidos intravenosos, desde la adquisición de materia prima hasta la disposición final y la generación de valor. En la Figura 14 se destaca las

prioridades ganadoras de la Matriz mostrada en la Tabla 7 sobre las estrategias y se priorizan los procesos como la segregación, cogeneración de energía y automatización, lo que no solo optimiza el manejo de los desechos, sino que también promueve la sostenibilidad. Además, la inclusión de lecciones aprendidas y la retroalimentación de los diferentes actores permite un proceso de mejora continua, asegurando que la gestión de residuos hospitalarios sea eficiente, segura y alineada con principios de economía circular, responsabilidad social y acorde a la legislación actual.

Estrategias

Al tomar medidas de reciclaje efectivas, no solo se está reduciendo la contaminación plástica, sino que también se está ahorrando energía y emisiones de efecto invernadero, es por esto que se generaron tres estrategias que contribuyen a la sostenibilidad dentro de la gestión de residuos del hospital, la transformación secundaria o reciclaje mecánico, la cogeneración de energía y las lecciones aprendidas de los incidentes presentados en la gestión de residuos, las cuales ayudarían a para promover la sostenibilidad y optimizar el aprovechamiento de residuos de material PVC que se encuentran en las bolsas intravenosas.

Primero, la estrategia de reciclaje mecánico, la cual está orientada a procesar aproximadamente 610 kg/año de residuos provenientes de áreas como salas de cirugía y unidad renal. Según Bauer et al. (2022), reciclar plásticos en lugar de incinerarlos reduce las emisiones de gases de efecto invernadero entre 1.1 y 3.0 kg de CO₂ por cada kilogramo de plástico, en comparación con la producción de plástico virgen. Aplicando este promedio, el reciclaje de 610

kg de PVC flexible permitiría evitar la emisión aproximada de 1,250 kg de CO₂, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático. Por esto, se busca establecer alianzas con empresas especializadas como Proplanet, Azembla y Deseunique con sedes en Colombia, que cuentan con la tecnología para procesar el PVC y transformarlo en productos útiles como techos, baldosas y mobiliario, generando además un impacto social positivo. Este proceso no solo evita que el PVC flexible termine en rellenos sanitarios o actividades de incineración, donde puede persistir por más de 100 años y liberar sustancias tóxicas que contaminan suelos y acuíferos (Montegiove et al., 2023), sino que también cierra el ciclo de vida de las bolsas de líquidos intravenosos generadas en las áreas de salas de cirugía y unidad renal, promoviendo una economía circular responsable y sostenible. Según información del hospital, el costo de disposición de residuo químico o peligroso es de \$1050 por kilogramo, por lo tanto, si se dejaran de disponer los 610 Kg, se estaría ahorrando \$640.500 pesos colombianos además en el impacto de reducción de CO₂.

Segundo, el porcentaje de residuos peligrosos generados en las áreas es de 66.34% que en promedio representa 24.523 Kg/año. La estrategia de cogeneración de energía a través de la incineración controlada de residuos biológicos peligrosos de cloruro de polivinilo (PVC), como mascarillas, bolsas de líquidos intravenosos, guantes de latex, entre otros que su origen plástico proviene de cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), polietileno de alta densidad (HDPE) y tereftalato de polietileno (PET) los cuales tienen un poder calorífico considerable para poder generar energía mediante incineración y turbinas de vapor (Bharadwaj, 2025).

En la Tabla 8 se evidencian las capacidades caloríficas (CV) para los residuos médicos, residuos peligrosos, el PVC y los residuos domésticos.

Tabla 8

Capacidades caloríficas de materiales y residuos

Tipo de Material	CV (MJ/Kg)
Residuos Médicos	19-20
Residuos peligrosos/ Industriales	22-40
Residuos Domésticos (Sin reciclar)	7-16
PVC	41

Nota. Elaboración propia. Tomado de Calorific value of waste. Igniss Energy. (2025).

A partir de la Tabla 8 aunque el PVC es aquel que mayor poder calorífico tiene, hay que tener en cuenta que el estudio se va a realizar con los residuos médicos generados en ambas áreas, por lo tanto, se tomó el valor de 19 MJ/Kg como capacidad calorífica para los cálculos como se muestra a continuación:

Se realizó la conversión de los 19 MJ/Kg a kWh/Kg, obteniendo 5,27 kWh/Kg

$$19 \frac{MJ}{Kg} * \frac{1000 KJ}{1 MJ} = 19000 \frac{kJ}{Kg}$$

$$1kWh = 3600 kJ$$

$$19000 \frac{kJ}{Kg} * \frac{1 kWh}{3600 kJ} = 5,27 \frac{kWh}{Kg}$$

El hospital genera en promedio 24.520 Kg de residuos al año, por lo tanto, este valor reflejado en consumo de energía representa 129220 kWh/Año.

$$24520 \frac{Kg}{Año} * 5,27 \frac{kWh}{Kg} = 129220 \frac{kWh}{Año}$$

La eficiencia en la utilización de la energía contenida en los residuos suele ser mayor cuando el calor generado durante la incineración se aprovecha directamente, como calefacción central, vapor industrial u otros usos térmicos, o si se combina con la producción de electricidad. La implementación de este tipo de sistemas está condicionada por la ubicación de la planta, la presencia de un consumidor constante y confiable de la energía producida (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, & Comisión Europea, 2011).

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y Comisión Europea (2011, p. 109), la eficiencia térmica reportada para plantas de cogeneración de calor y electricidad está en un rango de 70-85%, por lo tanto, para $129220 \frac{kWh}{Año}$, con un promedio de eficiencia de 77.5%, se obtienen $100145 \frac{kWh}{año}$.

$$77.5\% x 129220 \frac{kWh}{Año} = 100145 \frac{kWh}{año}$$

Santamaría (2023), analiza el consumo básico de energía eléctrica en Colombia y su impacto en la asignación de subsidio, para Bogotá, el consumo promedio de energía por hogar está en 130 kWh/mes. Además, según la facturación de energía de la empresa Enel para el hospital, el valor por kWh aplicado es \$843.71, por lo tanto $100145 \frac{kWh}{año}$ en dinero se ve reflejado en \$84.493.338 COP de ahorro.

$$100145 \frac{kWh}{año} * \$843.71 = \$ 84.493.338$$

Por lo anteriormente analizado y según lo indica Joseph et al., (2021) aunque la incineración de PVC requiere sistemas avanzados de neutralización para evitar la emisión de gases ácidos y dioxinas, la cogeneración permite reducir el volumen de residuos y sustituir fuentes energéticas fósiles, disminuyendo la huella ambiental del hospital. Esta estrategia promueve un manejo responsable de los residuos hospitalarios peligrosos, alineado con los principios de economía circular y sostenibilidad socioambiental, generando beneficios económicos al optimizar recursos y reducir costos de disposición final.

Tercero, según la información recolectada en los instrumentos de recolección de datos primarios (encuestas y entrevistas realizadas al hospital en las salas de cirugía y unidad renal), sobre los eventos de incidentes por mala gestión el 42.86% manifestó que si han ocurrido incidentes, además, el 40% de la muestra manifestaron no estar formados y/o capacitados en el manejo de residuos, de esta manera la estrategia consiste en disminuir la ocurrencia de accidentes, a través de diseñar e implementar un programa institucional para identificar, analizar,

documentar, difundir y aplicar lecciones aprendidas derivadas de eventos o incidentes relacionados con la mala gestión de residuos hospitalarios. Al tener este programa de lecciones aprendidas puede generar concientización en la población, lo que haría que se sintieran más capacitados y preparados para la correcta segregación de residuos, con el fin de prevenir su repetición y fortalecer la cultura de seguridad y sostenibilidad.

Conclusiones

1. A partir del análisis realizado en las salas de cirugía y la unidad renal, se evidenció que el 66.34% de los residuos generados son peligrosos y el 33.66% no peligrosos. Las entrevistas resaltaron la importancia de la capacitación y concientización del personal, aunque también identificaron problemas como la rotación frecuente y la sobrecarga laboral. Por su parte, las encuestas mostraron que un 43% del personal ha percibido incidentes relacionados con el manejo de residuos y un 57% reconoció la falta de formación adecuada; además, un 45.45% manifestó interés en implementar programas de reutilización para mejorar la sostenibilidad. Dado que en el hospital no es posible reutilizar plástico directamente, se propuso la estrategia de transformación secundaria mediante alianzas con empresas especializadas en tecnología para la transformación del PVC. Adicionalmente el estudio de la metodología del Whole System Mapping permitió desarrollar tres estrategias que contribuyen a reducir la generación de CO₂ en 1.250 kg, generar una cogeneración energética de 100.145 kWh/año y lograr un ahorro económico de \$84.493.338.

2. La combinación de métodos de mapeo sistémico con técnicas participativas, como la construcción colectiva de modelos y diagramas causales, contribuye a comprender mejor las dinámicas complejas y los factores interrelacionados que afectan problemáticas ambientales asociadas a la gestión de residuos sólidos en un hospital como los plásticos. Esta metodología permite identificar puntos críticos de intervención y diseñar soluciones sistémicas integrales, generando ideas para establecer estrategias innovadoras y efectivas para la gestión sostenible de residuos. La ponderación realizada a cada una de las metodologías ayuda a la selección adecuada según las necesidades y prioridades del sistema.
3. La aplicación de la Metodología Whole System Mapping (WSM) en la gestión de residuos que contienen cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno (PE) y en general aquellos residuos de origen peligroso en salas de cirugía y unidad renal permitió identificar estrategias para mejorar la sostenibilidad y la efectividad en la gestión de residuos del hospital, considerando todos los elementos del sistema de mapeo y sus interacciones. Con el análisis del ciclo de vida (LCA) se evidenció que el impacto a la matriz suelo por descomposición del PVC es de más de cien años. Para minimizar el daño ambiental, mejorar la eficiencia de la gestión de residuos y reducir los costos operativos del hospital, mediante las prioridades del WSM, se originó la estrategia de transformación secundaria, la cogeneración de energía y el programa de lecciones aprendidas en relación a los incidentes presentados por mala gestión de residuos, esto

permite al hospital un modelo de economía circular y responsabilidad social, reduciendo la huella ambiental.

4. A través de la estrategia de transformación secundaria, identificada mediante la aplicación de la metodología Whole System Mapping (WSM), se evidenció la viabilidad de establecer alianzas estratégicas con empresas que cuentan con la tecnología de transformación del PVC. Estas alianzas permitirían transformar bolsas de líquidos intravenosos flexible, en productos de valor agregado como techos, baldosas o mobiliario. Esta iniciativa no solo contribuye a cerrar el ciclo de vida del producto dentro de un modelo de economía circular, sino que además evita la disposición final del residuo en la matriz suelo reduciendo las emisiones de CO₂ de 1,250 kg de CO₂.
5. A partir del análisis realizado al entorno de las salas de cirugía y unidad renal en cuanto a la generación de residuos, se determinó que los residuos hospitalarios con un poder calorífico de 19 MJ/Kg y generación anual de 24520 Kg de residuos, representan un potencial energético de 129220 kWh al año para el hospital. Si se implementa un sistema de cogeneración con una eficiencia promedio del 77.5%, se podría alcanzar un aprovechamiento energético de 100145 kWh/año, este valor representa \$84.493.338 pesos colombianos anuales en ahorro.

Recomendaciones

-Realizar un estudio de factibilidad técnico económica y ambiental para la implementación de un sistema de cogeneración de energía a partir de la incineración de residuos hospitalarios peligrosos, que sea una tecnología que garantice el cumplimiento de la normativa, evitando la liberación de dioxinas, furanos y gases ácidos derivados de la incineración. Además, realizar una evaluación conjunta con hospitales, para tener una alianza y obtener una mayor cantidad final de residuos que se puedan procesar en el mismo sistema de cogeneración de energía.

-Digitalizar mediante automatización el formato Residuos Hospitalarios (RH1) en la gestión de los residuos, esto ayudaría a disminuir la carga de trabajo, la eficiencia y la trazabilidad en la gestión y posteriormente realizar una evaluación técnica-económica para la clasificación en la fuente de cada residuo de manera automatizada.

- Implementar un programa de capacitación continuo para el personal hospitalario, enfocado en la correcta segregación de residuos. Esta formación debe estar alineada con la normativa vigente y promover prácticas que aseguren la responsabilidad social y ambiental, fomentando la concientización individual y colectiva en la gestión eficiente de los residuos generados en el hospital. Además, incluir mecanismos de evaluación y retroalimentación para garantizar la aplicación efectiva de los conocimientos y prácticas adquiridas.

Referencias

- Anthesis Group. (s.f.). Beneficios del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Anthesis. Recuperado de <https://www.anthesisgroup.com/es/articulos/beneficios-del-analisis-del-ciclo-de-vida-acv/>
- Arias-Guillén, M., Martínez Cadenas, R., & Gómez, M. (2024). Desafíos ambientales en hemodiálisis: explorando la ruta hacia la sostenibilidad. *Nefrología* (44), 784-795. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2024.06.001>
- Bae, J. H., Ravinal, L., Barth, E., Yanda, M., Bae, D. S., Arato, G., & Lewandowski, K. (2024). The “6th R” of sustainability: Repurposing operating room waste for community benefit. *The American Journal of Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2024.115930>
- Banstola, D., Banstola, R. S., Nepal, D., & Baral, P. (2024). Knowledge, Attitude and Practice of Health Care Institutions and their Staff Involved in Hospital Solid Waste Management. *Journal of Institute of Medicine*, 39(3), 47–52. <https://doi.org/10.59779/jiomnepal.795>
- Bauer, F., Nielsen, T. D., Nilsson, L. J., Palm, E., Ericsson, K., Fråne, A., & Cullen, J. M. (2022). Plastics and climate change: Breaking carbon lock-ins through three mitigation pathways. *One Earth*, 5(4), 361–376. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.03.007>
- Baxter International Inc. (s.f.). Soluciones intravenosas e irrigación. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://emeamedicationdelivery-baxter->

com.translate.google/products/intravenous-irrigation-
solutions?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Berrachedi, R., Chaib, R., Kahoul, H., & Nettour, D. (2024). Towards a policy of continuous, sustainable improvement in hospital waste management: A case study. *International May Conference on Strategic Management – IMCSM24*, 370-378.

<https://doi.org/10.5937/IMCSM24037B>

Bharadwaj, A. V. S. L. S., Nayak, R. R., Koteswararao, J., Sampath, C., Gaddala, B., Pawar, B. G., & Gupta, N. K. (2025). Environmental life-cycle assessment and green principles in process intensification: A review of novel catalysts from solid waste. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 211, 110208.

<https://doi.org/10.1016/j.cep.2025.110208>

Centro de Competitividad y Sostenibilidad. (s.f.). La economía circular en el ámbito hospitalario: un reto por alcanzar. <https://ccs.org.co/portfolio/la-economia-circular-en-el-ambito-hospitalario-un-reto-por-alcanzar/#:~:text=Se%20puede%20concluir%20que%20llevar,asociada%20a%20las%20malas%20pr%C3%A1cticas.&text=OMS,..spc.2020.10.030>

Chartier, Y., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., Stringer, R., Townend, W., Wilburn S., & Zghondi, R. (2014) Safe management of wastes from health-care activities.

https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/85349/9789241548564_eng.pdf?sequence=1

Chew, X., Khaw, K. W., Alnoor, A., Ferasso, M., Al Halbusi, H., & Muhsen, Y. R. (2023).

Circular economy of medical waste: novel intelligent medical waste management framework based on extension linear Diophantine fuzzy FDOSM and neural network approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(21), 60473–60499.

<https://doi.org/10.1007/s11356-023-26677-z>

Cho, Y., Withana, P. A., Rhee, J. H., Lim, S. T., Lim, J. Y., Park, S. W., & Ok, Y. S. (2024).

Achieving the sustainable waste management of medical plastic packaging using a life cycle assessment approach. *Heliyon*, 10, e38185.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38185>

Circular Waste Solutions. (2024). Nuevas Tecnologías para Tratamiento Eficaz de Residuos.

<https://circularwaste.es/tecnologias-de-tratamiento-de-residuos/>

Decreto 2676 (2000, 29 de diciembre). Por el cual se reglamenta la Gestión Integral de los

Residuos Hospitalarios y Similares. Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://www.ins.gov.co/Transparencia/Docs/Decreto-2676-de-2000.pdf>

ECR. (s.f.). Gestión de residuos hospitalarios. <https://www.ecr.edu.co/gestion-de-residuos-hospitalarios>

European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope. (2008). Eco-profiles and environmental declarations for PVC (Suspension polymerisation) [Environmental

Product Declaration]. https://www.researchgate.net/publication/233649782_Eco-profiles_and_environmental_declarations_for_PVC

Exposto, LASM., Bakta, IM., Wirawan, IMA & Sujaya, IN (2022). Beneficios de la gestión de residuos médicos en los servicios de salud institucionales. *Revista de Estudios Médicos y de Salud*. 3 (3), 75–82. <https://doi.org/10.32996/jmhs.2022.3.3.11>

Facultad de Química e Ingeniería “Fray Rogelio Bacon” - UCA. (2008). El PVC (Policloruro de vinilo) [PDF]. *Estudio y Ensayo*. <https://estudiyensayo.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/11/pvc.pdf>

Faludi, J. y Agogino, AM (2018). ¿Qué prácticas de diseño utilizan los profesionales para la sostenibilidad y la innovación? 2633–2644. <https://doi.org/10.21278/IDC.2018.0180>

Faludi, J., Yiu, F. y Agogino, AM (2020). ¿Dónde encuentran los profesionales valor en la sostenibilidad y la innovación? Pruebas empíricas de tres métodos de diseño sostenible . 6 ,1. <https://doi.org/10.1017/DSJ.2020.17>

Gobernación de Cundinamarca. (2024). La gestión integral de residuos en la atención en salud y otras actividades disminuye riesgos e impactos ambientales. <https://www.cundinamarca.gov.co/noticias/la-gestion-integral-de-residuos-en-la-atencion-en-salud-y-otras-actividades-disminuye-riesgos-e-impactos-ambientales>

Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Colombia: Prentice

Hall. https://www.google.com.co/books/edition/Fundamentos_de_manufactura_moderna/tcV0137tUr0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=CALANDRADO+PVC&pg=PA325&printsec=frontcover

Guillen, L &., Campoverde, G. (2024). Riesgos laborales presentes en los trabajadores de limpieza y manejo de residuos hospitalarios del Hospital José Carrasco Arteaga. *Religación*, 9(40), 2-22. <http://doi.org/10.46652/rgn.v9i40.1167>

Hutchens, T., Johnson, C., & Papa, J. (2013). Mapeo de todo el sistema: Ejemplo 1. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://venturewell.org/wp-content/uploads/WholeSystemMapping-Eg-1.pdf>

Hvistendahl, J., Kuemmel, N., & Welsh, S. (2013). Mapeo de todo el sistema: Ejemplo 2. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://venturewell.org/wp-content/uploads/WholeSystemMapping-Eg-2.pdf>

Igniss Energy. (2025). Calorific value of waste. <https://igniss.com/calorific-value-waste>

Incinerox. (s.f.). Transformando la gestión de residuos hospitalarios con tecnología avanzada.

Incinerox. <https://incinerox.com.ec/transformando-la-gestion-de-residuos-hospitalarios-con-tecnologia-avanzada/>

INTOSAI Working Group on Environmental Auditing. (2003). Towards auditing waste management. Adopted by the Eighth Meeting of the INTOSAI Working Group on

Environmental Auditing. ISBN 82-90811-41-1. Disponible en www.environmental-auditing.org.

Joseph, B., James, J., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2021). Recycling of medical plastics. 4(3), 199–208. <https://doi.org/10.1016/J.AIEPR.2021.06.003>

LEANPIO. (2022). Cuáles son las 5R del reciclaje. <https://www.leanpio.com/es/blog/las-5r-del-reciclaje>.

MacEwan University. (s.f.). 3. Systems mapping.

<https://openbooks.macewan.ca/introductiontosustainability/chapter/3-systems-mapping/>

Menter, A. (2022) PRUEBA - Mapeo de todo el sistema

<https://assets.pubpub.org/w9ah151a/95acf2d5-1514-4ad3-8e9d-21503c400a3d.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, & Comisión Europea. (2011). Mejores técnicas disponibles de referencia europea para incineración de residuos (Documento BREF). Gobierno de España. https://prtr-es.es/data/images/mtd_incineracion_residuos_es.pdf

Montegiove, N., & Alkateb-Chami, M. (2023). Long term influences of PVC microplastics on soil chemical and microbiological parameters. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-15971>

Morasae, E. K., Botterell, Z. L. R., Andrews, S., Beaumont, N., Boisseaux, P., Chadwick, H. M., Cherrington, R., Cole, M., Coppock, R., Deakin, K., Duncan, E. M., Flor, D., Galloway,

T. S., Garrard, S. L., Godley, B. J., Harley-Nyang, D., Lewis, C., Lindeque, P. K., McCutcheon, P., ... Nelms, S. E. (2024). Using systems mapping to understand the constraints and enablers of solutions to plastic pollution. *Journal of Environmental Management*, 371, 122994. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122994>

Nematollahi, H., Ghasemzadeh, R., Tuysserkani, M., Aziminezhad, M., & Pazoki, M. (2024). Comparative life cycle assessment of hospital waste management scenarios in Isfahan, Iran: Evaluating environmental impacts and strategies for improved healthcare sustainability. *Results in Engineering*, 24, 102912. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102912>

NubeDePalabras.es. (s.f.). Generador de nubes de palabras y etiquetas online. <https://www.nubedepalabras.es/>

Organización Internacional del Trabajo. (2021). Agentes Biológicos. Marzo 2021. <https://acortar.link/aXji97>

Organización Mundial de la Salud. (2024). Health-care waste. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>

Organización Panamericana de la Salud. (sf). Residuos sólidos. <https://www.paho.org/es/temas/residuos-solidos>

Patiño, E, y Acevedo, J. (2019) Impacto Ambiental de la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y la Regulación Colombiana. *Dinámica Ambiental*, No 3.
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/10433/9802>

Pérez Claros, L. L. (2021). La economía circular en el ámbito hospitalario: un reto por alcanzar. Consejo Colombiano de Seguridad. Recuperado de <https://ccs.org.co/portfolio/la-economia-circular-en-el-ambito-hospitalario-un-reto-por-alcanzar/>

Plasencia Soler, J. A., Marrero Delgado, F., & Nicado García, M. (2023). Metodología para contribuir a la sostenibilidad desde el proceso de dirección estratégica. *Ciencias Administrativas*, <https://www.redalyc.org/journal/5116/511671820005/html/>

Pronk, N. P., & Lee, B. Y. (2024). Mapeo de sistemas cualitativos en la promoción de la actividad física y la aptitud cardiorrespiratoria: perspectivas y recomendaciones. *Avances en Enfermedades Cardiovasculares*, 83, 43–48.
<https://doi.org/10.1016/j.pcad.2024.02.013>

Race For Water. (s.f.). La regla de las 5R. <https://www.raceforwater.org/es/apoyarnos/ecogestes/>

Resolución 1164 (2002, 6 de septiembre). Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares. Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Salud. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ins.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCION%201164%20DE%202002.pdf?ID=91>

Resolución 591 de 2024 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por lo cual se adopta el Manual para la Gestión Integral de Residuos Generados en la Atención en Salud y Otras Actividades. 04 de Abril del 2024.

Rodriguez, J. (2014). Generación de residuos hospitalarios en Colombia.

<http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.54770>

Ruiz, E. (2024). Observance of Health Care Waste Management Performance Standards in Selected Hospitals. *Journal of Waste Management & Recycling Technology*, 1–3.

[https://doi.org/10.47363/jwmrt/2024\(2\)133](https://doi.org/10.47363/jwmrt/2024(2)133)

Saatcioglu, K., & Venkatraman, P. D. (2025). Environmental impact, economic and carbon footprint assessment of end-of-life PVC flex banners and its potential upcycling

opportunities in the fashion industry. *Science of The Total Environment*, 974,

179085. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179085>

Salud Sin Daño. (s.f.). Residuos hospitalarios. <https://lac.saludsindanio.org/residuos-hospitalarios>

Sannino, C., Montegiove, N., Calzoni, E., Cesaretti, A., Pezzolla, D., Turchetti, B., Buzzini, P., Emiliani, C., & Gigliotti, G. (2023). Impact of PVC microplastics on soil chemical and

microbiological parameters. *Environmental Research*, 229, 115891.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115891>

- Santamaría, F. (2023). Análisis del consumo de subsistencia de la energía eléctrica en Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 17(33), 31–38. <https://doi.org/10.31908/19098367.2877>
- Schuth, K. (2023). Hacia una gestión sostenible de los residuos hospitalarios. UM. <https://um.com.co/blog/hacia-una-gestion-sostenible-de-residuos-hospitalarios>
- Sepetis, A., Georgantas, K. y Nikolaou, IE (2024). Propuesta de un modelo de economía circular para la gestión de biorresiduos hospitalarios en entornos municipales. *Sustainability* , 17 (1), 5. <https://doi.org/10.3390/su17010005>
- Tedisel Medical. (s.f.). Innovación verde en hospitales: tecnología y sostenibilidad para un futuro más saludable. <https://tediselmedical.com/innovacion-verde-en-hospitales-tecnologia-y-sostenibilidad-para-un-futuro-mas-saludable/>
- Toprakçı, O., Akcay, AT y Toprakçı, HAK (2024). Mejora de las condiciones del proceso de calandrado mediante la mezcla de poli(cloruro de vinilo) con polietileno, polipropileno y poli(metacrilato de metilo). *Material Science Research India*, 21 (2). <https://doi.org/10.13005/msri/210203>
- Universidad Nacional de Colombia. (2023). Se crea la Mesa de Salud y Sostenibilidad en Colombia. Agencia UNAL. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/se-crea-la-mesa-de-salud-y-sostenibilidad-en-colombia>
- Veličković, J., & Ilić Živojinović, J. (2023). Medical waste management: treatment, recycling and disposal options. <https://doi.org/10.58424/annnurs.952.7pp.fz1>

VentureWell. (s.f.). Whole system mapping. https://venturewell.org/tools_for_design/whole-systems-mapping/

Waste Managed. (s.f.). Innovations in hospital waste disposal. Waste Managed. <https://www.wastemanaged.co.uk/our-news/hospital/innovations-in-hospital-waste-disposal/#1-innovative-hospital-waste-segregation-systems>

World Economic Forum. (2023, marzo). Systems mapping can facilitate the collective and shared understanding of complex problems. <https://www.weforum.org/stories/2023/03/systems-mapping-can-facilitate-the-collective-and-shared-understanding-of-complex-problems/>

Zerbino, P., Mabroum, S., Montalbano, G., Lima, A. T., & Aloini, D. (2025). Mapping supply systems in circular settings: A proposal for a new methodology. *Computers & Industrial Engineering*, 201, 110891. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.110891>

Anexo A. Guion de Entrevista: Gestión de Residuos en Salas Quirúrgicas y Unidad Renal

Presentación:

Buenos días/tardes, [nombre]. Agradecemos su participación. Esta entrevista busca entender los procesos actuales de manejo de residuos en su área, con el fin de desarrollar estrategias sostenibles. La información será anónima y confidencial. Si la pregunta no aplica para su área por favor indicarlo en el momento de la respuesta.

Objetivo y Duración:

La entrevista tendrá una duración de 30 a 40 minutos. ¿Tiene alguna pregunta antes de comenzar?

Consentimiento Verbal:

1. ¿Autoriza que grabemos esta conversación para fines de análisis? Los datos solo serán usados por el equipo investigador.

Contextualización:

2. ¿Podría contarme cuál es su rol dentro del hospital y desde cuándo trabaja en esta área? y ¿Qué rol desempeña en la gestión de residuos desde su área?

3. ¿Qué actores participan en el proceso de manejo de residuos desde su generación hasta su disposición final?

4. ¿Cómo describiría el proceso actual de manejo de residuos desde su generación hasta la disposición final?

5. ¿Qué protocolos o normativas aplican en su área? ¿Cómo se asegura su cumplimiento?

6. ¿Qué métricas se usan para evaluar la efectividad del manejo de residuos?

7. ¿Con qué frecuencia se actualizan los procedimientos o se evalúa su cumplimiento?

8. ¿Qué tanto se involucra la administración del hospital en mejorar estos procesos?

9. ¿Qué etapas del proceso considera más problemáticas? ¿Por qué
10. ¿Se han presentado incidentes o sanciones relacionados con la mala gestión de residuos?
11. ¿Cómo afectan estos problemas a la eficiencia del servicio?
12. ¿Qué riesgos para la salud del personal ha identificado en las áreas de salas de cirugía y unidad renal de acuerdo a los residuos que se generan allí?
13. ¿Qué sistemas o tecnologías podrían optimizar el proceso?
- ¿Cree que existe una estrategia clara y definida para el manejo de residuos en las salas de cirugía y unidad renal?

Sostenibilidad:

14. ¿Qué estrategias podrían implementarse para el aprovechamiento de residuos?
15. ¿Qué tipo de residuos considera que podrían ser aprovechados de forma sostenible?
16. ¿Cree que una herramienta visual como un mapa de interacciones que podría ayudar a entender y mejorar el sistema para generar estrategias sostenibles en la gestión de residuos del hospital en las salas de cirugía y unidad renal?

Cierre y Agradecimiento

17. ¿Hay algún aspecto no mencionado que considere relevante para la investigación?

¡Gracias por su tiempo!

Anexo B. Formato para encuesta: Gestión de Residuos en Salas Quirúrgicas y Unidad Renal.

1. Área de trabajo

- Sala de cirugía
- Unidad renal
- Otra: _____

2. Cargo

- Enfermero/a
- Médico/a
- Personal de limpieza
- Supervisor/a
- Otra: _____

3. Años de experiencia en el área

- Menos de 1 año
- 1-5 años
- Más de 5 años

4. Frecuencia de participación en gestión de residuos

- Diaria
- Semanal
- Ocasional

5. ¿Ha recibido formación sobre manejo de residuos hospitalarios?

- Sí No

6. ¿Cómo calificaría la efectividad del sistema actual de gestión de residuos?

- Muy efectivo
- Efectivo
- Neutral
- Inefectivo
- Muy inefectivo

7. Según su experiencia, ¿qué porcentaje de residuos se clasifica incorrectamente?

- 0-10%
- 11-30%
- 31-50%
- Más del 50%

8. ¿Conoce las normativas ambientales vigentes para residuos hospitalarios?

- Sí, en detalle
- Parcialmente
- No

9. ¿Ha identificado prácticas inadecuadas en el manejo de residuos?

Sí (especifique): _____

No

10. ¿Existe un protocolo claro para residuos peligrosos en su área?

Sí, siempre se sigue

Sí, pero no siempre se cumple

No

11. ¿Qué tipo de residuos considera que generan más problemas para su disposición

Biosanitarios

Cortopunzantes

Farmacéuticos

Comunes

Otros: _____

12. ¿Cuáles considera que son las principales causas de errores en el manejo de residuos?

Falta de tiempo

Falta de formación

Falta de supervisión

Falta de recursos

Otro: _____

13. ¿Qué tipos de residuos cree que podrían ser aprovechados de forma sostenible?

Plásticos

Papel/cartón

Desechos orgánicos

Ninguno

Otros: _____

14. Ordene los pasos del proceso actual (1 = inicio, 5 = final)

___ Clasificación

___ Almacenamiento temporal

___ Transporte interno

___ Tratamiento

___ Disposición final

Selección múltiple, si aplica más de una por favor señalarlo.

15. ¿Qué recursos faltan para optimizar el proceso?

Capacitación

- Equipos de protección
- Contenedores especializados
- Personal adicional
- Tecnología de monitoreo

16. ¿Qué tan integrado está el sistema de gestión con otras áreas del hospital?

- Totalmente integrado
- Parcialmente integrado
- Aislado

17. ¿Se registran datos sobre volumen/costo de residuos?

- Sí, sistemáticamente
- Sí, de manera irregular
- No

18. Califique los principales desafíos (1 = menor, 5 = mayor):

Desafío	1	2	3	4	5
Falta de capacitación					
Infraestructura inadecuada					
Sobrecarga de trabajo					
Riesgos biológicos					

Falta de supervisión					
Aprovechamiento de residuos reciclables					

19. ¿Ha experimentado incidentes por mala gestión?

Sí (describa): _____

No

20. ¿Qué porcentaje de su tiempo dedica a corregir errores en el proceso?

0-10%

11-25%

26-50%

Más del 50%

21. Principales consecuencias de una gestión inadecuada

Sanciones económicas

Riesgos sanitarios

Daño ambiental

Sobrecostos operativos

22. ¿Recibe retroalimentación sobre su desempeño en esta área?

- Siempre
- Ocasionalmente
- Nunca

23. ¿Qué estrategias propone para mejorar la sostenibilidad? (Selección múltiple)

- Automatización de clasificación
- Programas de reutilización
- Alianzas con recicladoras
- Otra: _____

24. ¿Estaría dispuesto a participar en pilotos de nuevas estrategias de recolección de residuos-sostenibilidad?

- Sí
- No
- Depende de las condiciones

25. Temas prioritarios para capacitación

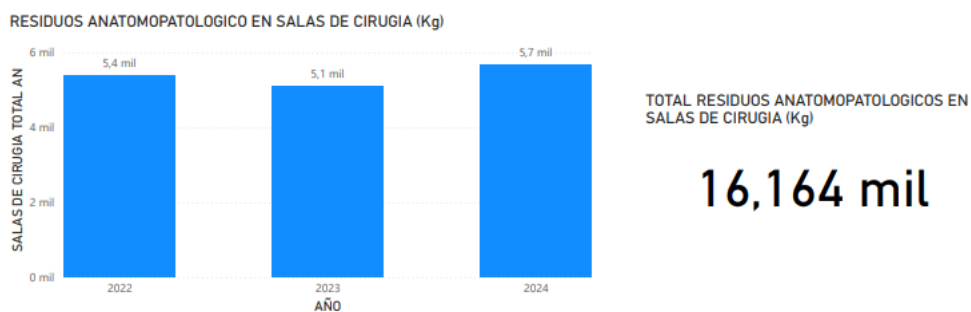
- Clasificación
- Normativas
- Uso de equipos
- Protocolos de emergencia

Anexo C. Gráficos y análisis de los residuos generados en el hospital en salas de cirugía y unidad renal para el periodo 2022-2024

En este anexo se analizan mediante graficas los residuos generados por el hospital para las áreas de Unidad renal y salas de cirugía que fueron reportadas por el formato RH1.

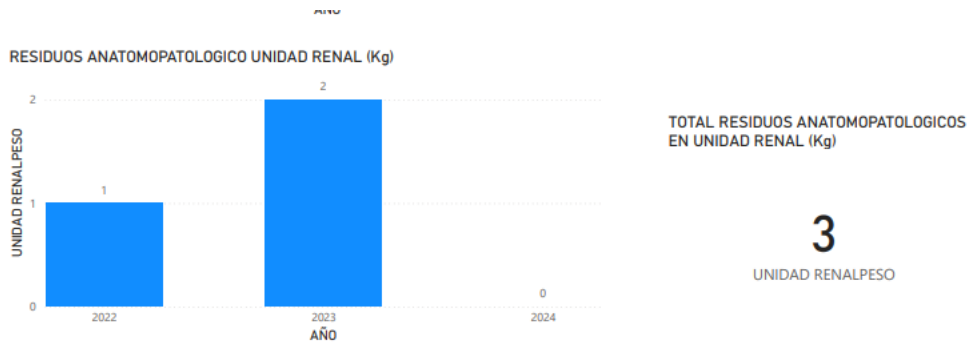
ResiduosAnatomopatológicos:

- Cantidad de residuos Anatomopatológicos generados en las salas de cirugía en el periodo 2022-2024



Para el análisis del periodo 2022-2024 el hospital generó en las salas de cirugía 16,164 Kg, relacionado con órganos relacionados a tejidos humanos sólidos, como órganos extirpados (riñón, apéndice, útero, tumores, placentas y productos derivados de salas de parto, entre otros, los cuales fueron gestionados por el gestor externo Ecoentorno, cuyo tratamiento fue incineración y la disposición final fue en celda de seguridad. Al 2024, se tuvo un aumento del 10.5% de la generación de estos residuos.

- Cantidad de residuos Anatomopatologicos generados en la unidad renal el periodo 2022-2024

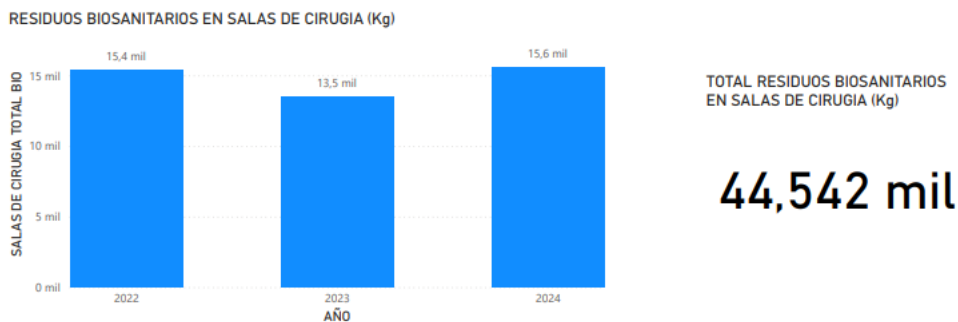


Nota. Elaboración propia

Por otro lado, en la unidad renal, se generaron para el periodo de reporte 3Kg concernientes a residuos peritoneales, teniendo un 50% de aumento en la generación para el 2023, para el año 2024, no se tiene registró data de residuos anatomopatológicos.

Residuos Biosanitarios

- Cantidad de residuos Biosanitarios generados en las salas de cirugia el periodo 2022-2024

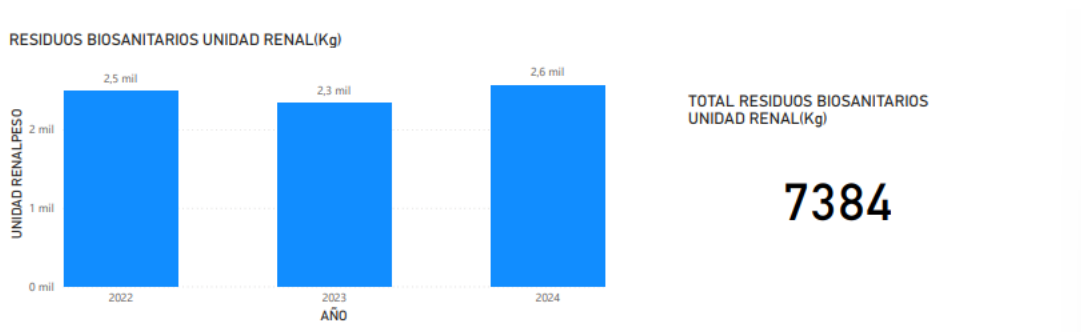


Nota. Elaboración propia

El hospital genero en la salas de cirugía 44,542Kg durante los años 2022 – 2024, los cuales fueron gestionados por el gestor externo Ecoentorno, cuyo tratamiento fue esterilización y

la disposición final fue en celda de seguridad. Para el 2024, se generaron 13.5% mas de residuos de este tipo.

- Cantidad de residuos Biosanitarios generados en la unidad renal el periodo 2022-2024



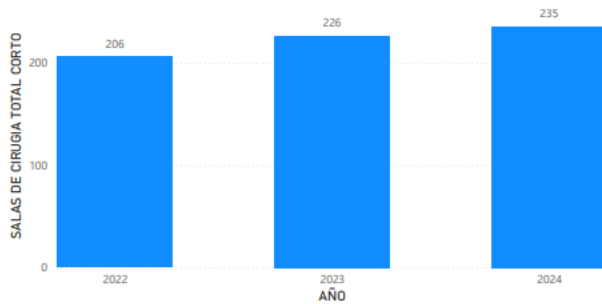
Nota. Elaboración propia

Para la Unidad renal 7,384 Kg los cuales fueron esterilizados y la disposición final fue en celda de seguridad en Ecoentorno. A través del periodo de reporte, se evidencia una cantidad constante de residuos, atribuidos a gasas, apósitos impregnados de sangre, guantes, batas , gorros y mascarillas usados durante las intervenciones quirúrgicas, lo que significa que el uso de estos implementos se han mantenido en los procedimientos.

Residuos Cortopunzantes

- Cantidad de residuos cortopunzantes generados en salas de cirugía para el periodo 2022-2024

RESIDUOS CORTOPUNZANTES EN SALAS DE CIRUGIA (Kg)



TOTAL RESIDUOS CORTOPUNZANTES EN SALAS DE CIRUGIA (Kg)

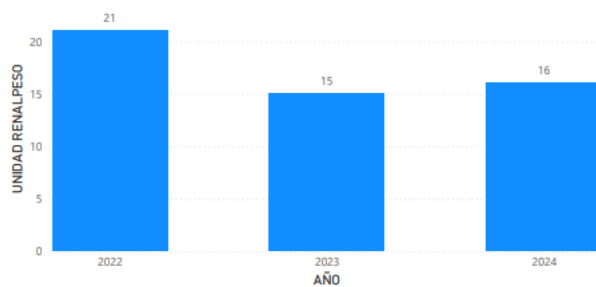
667

Nota. Elaboración propia

Para el periodo 2022- 2024, en las salas de cirugía la cantidad de residuos cortopunzantes fue 667 Kg, mientras que para unidad renal se generaron 52 Kg. Relacionados con jeringas, agujas bisturís, cuchillas, restos de ampollitas, pipetas y fragmentos de vidrio, entre otros objetos cortopunzantes.

- Cantidad de residuos cortopunzates generados en la unidad renal el periodo 2022-2024

RESIDUOS CORTOPUNZANTES UNIDAD RENAL (Kg)



TOTAL RESIDUOS CORTOPUNZANTES UNIDAD RENAL (Kg)

52

Nota. Elaboración propia

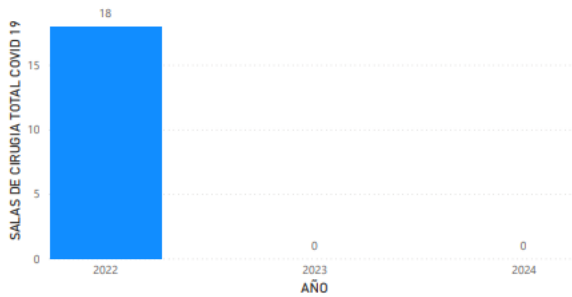
Los residuos cortopunzantes fueron gestionados por Ecoentorno como gestor externo, el tratamiento fue incineración y la disposición se realizó en celda de seguridad.

Residuos “COVID - 19”

Específicamente para el año 2022, el hospital reporto en el formato RH1, aquellos residuos generados por contacto del Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), para las salas de cirugía se reportaron 18 Kg y para la unidad renal 2 Kg.

- Cantidad de residuos COVID 19 generados en las salas de cirugía para el periodo 2022-2024

RESIDUOS COVID 19 EN SALAS DE CIRUGIA (Kg)



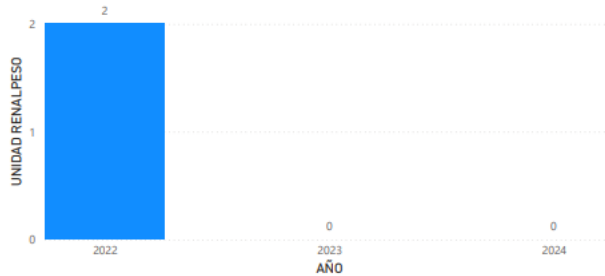
TOTAL RESIDUOS EN SALAS DE CIRUGIA (Kg)

18

Nota. Elaboración propia

- Cantidad de residuos COVID 19 generados en la unidad renal para el periodo 2022-2024

RESIDUOS COVID 19 UNIDAD RENAL (Kg)



TOTAL RESIDUOS UNIDAD RENAL (Kg)

2

Residuos Inertes

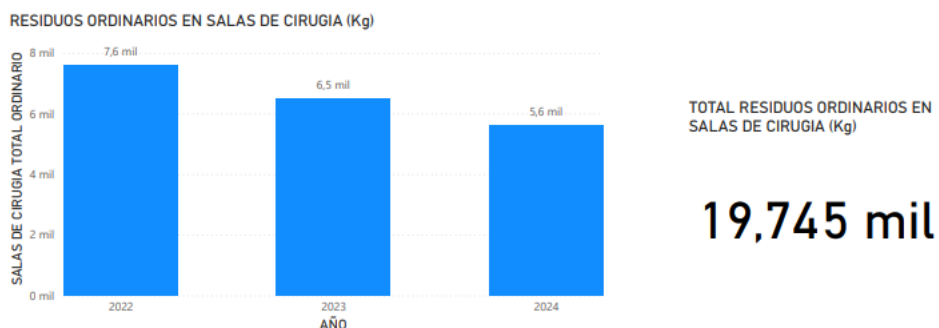
Para el año 2022 - 2024, para las salas de cirugía se generaron 7Kg y para la unidad renal 0 Kg.

Dentro de los residuos inertes generados se encuentran los empaques de materiales estériles (plásticos no contaminados), materiales de embalaje (papel, cartón), envoltorios de instrumentos), Vidrio limpio o fragmentos no contaminados y restos de materiales como yeso o cerámicos.

Residuos Ordinarios

En las salas de cirugía se generaron 19.745 Kg y en unidad renal 6.197 Kg. Estos fueron gestionados por el gestor externo Promoambiental. Son los residuos generados en oficina, áreas administrativas y zonas comunes, papel, cartón, empaques limpios, bolsas de líquidos endovenosos no contaminadas y servilletas no contaminadas.

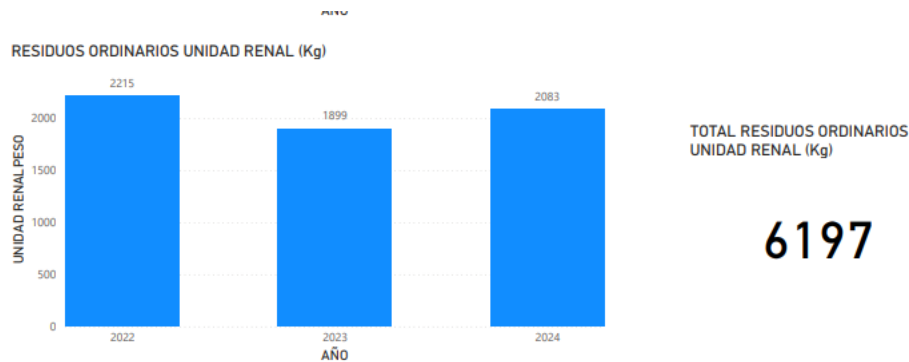
- Cantidad de residuos ordinarios generados en las salas de cirugía para el periodo 2022-2024



Nota. Elaboración propia

Para la unidad renal, el comportamiento año tras año, se observa que el 2023, fue el año con menor cantidad de residuos ordinarios generados, pero

- Cantidad de residuos ordinarios generados en la unidad renal para el periodo 2022-2024

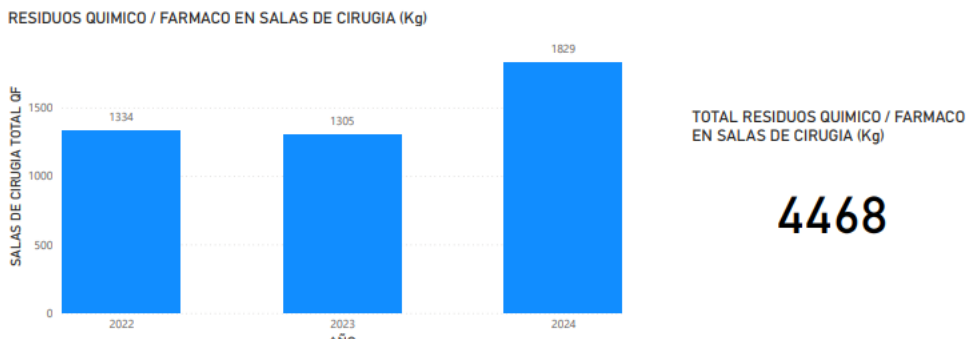


Nota. Elaboración propia

Residuos Químico o fármaco

Con respecto a los Residuos Químico o fármaco en salas de cirugía fueron 4.468Kg

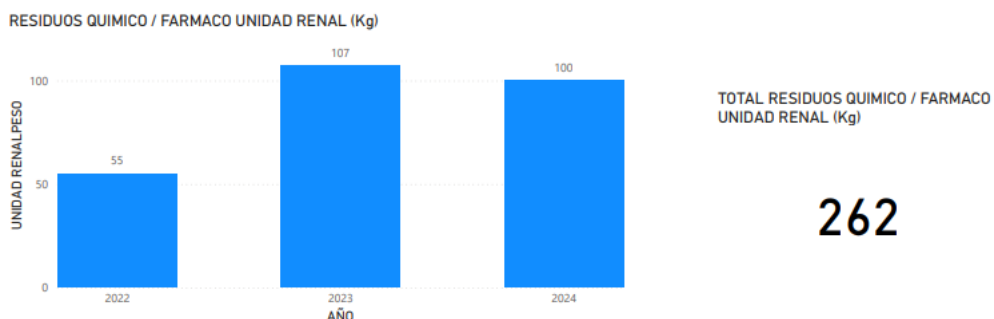
- Cantidad de residuos químico/ fármaco generados en las salas de cirugía para el periodo 2022-2024



Nota. Elaboración propia

En unidad renal se generó un total de 262Kg.

- Cantidad de residuos químico/ farmaco generados en unidad renal para el periodo 2022-2024



Nota. Elaboración propia

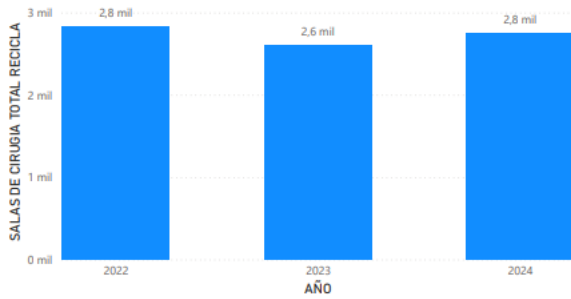
Para las salas de cirugía son medicamentos parcialmente consumidos, vencidos, deteriorados o sobrantes, así como sus envases y empaques. También comprenden sustancias químicas usadas en procedimientos quirúrgicos que pueden ser tóxicas, corrosivas, inflamables o reactivas. En este caso puntual, para el Formol, el Diamonio y residuos de colorantes el gestor externo realiza la desactivación química y la posterior disposición en celda de seguridad.

Residuos Reciclables

Para el periodo analizado, en las salas de cirugía, se generaron 8.210Kg.

- Cantidad de residuos reciclables generados en las salas de cirugía para el periodo 2022-2024

RESIDUOS RECICLABLES EN SALAS DE CIRUGIA (Kg)



TOTAL RESIDUOS RECICLABLES EN SALAS DE CIRUGIA (Kg)

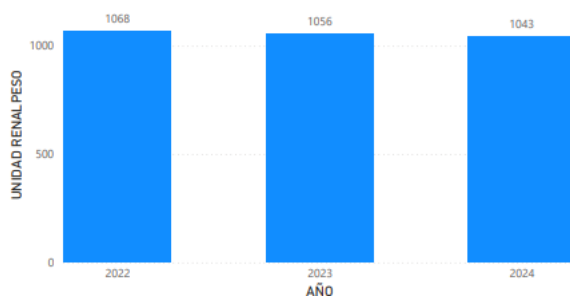
8210

Nota. Elaboración propia

En unidad renal 3.170Kg. Papel, cartón y plástico limpios y metales no contaminados. Estos hacen parte del Acuerdo de Corresponsabilidad en la modalidad de entrega voluntaria. A través del periodo de estudio se evidencia que los materiales reciclables, se mantienen constantes en el tiempo y se entregan como manera voluntaria sin recibir ningún beneficio para el hospital.

- Cantidad de residuos reciclables generados en la unidad renal el periodo 2022-2024

RESIDUOS RECICLABLES UNIDAD RENAL (Kg)



TOTAL RESIDUOS RECICLABLES UNIDAD RENAL (Kg)

3170

Nota. Elaboración propia

Anexo D. Lluvia de ideas del Whole System Mapping



LLUVIA DE IDEAS

Los verdaderos y el compostaje no son adecuados para el PVC debido a la degradación oxidativa que puede producirse. El reciclaje mecánico es una forma preferida de reciclaje de PVC, especialmente cuando el PVC no está muy contaminado y se conoce la fuente. El reciclaje químico implica el craqueo térmico mediante hidrogenación, pirólisis o gasificación. La pirólisis no es muy preferida debido a las altas cantidades de cloruro de hidrógeno, y el procedimiento para reemplazar el mismo es un paso adicional y un costo adicional. Por lo tanto, la pirólisis puede no ser el proceso más eficiente.

Aunque se está fomentando el reciclaje, la infraestructura para el mismo se continúa desarrollando. Este es uno de los principales inconvenientes que limita el reciclaje

Diseño de evaluaciones de la cultura organizacional ambiental para hacer seguimiento a formación de personal y normativa legal vigente.

Auditorías internas en el proceso de gestión de residuos, dentro de las cuales se pueda realizar planes de mejora y evaluación de riesgos en la disposición de residuos e impacto ambiental

Capacitación práctica en el manejo de residuos y sus impactos ambientales y sociales. La concienciación sobre la clasificación adecuada de los plásticos médicos en función del tipo y el uso. Esto se debe a que hay una variedad de plásticos de un solo uso que se utilizan en el sector de la salud, pero es necesario que los trabajadores de la salud estén debidamente concientizados sobre el tipo de plástico, su reciclabilidad y la clasificación correcta.

Generar alianzas con empresas que realicen reciclaje secundario, también conocido como reciclaje mecánico, ya que esta es la valorización de residuos plásticos por medios mecánicos. El reciclaje mecánico implica la recolección, separación y clasificación, el lavado para eliminar contaminantes orgánicos u otros contaminantes y la molienda del material.