Pontificia Universidad JAVERIANA Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Acta de Correcciones al Proyecto de Grado
Ingeniería Biomédica

Fecha: 3 de febrero de 2025

Autores: Denisse Valentina Díaz Sarabia, Karol Daniela Restrepo Maldonado

Nombre del Proyecto de Grado: Diseño e implementación de una herramienta para evaluar el impacto ambiental por el uso de equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana, Cali

Director:

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

_____

Firma de Director(a) del Proyecto de Grado

Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Ingeniería Biomédica

Monografía de Trabajo de Grado

Diseño e implementación de una herramienta para evaluar el impacto ambiental por el uso de equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana, Cali.

Denisse Valentina Díaz Sarabia
Karol Daniela Restrepo Maldonado

Director
Juan Esteban Palacios Duarte M.Sc.

Codirector
Isabella Tello Gómez. M.Sc.

6 de febrero de 2025

Santiago de Cali, 6 de febrero de 2025

Señores
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ciudad

Cordial Saludo.

Por medio de la presente nos permitimos presentarle el Trabajo de Grado titulado "Diseño e implementación de una herramienta para evaluar el impacto ambiental por el uso de equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana, Cali.".

Esperamos que este trabajo reúna todos los requisitos académicos, cumpla el propósito para el cual fue creado y sirva de apoyo para futuros proyectos relacionados con la materia.

Atentamente,

Denisse Valentina Díaz Sarabia

Karol Daniela Restrepo Maldonado

Santiago de Cali, 6 de febrero de 2025

Señores
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ciudad

Cordial Saludo.

Certificamos que el presente Trabajo de Grado titulado "Diseño e implementación de una herramienta para evaluar el impacto ambiental por el uso de equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana, Cali.", realizado por Denisse Valentina Díaz Sarabia y Karol Daniela Restrepo Maldonado, estudiantes de Ingeniería Biomédica, se encuentra terminado y puede ser presentado para su sustentación.

Atentamente,

Juan Esteban Palacios Duarte M.Sc.
Director Trabajo de Grado

Isabella Tello Gómez. M.Sc.
Co-Director Trabajo de Grado

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer a Dios, quien nos ha bendecido con la oportunidad de emprender este camino y nos ha dado la fuerza necesaria para llevarlo a cabo. Gracias a la vida por habernos permitido coincidir en este proyecto y por brindarnos la oportunidad de compartir esta experiencia tan significativa.

A nuestros padres, amigos y familiares, les extendemos nuestro más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional durante todo nuestro proceso de formación. Su amor, comprensión y ánimo han sido fundamentales en cada paso de este proyecto.

A la Pontificia Universidad Javeriana Cali, gracias por habernos brindado una educación de calidad que nos ha permitido crecer no solo como profesionales, sino también como seres humanos comprometidos con el bien común.

Queremos expresar nuestro especial agradecimiento a nuestro director de proyecto, el profesor Juan Palacios y la co-directora Isabella Tello, por depositar su fe en este proyecto que abordó la ingeniería clínica desde un enfoque tan crucial como el ambiental. Su guía, dedicación y confianza fueron esenciales para que este trabajo se materializara y se convirtiera en una contribución significativa al campo.

A nuestro incondicional amigo William Nova, queremos agradecerle profundamente por su apoyo constante y motivación para adentrarnos en el resultado final de este proyecto: el desarrollo de un software. Su disposición para atender nuestras dudas y compartir su conocimiento fue invaluable en este camino.

Finalmente, agradecemos a nuestra amistad, que nos permitió llevar adelante este proyecto con comprensión, confianza y ayuda mutua. Este lazo no solo fue un pilar durante los desafíos, sino que también nos permitió disfrutar del aprendizaje y crecer juntas como profesionales y personas.

A todos los que, de una u otra manera, nos acompañaron en este proceso, les extendemos nuestro más sincero agradecimiento. Este logro no hubiera sido posible sin ustedes.

Glosario

Glosario

Símbolos

I	Importancia del impacto ambiental calculada como $I = A \times P \times C$
A	Alcance del impacto ambiental (local, regional o global)
P	Probabilidad de ocurrencia del impacto ambiental
C	Cantidad o magnitud del recurso o residuo generado

Acrónimos y Abreviaturas

RAI	Revisión Ambiental Inicial
CO_2	Dióxido de carbono
NTC	Norma Técnica Colombiana
ISO	International Organization for Standardization

Términos

Consumo energético	Cantidad de energía utilizada por un equipo biomédico durante su operación.
Equipo biomédico	Dispositivo médico que incluye sistemas eléctricos, electrónicos o hidráulicos.
Gestión ambiental	Acciones para minimizar impactos ambientales y promover sostenibilidad.
Impacto ambiental	Efecto directo o indirecto de una actividad sobre el medio ambiente.
Residuos hospitalarios	Desechos generados en el sector salud.

Resumen

El presente trabajo aborda la necesidad de evaluar y gestionar el impacto ambiental de los equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Este estudio integra conceptos de ingeniería biomédica, gestión ambiental y sostenibilidad para diseñar e implementar una herramienta que cuantifique aspectos como consumo energético, generación de residuos y emisiones de CO_2. La metodología adoptada incluyó la recopilación y análisis de datos de equipos biomédicos seleccionados, clasificación según la normativa vigente y el diseño de reportes ambientales. Los resultados destacan la utilidad de la herramienta para optimizar recursos, reducir costos y tomar decisiones informadas en el sector salud, alineándose con objetivos globales de sostenibilidad. Este proyecto presenta estrategias sostenibles aplicadas a la gestión de tecnología biomédica, detallando su implementación y resultados en el desarrollo de una herramienta para la evaluación ambiental.

Palabras Clave: Impacto ambiental, equipos biomédicos, sostenibilidad, gestión ambiental, consumo energético, residuos hospitalarios.

Abstract

This project addresses the need to evaluate and manage the environmental impact of biomedical equipment at the Simulated Hospital of Pontificia Universidad Javeriana Cali. By integrating concepts from biomedical engineering, environmental management, and sustainability, this study designed and implemented a tool to quantify energy consumption, waste generation, and CO_2 emissions. The methodology included data collection and analysis of selected biomedical equipment, classification based on current regulations, the execution of an initial environmental review and the design of environmental reports. Results highlight the tool's effectiveness in optimizing resources, reducing costs, and supporting informed decision-making in the healthcare sector, aligning with global sustainability objectives. This project presents sustainable strategies applied to the management of biomedical technology, detailing their implementation and results in the development of a tool for environmental evaluation.

Keywords: Environmental impact, biomedical equipment, sustainability, environmental management, energy consumption, hospital waste.

Índice general

1. Introducción **1**

2. Planteamiento del Problema **3**

3. Justificación **5**

4. Objetivos **7**
4.1. Objetivo General 7
4.2. Objetivos Específicos 7

5. Marco de Referencia **9**
5.1. Áreas Temáticas 9
5.2. Marco Teórico 9
5.3. Trabajos Relacionados 15

6. Materiales y Métodos **19**
6.1. Fase 1 19
6.1.1. Matriz de aspectos e impactos ambientales 19
6.1.2. Clasificación según la importancia 21
6.2. Fase 2: Recolección de datos 22
6.3. Fase 3: Desarrollo e interacción con la herramienta 23
6.3.1. Interacción inicial y registro de usuario 23
6.3.2. Generación de reportes ambientales 25
6.3.3. Diseño preliminar del reporte ambiental 26
6.3.4. Framework y Tecnologías Utilizadas 30
6.4. Fase 4: Implementación y validación de la herramienta 30
6.4.1. Semana de alta demanda 32
6.4.2. Semana de demanda normal 32
6.4.3. Semana de baja demanda 33

7. Resultados y Discusión **35**
7.1. Resultados de la Fase 1 35
7.1.1. Evaluación inicial con la matriz de aspectos e impactos ambientales 35
7.1.2. Consumo eléctrico y emisiones de CO_2 35
7.1.3. Generación de residuos sólidos 36
7.1.4. Aspectos específicos de equipos 37
7.2. Resultados de la Fase 2 37
7.3. Resultados Fase 3 42

7.4. Fase 4 50

8. Conclusiones **57**

9. Trabajos futuros **59**

10. Anexos **61**

Anexos **61**

Bibliografía **63**

Índice de figuras

6.1. Matriz de aspectos e impactos ambientales . . . 19
6.2. Clasificación y significancia de acuerdo a la importancia . . . 21
6.3. Diagrama de flujo completo . . . 24
6.4. Parte 1: Interacción inicial y registro de usuario . . . 25
6.5. Parte 2: Generación de reportes . . . 25
6.6. Reporte ambiental Demo: Perspectiva de usuario . . . 27
6.7. Reporte ambiental Demo: Perspectiva de la herramienta . . . 28
6.8. Actividades del día lunes de una semana de alta demanda . . . 31
6.9. Actividades del día lunes de una semana demanda normal . . . 31
6.10. Actividades del día lunes de una semana baja demanda . . . 31

7.1. Matriz de aspectos e impactos ambientales: Monitor de signos vitales. . . . 35
7.2. Matriz de aspectos e impactos ambientales: Bomba de infusión. . . . 36
7.3. Conclusión de cada evaluación. . . . 36
7.4. Matriz de aspectos e impactos ambientales: Electrobisturí (generación de residuos). . . . 37
7.5. Matriz de aspectos e impactos ambientales: Electrobisturí (generación de humo quirúrgico). . . . 37
7.6. Ventana principal . . . 42
7.7. Registro de usuario . . . 43
7.8. Registro exitoso . . . 43
7.9. Registro fallido . . . 44
7.10. Iniciar sesión . . . 44
7.11. Inicio de sesión exitoso . . . 45
7.12. Inicio de sesión fallido . . . 45
7.13. Generar reporte . . . 46
7.14. Información de usuario . . . 46
7.15. Consumos calculados por la herramienta . . . 47
7.16. Gráficos de consumo energético y emisiones de CO2 . . . 47
7.17. Evaluación de significancia . . . 48
7.18. Gestionar salas . . . 48
7.19. Gestionar equipos biomédicos . . . 49
7.20. Gestionar usuarios . . . 49
7.21. Gestionar PConsumo . . . 50
7.22. Información general del reporte ambiental. . . . 50
7.23. Consumos durante la semana de alta demanda . . . 51
7.24. Gráficos de consumos para la semana de alta demanda . . . 51
7.25. Matriz de aspectos e impactos para la semana de alta demanda . . . 52

7.26. Consumos durante la semana de demanda normal. 52
7.27. Gráficos de consumos para la semana de demanda normal. 53
7.28. Matriz de aspectos e impactos para la semana de demanda normal. 53
7.29. Consumos durante la semana de baja demanda. 54
7.30. Gráficos de consumos para la semana de baja demanda 54
7.31. Matriz de aspectos e impactos para la semana de baja demanda 55

Índice de cuadros

7.1. Bomba de infusión 38
7.2. Máquina de Anestesia 38
7.3. Electrobisturí 38
7.4. Cama 39
7.5. Electrocardiógrafo 39
7.6. Ventilador mecánico 39
7.7. Monitor desfibrilador 40
7.8. Bomba de infusión 40
7.9. Monitor de signos vitales 40
7.10. Cuna de calor radiante 41
7.11. Incubadora 41
7.12. Monitor desfibrilador 41
7.13. Residuos por equipos 42

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, la interacción entre los equipos biomédicos y el medio ambiente se ha convertido en un área de creciente preocupación. Las tecnologías médicas, aunque esenciales para salvar vidas, también generan costos ambientales significativos en todas las fases de su ciclo de vida, desde la producción hasta la disposición final. Según la Academia Nacional de Medicina de EE.UU. y el Departamento de Salud y Servicios Humanos, el sector salud de EE.UU. es responsable del 8.5 % de las emisiones domésticas de gases de efecto invernadero, un impacto que afecta tanto al clima global como a la salud pública. Este problema agrava desigualdades en salud, ya que impacta más a las comunidades vulnerables, quienes sufren desproporcionadamente los efectos adversos del cambio climático y la contaminación.[1]

Ante esta realidad, surge la necesidad de herramientas y estrategias que permitan medir y evaluar el impacto ambiental generado por el sector salud, especialmente en el uso de tecnologías médicas. La cuantificación de estos impactos no solo es crucial para entender la magnitud del problema, sino también para proponer soluciones que promuevan prácticas más sostenibles. Es en este contexto donde se enmarca el presente proyecto, el cual busca ofrecer una respuesta concreta a este desafío mediante el desarrollo de una herramienta de gestión ambiental aplicada al entorno hospitalario.

En este proyecto, se desarrolló y aplicó una herramienta diseñada para cuantificar el impacto ambiental del uso de equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. La herramienta integra datos sobre el consumo de recursos naturales (energía eléctrica, emisiones de CO2 y generación de residuos) con información de referencia obtenida de la literatura, permitiendo una evaluación precisa de los impactos ambientales asociados. Este enfoque ha permitido proporcionar una solución práctica para apoyar decisiones más sostenibles en la gestión de estos equipos. Así, el proyecto no solo contribuye a la promoción de prácticas sostenibles, sino que también aborda la necesidad urgente de reducir los efectos ambientales de la tecnología médica.

Durante el desarrollo del proyecto, se validó la herramienta mediante su implementación en el hospital simulado, analizando el consumo energético y los residuos generados por diversos equipos biomédicos. ECRI (Emergency Care Research Institute) subraya que las tecnologías médicas, aunque esenciales para la atención al paciente, presentan un costo ambiental significativo en términos de consumo de energía, liberación de contaminantes y generación de residuos. Estos impactos negativos plantean desafíos importantes para la salud pública, tal como se destaca en su análisis "Los Impactos Ambientales Pasados por Alto en la Atención al Paciente Ponen en Peligro la Salud Pública"(RETOS ECRI, 4).[2].

El resultado de este proyecto ha sido una herramienta funcional que permite al hospital simulado evaluar e informar acerca del impacto ambiental de los equipos biomédicos con el fin de llevar a cabo estrategias que permitan mitigar dicho impacto. Además de promover la sostenibilidad, la

herramienta facilita la toma de decisiones informadas en las instituciones de salud, ayudando a optimizar recursos, reducir costos operativos y alinear las operaciones con los objetivos globales de sostenibilidad y responsabilidad social.[2]

Capítulo 2

Planteamiento del Problema

La producción, comercialización y utilización de los equipos biomédicos representan un costo considerable para las IPS, pero son sus repercusiones ambientales las que impulsan los llamados de atencíon desde organizaciones como ECRI hacia todas las empresas involucradas en su ciclo de vida. El uso de éstos tiene un impacto negativo en el medio ambiente, ya que estas actividades implican un alto consumo de recursos, como energía y agua, la liberación de contaminantes y la generación de residuos peligrosos que contribuyen al cambio climático y a problemas de salud pública.

Organizaciones como Practice Greenhealth informan que los hospitales de EE. UU. generan más de 29 libras de residuos por cama por día, lo que equivale a más de 5 millones de toneladas de residuos cada año[3], mientras que un informe de 2019 de Tearfund estima que el manejo inadecuado de estos residuos contribuye a entre 400,000 y 1 millón de muertes al año[4]. Además, el sector salud en general, según la Academia Nacional de Medicina de EE.UU., es responsable del 8.5 % de las emisiones domésticas de gases de efecto invernadero[1]. Este panorama pone en evidencia que el impacto ambiental asociado al sector salud no solo perjudica al medio ambiente, sino que también compromete la calidad y sostenibilidad de la atención médica [5].

A su vez la Joint Commission, en su iniciativa de Atención Médica Sostenible, destaca los eventos extremos asociados al uso de la tecnología biomédica dentro del cambio climático, como incendios forestales o inundaciones, que afectan directamente la capacidad de los sistemas de salud para brindar atención. [6]. Estas situaciones también intensifican las desigualdades en salud, afectando de manera más pronunciada a las poblaciones vulnerables.[7].

Es entonces que esta situación es vista en forma de círculo o ciclo en el que el uso de equipos biomédicos contribuye a la producción de gases de efecto invernadero, estos a su vez promueven el cambio climático y en su momento los efectos asociados a este emergen como una amenaza grave para la salud pública global . La contaminación generada no solo impacta la salud directa de las personas, sino que también compromete la capacidad de los sistemas de salud para ofrecer cobertura sanitaria universal (CSU) que de algún modo trataría de lidiar con el incremento de afecciones relacionadas con el cambio climático (problemas respiratorios) aumentando el uso de equipos médicos para sus respectivos tratamientos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima costos significativos (US 2000 a US 4000 millones anuales) asociados a daños directos para la salud entre 2021 y 2030 . [7].

A pesar de que los sistemas hospitalarios tienen como misión el cuidado de la salud de las personas, es crucial reconocer que sus objetivos se alinean también con la preservación del medio ambiente. Los équipos biomédicos, fundamentales en la atención médica, presentan desafíos considerables en el impacto ambiental generado en las diferentes etapas de su ciclo de vida, es decir, producción, uso y disposición final, afectando tanto la salud del planeta como la capacidad de respuesta de los

servicios de salud en emergencias humanitarias vinculadas a condiciones de salud causadas por la contaminación.

Los sistemas de salud son importantes emisores de gases de efecto invernadero, ya que la producción, comercialización y uso de equipos médicos generan emisiones contribuyendo al cambio climático. El uso directo de la energía en las instalaciones médicas, considerando el alto gasto energético de los equipos y la emisión de gases de efecto invernadero asociada con el uso de gases anestésicos, constituyen dos de los factores que más impactan en el porcentaje de correspondencia de la emisión de gases de efecto invernadero por parte de los servicios de salud.

Enfatizando en el impacto generado durante la etapa de uso de la tecnología biomédica al interior de las instituciones, se destacan varios aspectos que constituyen las causas de los efectos mencionados anteriormente, como la producción de residuos sanitarios, aguas residuales, emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de químicos tóxicos y recursos como agua y energía. [5].

Las aguas residuales de estas instituciones traen consigo contaminantes como productos farmacéuticos, metales pesados, productos de limpieza y químicos como halógenos o cloro libre.[3]. Muchos de estos metales y sustancias se deben a prácticas inadecuadas en el tratamiento de la tecnología médica al finalizar su vida útil en las instituciones, ya que muchos no cuentan con el respaldo del proveedor para hacerse cargo de su disposición final.

La situación en el consumo de químicos tóxicos se ha tratado desde el cambio de muchos de estos químicos por opciones más amigables con el medio ambiente, como el reemplazo de los termómetros de mercurio por termómetros digitales. Sin embargo, persisten riesgos con químicos peligrosos como el cloruro de polivinilo (utilizado en la producción de tubos intravenosos (IV), bolsas de sangre, catéteres y algunos tipos de revestimientos para cables médicos), retardantes de llama (utilizados para mejorar la resistencia al fuego en equipos de monitoreo, cables y algunos componentes de equipos médicos electrónicos), entre otros.[3].

En este contexto, ETKHO señala que una de las estrategias clave para mitigar estos impactos es la adopción de políticas sostenibles en las instituciones de salud, como la implementación de estándares internacionales (ISO 14001), el uso de energías renovables, la reutilización de agua, y la compra de equipos más eficientes [8]. Sin embargo, muchas IPS no cuentan con herramientas que les permitan evaluar y gestionar el impacto ambiental de los equipos biomédicos, lo que dificulta la implementación de estos enfoques sostenibles.

Considerando el impacto ambiental y las repercusiones en la salud pública derivadas de la utilización de tecnología biomédica, es evidente la urgente necesidad de abordar estos desafíos de manera integral, en este caso específico desde un aspecto infravalorado como el impacto ambiental y las decisiones que se pueden tomar en las instituciones clínicas teniendo este factor en un mayor grado de importancia. La relación directa entre la emisión de gases de efecto invernadero, generación de residuos y consumo de recursos críticos en el ámbito de la salud destaca la complejidad de la situación. Además, la vulnerabilidad de los sistemas de salud frente a eventos climáticos extremos y la conexión entre desigualdades socioeconómicas e impactos ambientales subrayan la importancia de adoptar enfoques sostenibles en el sector.

Capítulo 3

Justificación

La introducción de equipos biomédicos en entornos hospitalarios y de atención médica conlleva impactos ambientales significativos. Estos equipos consumen una cantidad considerable de energía durante su ciclo de vida. Por ejemplo, un estudio realizado en un hospital público en Lima, Perú, revela que por cada cama por día, se generan aproximadamente 4.89 kg de residuos sólidos, se consumen 1.36 m3 de agua y se requieren 25.22 kWh de electricidad, además de emitir alrededor de 2,291 toneladas de CO_2 equivalente por año [9]. Esto se suma al hecho de que el sector de la salud de EE. UU. es responsable de aproximadamente el 8,5 % de las emisiones internas de gases de efecto invernadero del país, según un llamado a la acción publicado por funcionarios de la Academia Nacional de Medicina de EE. UU. y el Departamento de Salud y Servicios Humanos, entre otros investigadores [1].

Esta realidad resalta la urgente necesidad de evaluar y abordar el impacto ambiental del uso de los equipos biomédicos para tomar medidas efectivas destinadas a su reducción. De manera global, el sector salud representa el 4.4 % de las emisiones netas de gases de efecto invernadero, lo que lo posiciona como uno de los principales emisores a nivel mundial, según el informe de Salud sin Daño. Más del 70 % de esta huella climática está asociada a su cadena de suministro, que incluye la producción, transporte y disposición de bienes como los equipos biomédicos. Este panorama indica la importancia de alinear las prácticas del sector salud con los objetivos climáticos globales, incluyendo la transición a energías limpias, la implementación de criterios de compras bajas en carbono y el desarrollo de herramientas que permitan cuantificar y gestionar el impacto ambiental [8].

Estos hechos también se alinean directamente con el cuarto ítem de los 10 principales peligros de la tecnología sanitaria para 2024 propuestos por ECRI (Emergency Care Research Institute), una organización independiente que brinda asesoramiento sobre la seguridad, eficacia y costos de los productos de atención médica, enfatizando en la importancia de abordar los impactos ambientales de la tecnología médica para garantizar una atención médica segura y sostenible en el futuro[2]. Además, ECRI resalta que estos desafíos asociados con la gestión ambiental de la tecnología médica, no solo implican el consumo de energía y la generación de residuos, sino que también plantean desafíos para la salud pública, incluyendo un aumento de enfermedades respiratorias y problemas endocrinos derivados de la contaminación del aire y el agua [10].

Por tanto, es de vital importancia incorporar la cuantificación del impacto ambiental al momento de adquirir equipos biomédicos en instituciones hospitalarias, desde la fase de planificación de compras hasta la gestión de su obsolescencia y mantenimiento respectivo [11]. Esto se hace con el objetivo de tomar medidas para reducir el daño en el ambiente y la salud pública, y en consecuencia, disminuir los costos asociados. La gestión de equipos biomédicos tiene como finalidad garantizar el acceso seguro y efectivo a la tecnología, buscando un uso racional de los recursos y una atención

médica de calidad. Por esta razón, se hace necesario tener una serie de criterios a cumplir para la adquisición de estos equipos. Estos criterios deben abordar un enfoque técnico y clínico que garanticen que la tecnología adquirida cumpla con las necesidades de la IPS a través de las capacidades que el equipo posee. Atendiendo lo mencionado anteriormente y la importancia de criterios adecuados para la adquisición de la tecnología , es esencial incluir el aspecto del impacto ambiental que genera el uso de estos dispositivos. Esto permite a las IPS cumplir con sus necesidades, manteniendo una relación costo-efectiva del uso de la tecnología con la salud pública y el medio ambiente.

Resulta entonces indispensable el diseño e implementación de una herramienta que mida el impacto ambiental del uso de los equipos biomédicos en las IPS, ayudando a estas instituciones a gestionar proactivamente este impacto, predecir futuras compras y evaluar proveedores con características asociadas a generar un menor impacto ambiental. La herramienta propuesta busca facilitar la toma de decisiones integrales, considerando no solo aspectos clínicos y financieros, sino también ambientales. Esto permitirá que tanto los ingenieros biomédicos como el personal administrativo comparen opciones con base a datos proporcionados por la herramienta, eligiendo equipos que beneficien tanto a la institución como al medio ambiente.

En síntesis, abordar el impacto ambiental de los equipos biomédicos en las instituciones hospitalarias es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sector salud y mitigar sus contribuciones al cambio climático. La herramienta propuesta ofrece una solución práctica para evaluar y gestionar dicho impacto, permitiendo a las IPS tomar acciones para reducir su huella climática, optimizar el consumo de energía y minimizar la generación de residuos. Además, esta iniciativa contribuye a que las instituciones se alineen con políticas de hospitales verdes, promoviendo una atención más responsable y coherente con las metas globales de salud y sostenibilidad.

Capítulo 4

Objetivos

4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una herramienta para medir el impacto ambiental generado por el uso de equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana Cali en un plazo de 7 meses verificando su utilidad a través de simulaciones.

4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los aspectos ambientales significativos en la gestión ambiental del uso de los equipos biomédicos para el planteamiento de indicadores cuantificables sobre el impacto ambiental de los equipos biomédicos en el hospital simulado.
- Diseñar una herramienta para la evaluación cuantitativa del impacto ambiental generado por el uso de equipos biomédicos en diferentes áreas del Hospital simulado de la PUJC mediante un software que integre los valores de consumo de recursos naturales con los reportados en la literatura.
- Implementar la herramienta desarrollada en dos áreas específicas del Hospital Simulado de la PUJC para la evaluación del impacto ambiental en cada uno de estos espacios.
- Verificar el funcionamiento de la herramienta mediante simulaciones de casos de estudio en las dos áreas seleccionadas del Hospital Simulado de la PUJC.

Capítulo 5

Marco de Referencia

5.1. Áreas Temáticas

- Ingeniería biomédica.
- Ingeniería clínica.
- Ingeniería electrónica.
- Tecnología biomédica.
- Uso de tecnología biomédica.
- Factores que influyen en el proceso de compra de tecnología biomédica.
- Impacto ambiental.
- Factores ambientales.
- Gestión ambiental.

5.2. Marco Teórico

1. **Tecnología biomédica:** Según el decreto 4725 del 2005 [12]en el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano, se establecen las siguientes definiciones:

   a) **Dispositivo biomédico para uso humano:** Un dispositivo médico para uso humano se define como cualquier herramienta, dispositivo, máquina, software, equipo biomédico u objeto relacionado que se utiliza de manera individual o en conjunto, incluyendo todas sus partes, componentes, accesorios y programas informáticos necesarios para su adecuado funcionamiento.

   b) **Equipo biomédico:** Es un dispositivo médico operativo y funcional que incluye sistemas y subsistemas eléctricos, electrónicos o hidráulicos, así como los programas informáticos necesarios para su correcto funcionamiento. Está diseñado por el fabricante para ser utilizado en seres humanos con el propósito de prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación. Se distingue de los equipos biomédicos en que no están destinados a ser implantados en el cuerpo humano ni son de un solo uso.

2. **Gestión ambiental:** La gestión ambiental se refiere al conjunto de acciones orientadas a garantizar la racionalidad en la toma de decisiones relacionadas con la conservación, protección y mejora del medio ambiente. Este enfoque se basa en la integración de información multidisciplinaria y la participación ciudadana. Según Estevan Bolea (1994), la gestión ambiental implica un proceso coordinado para salvaguardar el capital ambiental necesario para mantener una alta calidad de vida y preservar el patrimonio natural.

   La gestión ambiental se considera un instrumento esencial de planificación que debe aplicarse en todas las actividades susceptibles de afectar el medio ambiente. Sin embargo, su implementación puede enfrentar desafíos debido a la complejidad de las interacciones ambientales y sociales.

   Con el fin de estructurar y organizar la gestión ambiental en empresas, organizaciones o grupos de trabajo, se ha desarrollado el concepto de Sistema de Gestión Ambiental (SGA). Este sistema define los componentes y funciones necesarios para gestionar de manera efectiva los aspectos ambientales de una entidad y asegurar el cumplimiento de los objetivos ambientales establecidos.[13]

   a) **Principios de la gestión ambiental:**
      1) **Optimización del Uso de los Recursos:** Busca maximizar la eficiencia en el uso de los recursos naturales, minimizando el desperdicio y promoviendo prácticas sostenibles.[14]
      2) **Previsión y Prevención de Impactos Ambientales:** Se enfoca en identificar y mitigar posibles impactos negativos en el medio ambiente antes de que ocurran, a través de evaluaciones de impacto ambiental y medidas preventivas.[14]
      3) **Control de la Capacidad de Absorción del Medio:** Consiste en monitorear y regular la capacidad del entorno para absorber y mitigar los impactos ambientales, asegurando la sostenibilidad a largo plazo.[14]
      4) **Ordenación del Territorio:** Busca una planificación adecuada del uso del suelo y los recursos naturales para evitar la degradación ambiental y promover el desarrollo sostenible. [14]

3. **Norma Técnica Internacional -NTC- ISO 14001:2004 Sistemas De Gestión Ambiental:** La Norma Técnica Internacional NTC ISO 14001:2004 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) efectivo en cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo o sector. Esta norma proporciona un marco estructurado para que las organizaciones identifiquen, gestionen y mejoren continuamente sus impactos ambientales, así como para cumplir con los requisitos legales y otros compromisos relacionados con el medio ambiente. [15]

   a) **Estructura de la NTC ISO 14001:2004**
      1) **Política Ambiental:** La organización debe establecer y mantener una política ambiental que refleje su compromiso con la protección del medio ambiente, el cumplimiento de la legislación aplicable y la mejora continua del desempeño ambiental.[15]

2) **Planificación:** Se deben identificar los aspectos ambientales significativos de las actividades, productos o servicios de la organización, así como los requisitos legales y otros compromisos ambientales aplicables. Con esta información, se establecen objetivos y metas ambientales, así como planes para alcanzarlos.[15]
3) **Implementación y Operación:** La organización debe establecer y mantener procedimientos documentados para controlar sus actividades, productos y servicios que puedan tener un impacto ambiental significativo. Esto incluye la capacitación del personal, la comunicación interna y externa, y el control de documentos y registros.[15]
4) **Verificación y Acción Correctiva:** Se deben establecer procedimientos para monitorear y medir el desempeño ambiental, evaluar el cumplimiento de los requisitos legales y tomar acciones correctivas y preventivas cuando sea necesario. Esto incluye la realización de auditorías internas periódicas.[15]
5) **Revisión por la Dirección:** La alta dirección debe revisar periódicamente el desempeño del SGA para garantizar su eficacia y adecuación a los objetivos y metas ambientales establecidos. Esta revisión incluye la evaluación de los resultados de las auditorías internas, así como la retroalimentación de las partes interesadas. [15]

b) **Revisión ambiental inicial (RAI):** Constituye un componente esencial en el desarrollo y mantenimiento de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) conforme a la norma ISO 14001. Este proceso se define como la identificación y documentación sistemática de los impactos ambientales significativos que están directa o indirectamente asociados con las actividades, productos y servicios que ofrece una organización. La RAI es el primer paso hacia la mejora de la actuación ambiental de una organización, permitiendo un entendimiento claro de los impactos ambientales que necesitan ser controlados o minimizados.[16]

c) **La Matriz de Aspectos y Valoración de Impactos Ambientales:** Es una herramienta esencial en la gestión ambiental que permite a las organizaciones identificar y evaluar sistemáticamente los aspectos ambientales y los impactos relacionados de sus actividades, productos o servicios. Esta herramienta es fundamental para cualquier Sistema de Gestión Ambiental (SGA) y facilita el proceso de toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad y la minimización de los efectos negativos en el medio ambiente. Para comprender mejor el uso de la matriz de aspectos y valoración de impactos ambientales en la evaluación del impacto ambiental por el uso de dispositivos biomédicos, es esencial definir y esclarecer varios términos clave que serán utilizados en este estudio:[17]

1) **Aspecto Ambiental:** Se refiere a cualquier elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. Este término abarca tanto las operaciones directas como las indirectas que pueden tener un efecto sobre el ambiente, tales como emisiones, descargas, residuos, uso de recursos naturales y energía.[17]
2) **Impacto Ambiental:** Es el efecto que produce un aspecto ambiental sobre el medio ambiente, pudiendo ser este efecto tanto adverso como beneficioso. El impacto puede

resultar del uso normal o anormal de los dispositivos biomédicos dentro del entorno hospitalario.[17]

3) **Recurso:** Incluye elementos del ambiente como suelo, agua, aire, flora y fauna que pueden interactuar con los aspectos ambientales generados por las actividades médicas y que pueden ser afectados positiva o negativamente por dichas actividades.[17]
4) **Regularidad:** Denota la frecuencia con que se realiza una actividad o se produce un bien o servicio dentro de la organización. Este factor es crucial para determinar la persistencia y el volumen del impacto ambiental.[17]
5) **Valoración del Impacto Ambiental:** Se refiere al procedimiento técnico que permite interpretar cualitativa o cuantitativamente los impactos ambientales, utilizando escalas de valores fijas que definen los atributos del impacto y su cumplimiento normativo.[17]
6) **Significancia del Impacto Ambiental:** Representa una clasificación que determina la relevancia del impacto ambiental basada en su valoración y cumplimiento de la normativa ambiental. Permite distinguir entre impactos ambientales significativos y no significativos.[17]

4. **Habilitación de Servicios de Salud según la Resolución 3100 de 2019:** La Resolución 3100 de 2019, emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, establece los lineamientos para la habilitación de los servicios de salud en el país. Esta normativa tiene como objetivo garantizar que las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) cumplan con los estándares mínimos de calidad, seguridad y eficiencia en la prestación de sus servicios. La habilitación es un requisito obligatorio que las IPS deben cumplir para operar legalmente en Colombia.

   En el marco de esta resolución, la habilitación se define como el proceso mediante el cual se verifica el cumplimiento de las condiciones básicas de capacidad tecnológica y científica, suficiencia patrimonial y financiera, y capacidad técnico-administrativa para prestar servicios de salud. Estas condiciones incluyen aspectos como la infraestructura, dotación de equipos biomédicos, talento humano y procesos organizativos.

   Un elemento clave de la resolución es la especificación de la dotación mínima requerida en cada tipo de servicio, como quirófanos, salas de partos, unidades de cuidado intensivo y otros. Esto incluye una lista detallada de los equipos biomédicos que deben estar presentes para garantizar la atención segura y eficaz de los pacientes. Por ejemplo, para las salas de cirugía, se exige la presencia de equipos como máquinas de anestesia, electrobisturíes y ventiladores mecánicos, mientras que en las salas de partos se requieren incubadoras, monitores de signos vitales y cunas de calor radiante.

   La implementación de esta normativa es crucial en el contexto del presente proyecto, ya que proporciona los criterios técnicos para seleccionar los equipos biomédicos evaluados en el hospital simulado. Al alinearse con la Resolución 3100 de 2019, este estudio asegura que las herramientas desarrolladas sean aplicables en un entorno real y cumplan con los estándares nacionales de calidad. [18]

5. **Sostenibilidad y salud:** La sostenibilidad en el ámbito del cuidado de la salud se define como la integración consciente de la gestión ambiental, la equidad social y la responsabilidad financiera en las instituciones de atención médica, con el propósito de promover entornos y comunidades saludables, equitativas y resilientes a lo largo del tiempo. Este enfoque se fundamenta en un principio elemental: la supervivencia y el bienestar humanos están intrínsecamente ligados al entorno natural. Por ende, perseguir la sostenibilidad implica establecer y mantener las condiciones necesarias para que tanto los seres humanos como la naturaleza puedan coexistir en una simbiosis productiva, garantizando el apoyo tanto a las generaciones actuales como a las futuras.[19]

   a) **Huella de carbono en el entorno de la salud:** La huella de carbono es la medida de los equivalentes de dióxido de carbono emitidos por una institución médica, un profesional de la salud o una comunidad, como resultado del consumo de recursos y la utilización de prácticas que involucran la producción de gases de efecto invernadero, principalmente derivados de la quema de combustibles fósiles. Esta medida evalúa el impacto ambiental directo e indirecto de las actividades relacionadas con la atención médica, incluyendo el uso de energía, la generación de residuos, la movilidad, y otros aspectos relevantes para la sostenibilidad ambiental en el sector de la salud.[19]

   b) **Carbono operacional:** El carbono operacional se refiere a las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con las operaciones diarias de una organización o institución, que incluyen tanto emisiones directas como indirectas. Esto abarca una variedad de actividades, como el consumo energético del edificio, el uso de gases anestésicos, la liberación de refrigerantes en el sitio, los desplazamientos del personal y los viajes de negocios. Es una medida clave para evaluar y gestionar el impacto ambiental de las actividades cotidianas de una entidad en relación con el cambio climático y la sostenibilidad.[19]

   c) **Consumo de energía eléctrica:** El consumo energético es la cantidad total de energía que se necesita para un proceso determinado y se mide en kilovatios hora (kWh). Aquí se incluye el gasto de energía eléctrica, de gas, de gasoil y de biomasa.[20] Las clínicas y hospitales son grandes consumidores de energía en las ciudades, ya que sus operaciones requieren energía las 24 horas del día, los siete días de la semana. La iluminación, los sistemas de seguridad y monitoreo, los ascensores, las labores de limpieza y esterilización de las habitaciones y salas quirúrgicas, la calefacción y aire acondicionado, y el manejo de gases medicinales son algunos de los servicios que demandan energía constantemente.[21] De acuerdo con un estudio de caracterización realizado por la UPME, el principal energético empleado en el sector terciario es la energía eléctrica, con una participación del 66.24 %. Específicamente, para el sector salud, el aire acondicionado representa en promedio el 40 % del consumo de energía eléctrica, llegando a ser un poco más del 60 % en ciudades costeras. Este consumo significativo presenta una oportunidad para implementar estrategias y proyectos enfocados en el ahorro y la eficiencia energética de estos sistemas. [21] El alto consumo energético de los centros de salud tiene un impacto ambiental considerable. Las operaciones de estas instituciones pueden contribuir a la contaminación

y al uso excesivo de recursos naturales. Por ejemplo, el uso de combustibles fósiles para la generación de energía puede resultar en emisiones de gases de efecto invernadero, agravando el cambio climático y afectando la salud pública. [22]

d) **Emisiones de gases de efecto invernadero:** Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son aquellas emisiones que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático. Los GEI incluyen gases como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NOx), entre otros, que son liberados principalmente a través de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y ciertos procesos industriales. El sector salud es uno de los mayores consumidores de energía, lo que resulta en un impacto significativo en las emisiones de GEI. Las instituciones de salud, como hospitales y clínicas, dependen en gran medida de la energía proveniente de fuentes fósiles. Esta dependencia conduce a la liberación de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases contaminantes a la atmósfera, exacerbando el problema del cambio climático. [22] Además del daño ambiental, estas emisiones tienen repercusiones directas en la salud pública. La contaminación del aire, agravada por las emisiones del sector salud, está asociada con diversos problemas de salud, tales como enfermedades respiratorias y cardiovasculares.[22]

6. **Residuo hospitalario** Los residuos hospitalarios comprenden todas aquellas sustancias, materiales y subproductos, sean sólidos, líquidos o gaseosos, que se originan a partir de actividades desarrolladas dentro del ámbito de la salud y sectores afines. Estos residuos se generan desde el momento de su creación hasta su disposición final, incluyendo sectores como hospitales, clínicas, laboratorios, funerarias, farmacias, y otros establecimientos relacionados con la atención sanitaria y servicios de salud animal. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), un aproximado del 85 %. de estos residuos son comunes y no representan un peligro directo, mientras que el 15 %. restante es considerado peligroso, pudiendo ser infeccioso, tóxico o radiactivo. Los residuos hospitalarios se clasifican en dos categorías principales: peligrosos y no peligrosos. Los peligrosos incluyen residuos infecciosos o de riesgo biológico, químicos y radioactivos, mientras que los no peligrosos abarcan los biodegradables, reciclables y ordinarios.[23]

   a) **Residuos hospitalarios peligrosos[24]**

      1) **Residuos infecciosos o de riesgo biológico:**
         - Estos residuos contienen microorganismos patógenos como bacterias, virus, parásitos, hongos, y sus toxinas, que presentan una virulencia y concentración suficientes para causar enfermedades infecciosas en huéspedes susceptibles.
         - Incluyen materiales como gasas, algodones, guantes y cuerpos de jeringas que han estado en contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales.
         - También abarcan elementos cortopunzantes como agujas y restos de ampolletas, que pueden provocar accidentes percutáneos infecciosos.

      2) **Residuos químicos:**

- Comprenden restos de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuo contaminado con estas sustancias.
- Estos residuos pueden causar muerte, lesiones graves o efectos adversos significativos a la salud y al medio ambiente en función de su concentración y tiempo de exposición.
- Incluyen fármacos parcialmente consumidos, vencidos y/o deteriorados, además de los residuos generados en laboratorios farmacéuticos y dispositivos médicos defectuosos.

b) **Residuos hospitalarios no peligroso[24]**

1) **Reciclables:**
   - Son residuos que no se descomponen fácilmente y que pueden ser reutilizados como materia prima en nuevos procesos productivos. En el contexto de dispositivos biomédicos, estos residuos incluyen componentes de metal, plástico, vidrio, y elementos electrónicos que son parte integral de los equipos médicos.
2) **Inertes:**
   - Son residuos que no reaccionan químicamente o biológicamente con otros elementos y cuya degradación natural es extremadamente lenta. En dispositivos biomédicos, esto incluye ciertos plásticos especiales utilizados en partes de equipos que no son susceptibles a procesos de reciclaje convencionales.

5.3. Trabajos Relacionados

Impacto medioambiental de los servicios de Urgencias en la Salud pública: Una herramienta de valoración [25]

El cambio climático ha emergido como un factor crítico que influye en la salud humana, exacerbando la incidencia de enfermedades cardiovasculares, respiratorias, infecciosas y desnutrición, además de afectar la salud mental. Además, se ha demostrado que los servicios de salud contribuyen significativamente a las emisiones globales de gases de efecto invernadero, representando entre el 4 % y el 5 % del total [25]. En este contexto, el estudio realizado por Rodríguez-Jiménez et al. (2023) se centra en el diseño de una herramienta para evaluar la huella de carbono específicamente en los servicios de Urgencias.

La metodología empleada por los autores se dividió en cinco etapas. Inicialmente, se seleccionaron las categorías relevantes para la evaluación de la huella de carbono a partir de una exhaustiva revisión de la literatura científica. Posteriormente, se establecieron el alcance y los límites de la herramienta, se definieron los factores de conversión necesarios y se recopilaron datos del servicio de Urgencias del Royal Free Hospital de Londres como sitio piloto. Finalmente, se seleccionó el método de cálculo de la huella de carbono adecuado.

La herramienta resultante se estructuró en tres ámbitos principales, cada uno subdividido en categorías que engloban varios elementos relevantes para la evaluación. La recopilación de datos se llevó a cabo utilizando diversas fuentes, incluyendo facturación, medidores, auditorías y encuestas.

La herramienta se presentó en formato de documento de Microsoft Excel, facilitando su uso y comprensión por parte de los usuarios.
La relevancia de esta herramienta de evaluación de carbono radica en su capacidad para proporcionar una valoración de referencia de la huella de carbono en los servicios de Urgencias. Además, permite identificar puntos críticos de emisión dentro del servicio, lo que puede impulsar la implementación de iniciativas ambientales locales para reducir dichas emisiones.

Informe sobre Calculadoras de Huella de Carbono para Contratistas de Atención Primaria [26]

Este informe presenta el análisis detallado de diversas calculadoras de huella de carbono disponibles resaltando la importancia de emplear herramientas especializadas para evaluar y reducir la huella de carbono en entornos de atención primaria. Estas calculadoras son fundamentales para comprender y mitigar el impacto ambiental de las prácticas de atención médica al identificar áreas clave de emisión de carbono, como el consumo de energía y suministros médicos, entre otros.

Las calculadoras de huella de carbono para contratistas de atención primaria funcionan recopilando datos específicos sobre las actividades y prácticas de la organización de atención médica. Estos datos suelen incluir información sobre el consumo de energía, los viajes de pacientes y personal, el uso de suministros médicos, entre otros aspectos relevantes para calcular la huella de carbono.

Después de que se ingresan los datos necesarios en la calculadora, esta utiliza algoritmos y factores de conversión específicos para estimar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con las actividades de la práctica de atención primaria. Algunas calculadoras pueden permitir la entrada de datos detallados y específicos, lo que resulta en estimaciones más precisas, mientras que otras pueden ofrecer opciones más generales para recopilar información.
Las calculadoras de huella de carbono mencionadas en el informe para su uso por contratistas de atención primaria son las siguientes:

- See Sustainability GP Carbon Footprint Calculator
- The Carbon Trust Carbon Footprint Calculator
- The National Energy Foundation Carbon Footprint Calculator
- The Climate Hero Carbon Footprint Calculator

Una vez procesados los datos ingresados, la calculadora genera un informe que detalla la huella de carbono total de la práctica de atención primaria, desglosando las emisiones por categorías como energía, transporte, suministros médicos, entre otros. Este informe actúa como punto de referencia para identificar áreas de mejora y establecer objetivos para reducir las emisiones de carbono, promoviendo así la sostenibilidad ambiental en el entorno de atención primaria.[26]

Proyecto de Estimación de la Huella de Carbono del Sistema de Salud Colombiano[27]

Este proyecto surge en el marco de la Ley 1931 de 2018, que establece la obligación del sector salud

de formular e implementar un Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial (PIGCCS). Este plan debe abordar tanto la adaptación como la mitigación de los efectos del cambio climático. En 2021, Colombia reafirmó su compromiso al unirse al Programa de Salud de la COP26, asumiendo la responsabilidad de estimar la línea base de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sistema de salud nacional, incluidas las cadenas de suministro.

El objetivo principal del proyecto es realizar una aproximación inicial a la huella de carbono del sistema de salud colombiano. Para ello, se capacitó a las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) en el uso de una herramienta desarrollada por la organización **Salud sin Daño**, diseñada para calcular la huella de carbono en establecimientos de salud. Este esfuerzo representa un paso crucial en el compromiso del sector salud con la reducción de las emisiones de GEI y la sostenibilidad ambiental.

El proyecto constituye un avance significativo hacia la sostenibilidad del sector salud en Colombia, proporcionando herramientas y conocimientos para medir y reducir el impacto ambiental. La colaboración entre el Ministerio de Salud y organizaciones no gubernamentales fue clave para el éxito de estas iniciativas, que no solo buscan cumplir compromisos internacionales, sino también fortalecer la resiliencia y sostenibilidad del sistema de salud frente al cambio climático.

Este esfuerzo forma parte de un movimiento más amplio para integrar la sostenibilidad en todos los aspectos de la atención médica, asegurando que el sector salud no solo trate enfermedades, sino que también contribuya a la salud del planeta. En este contexto, más de 400 Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) participaron en un programa de capacitación para el uso de la herramienta de monitoreo del impacto climático. Finalmente, se analizaron 265 reportes de IPS, generando recomendaciones clave para la formulación de planes de acción climática en el sector salud colombiano.

Capítulo 6

Materiales y Métodos

La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto constó de varias fases diferenciadas, diseñadas para abordar de manera sistemática y específica los objetivos planteados. Este enfoque permitió integrar conocimientos de diferentes áreas para garantizar un análisis robusto y adaptado al contexto de los equipos biomédicos en el hospital simulado. A continuación, se describen las fases:

6.1. Fase 1

El primer paso fue identificar los aspectos ambientales significativos relacionados con la gestión de los equipos biomédicos. Para ello, se realizó una búsqueda exhaustiva en la literatura, enfocada en herramientas utilizadas para la evaluación ambiental en diversos entornos, principalmente empresas del sector industrial. Esta revisión permitió seleccionar las metodologías más adecuadas para realizar la Revisión Ambiental Inicial (RAI) y determinar los aspectos ambientales relevantes para este proyecto. Se utilizó una matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales, adaptada del modelo presentado en el proyecto "Diagnóstico del desempeño ambiental de la empresa tametco s.a.s., para la implementación de la ntc iso 14001:2004"[28]. Este ajuste fue necesario debido a las diferencias en los objetivos y el contexto de aplicación, ya que el modelo original estaba diseñado para una empresa de mecánica y maquinaria industrial. A continuación se muestra la estructura de la matriz utilizada:

6.1.1. Matriz de aspectos e impactos ambientales

INSTITUCIÓN PRESTADORA DE SERVICIOS DE SALUD					MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES			FECHA ACTUALIZACIÓN				
AREA	PROCESO	EQUIPO BIOMÉDICO	ESTADO DE OPERACIÓN		ASPECTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	A	P	C	IMPORTANCIA	SIGNIFICANCIA
			NORMAL	ANORMAL								

Figura 6.1: Matriz de aspectos e impactos ambientales

En esta matriz:

- **Área**: Espacio general en el hospital simulado, es decir, quirófanos, consultorios, oficinas, almacenes o pasillos.
- **Proceso**: Especialidad o actividad realizada en el área, como el quirófano de partos. Este aspecto es relevante, ya que determina el tipo de equipos presentes en el espacio evaluado.

- **Equipo biomédico**: Dispositivo específico evaluado.
- **Estado de operación**: Condición del equipo en relación con su funcionalidad. Un estado "normal" indica que el equipo no presenta fallas y está activo en el proceso. Por el contrario, un estado "anormal" implica que el equipo presenta fallas operativas que lo mantienen fuera de servicio y, por ende, inactivo en el proceso.
- **Aspecto ambiental**: Característica o acción con influencia sobre el medio ambiente.
- **Impacto ambiental**: Resultado directo o indirecto de la interacción del aspecto con el entorno.

En cuanto a los criterios de evaluación de estos aspectos, se utilizó la metodología adaptada del documento "Diagnóstico del desempeño ambiental de la empresa tametco s.a.s., para la implementación de la ntc iso 14001:2004"[28], que fue reajustada en este proyecto para establecer pesos con valores enteros de 1, 2 o 3 en las siguientes categorías: **Alcance (A)**, **Probabilidad (P)** y **Cantidad (C)**.

De acuerdo al "Instructivo Diligenciamiento de la Matriz de Identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales" (2013), la importancia (I) se calculó utilizando la fórmula:

$$I = A \cdot P \cdot C \tag{6.1}$$

A continuación, se detallan los valores asignados a cada categoría:

6.1.1.1. (A) Alcance

- **1**: Impacto local, limitado al área inmediata de uso (quirófano, sala neonatal).
- **2**: Impacto regional, afecta al hospital o comunidad cercana.
- **3**: Impacto global, relacionado con emisiones de CO_2 o residuos no biodegradables.

6.1.1.2. (P) Probabilidad

- **1**: Poco probable o esporádico.
- **2**: Moderada posibilidad bajo ciertas condiciones.
- **3**: Alta probabilidad debido al uso continuo o inherente al equipo.

6.1.1.3. (C) Cantidad

- **1**: Generación baja (piezas pequeñas o residuos mínimos).
- **2**: Cantidad moderada (residuos regulares o uso frecuente).
- **3**: Alta cantidad (residuos recurrentes o consumo elevado).

Según el valor obtenido mediante la fórmula (6.1), se determinó la **significancia** de cada impacto ambiental. Los resultados se organizaron en la figura 6.10 presentada a continuación.

6.1.2. Clasificación según la importancia

INTERVALO DE IMPORTANCIA(I=A*P*C)	CLASIFICACIÓN	SIGNIFICANCIA
0<I≤8	BAJA	NO SIGNIFICATIVO
8<I≤12	MODERADA	SIGNIFICATIVO
12<I≤27	ALTA	

Figura 6.2: Clasificación y significancia de acuerdo a la importancia

Este análisis se centró exclusivamente en los equipos biomédicos de las salas específicas de estudio, es decir, sala de partos y sala de cirugía general, diferenciándose del enfoque general propuesto en la Revisión Ambiental Inicial (RAI), en donde participan entes de diferentes áreas para tener una visión más amplia del impacto ambiental. Estas salas fueron seleccionadas debido a la organización del hospital simulado y su disponibilidad de dos quirofanos comúnmente adaptados para estas dos especialidades. Después de adaptar y aplicar la matriz de evaluación, se consideraron dos criterios principales para establecer los equipos evaluados en este proyecto: su disponibilidad en el hospital simulado y su inclusión en la dotación mínima requerida por la Resolución 3100 de 2019.

Esta norma regula las condiciones de habilitación de servicios de salud en Colombia, especificando los equipos biomédicos que deben estar presentes en salas críticas como quirófanos y salas de partos. Este enfoque permitió filtrar los dispositivos que, según la normativa, son esenciales para garantizar la atención adecuada en las áreas seleccionadas, asegurando así que los equipos estudiados fueran representativos y pertinentes. Finalmente, se seleccionaron los equipos enlistados a continuación para realizar un análisis detallado de los aspectos ambientales más relevantes.

Los equipos biomédicos seleccionados para este proyecto se clasificaron en función de su uso en dos áreas específicas: la sala de cirugía general y la sala de partos. A continuación, se presenta la lista de dispositivos evaluados en cada una de estas áreas:

- En la **sala de cirugía general**, los equipos seleccionados fueron:
  - Bomba de infusión.
  - Máquina de anestesia.
  - Electrobisturí.
  - Cama.
  - Electrocardiógrafo.
  - Ventilador mecánico.

    - Monitor desfibrilador.

- En la **sala de partos**, se evaluaron los siguientes equipos:

    - Bomba de infusión.
    - Monitor de signos vitales.
    - Cuna de calor radiante.
    - Incubadora.
    - Monitor desfibrilador.

6.2. Fase 2: Recolección de datos

Para desarrollar la herramienta, se llevó a cabo una recopilación de datos en el hospital simulado, enfocada en los equipos previamente seleccionados conforme a los estándares establecidos en la **Resolución 3100 de 2019**. Durante este proceso, se registraron manualmente el nombre, la marca, el modelo, la serie y el registro INVIMA de cada equipo. Posteriormente, se consultó la página oficial del INVIMA para obtener la clasificación por riesgo y la vida útil de los equipos, utilizando el registro previamente identificado como referencia.

Una vez se obtuvo esta información se realizaron una serie de pruebas para determinar el impacto ambiental generado por cada sala con base base a los indicadores seleccionados previamente, consumo de energía eléctrica y generación de residuos.

Los equipos biomédicos seleccionados fueron los siguientes:

- Bomba de infusión: Medcaptain SYS 6010
- Bomba de infusión: Mindray BeneFusion VP3
- Cama: No identificado, No identificado
- Cuna de calor radiante: Ningbo David Medical YP-930
- Electrocardiógrafo: EDAN SE-3
- Electrobisturí: Wem SS-501SX
- Incubadora: Rosch IS/3
- Máquina de Anestesia: Kontron ORSA 3
- Monitor de signos vitales: EDAN iM50
- Monitor desfibrilador: Mindray Beneheart D3
- Ventilador mecánico: Mindray SV300

Para medir el consumo de energía eléctrica, se utilizó un medidor especializado que registró valores clave, como tensión eléctrica, corriente, potencia y energía de los equipos biomédicos. Los equipos operaron de manera continua durante una hora, lo que permitió obtener datos de referencia sobre el consumo energético en el entorno simulado y extrapolar dichos valores a diferentes períodos de tiempo. La medición de voltaje y corriente fue esencial porque son las variables base para calcular la potencia activa (según la relación $P=V\times I$), considerando también el factor de potencia (FP) para reflejar que no todas las cargas son resistivas. Esto asegura que el cálculo tenga en cuenta la naturaleza reactiva de algunas cargas, brindando una evaluación más precisa del consumo energético. Además, el registro de la energía permitió evaluar directamente el impacto del consumo energético acumulado durante una hora. Este enfoque garantizó un análisis detallado y preciso de la demanda eléctrica de los equipos biomédicos en un entorno simulado.. Adicionalmente, se llevó a cabo un inventario de los consumibles utilizados en cada equipo para calcular la cantidad de residuos generados por sala por día, expresados en kilogramos (kg). Posteriormente, los residuos se clasificaron en reciclables y no reciclables para facilitar su gestión ambiental y sentar las bases para futuras estrategias de sostenibilidad.

Una vez obtenidas estas mediciones, se consolidó una base de datos que incluyó información detallada de los equipos biomédicos, como marca, modelo, registro INVIMA, entre otros y sus respectivos consumos . Esta base de datos sirvió como punto de partida para el desarrollo de la herramienta de evaluación del impacto ambiental.

6.3. Fase 3: Desarrollo e interacción con la herramienta

Para la tercera fase del proyecto, se diseñó y planificó la ejecución de la herramienta/software, estableciendo una serie de pasos que orientan tanto la interacción del usuario con la herramienta como las respuestas generadas internamente por el sistema.

Se desarrolló un **diagrama de flujo** para representar de manera visual y ordenada la interacción ideal entre el usuario y la herramienta.

Por razones prácticas y para una mejor comprensión, el diagrama se dividió en **dos partes**:

1. **Interacción inicial y registro de usuario** (recuadro azul).
2. **Generación de reportes ambientales** (recuadro verde).

A continuación, se detallan cada una de estas partes:

6.3.1. Interacción inicial y registro de usuario

La primera parte del flujo inicia con una **pantalla de bienvenida** que presenta dos opciones al usuario:

- **Opción 1:** Registro inicial.
- **Opción 2:** Iniciar sesión (en caso de contar con usuario y contraseña).

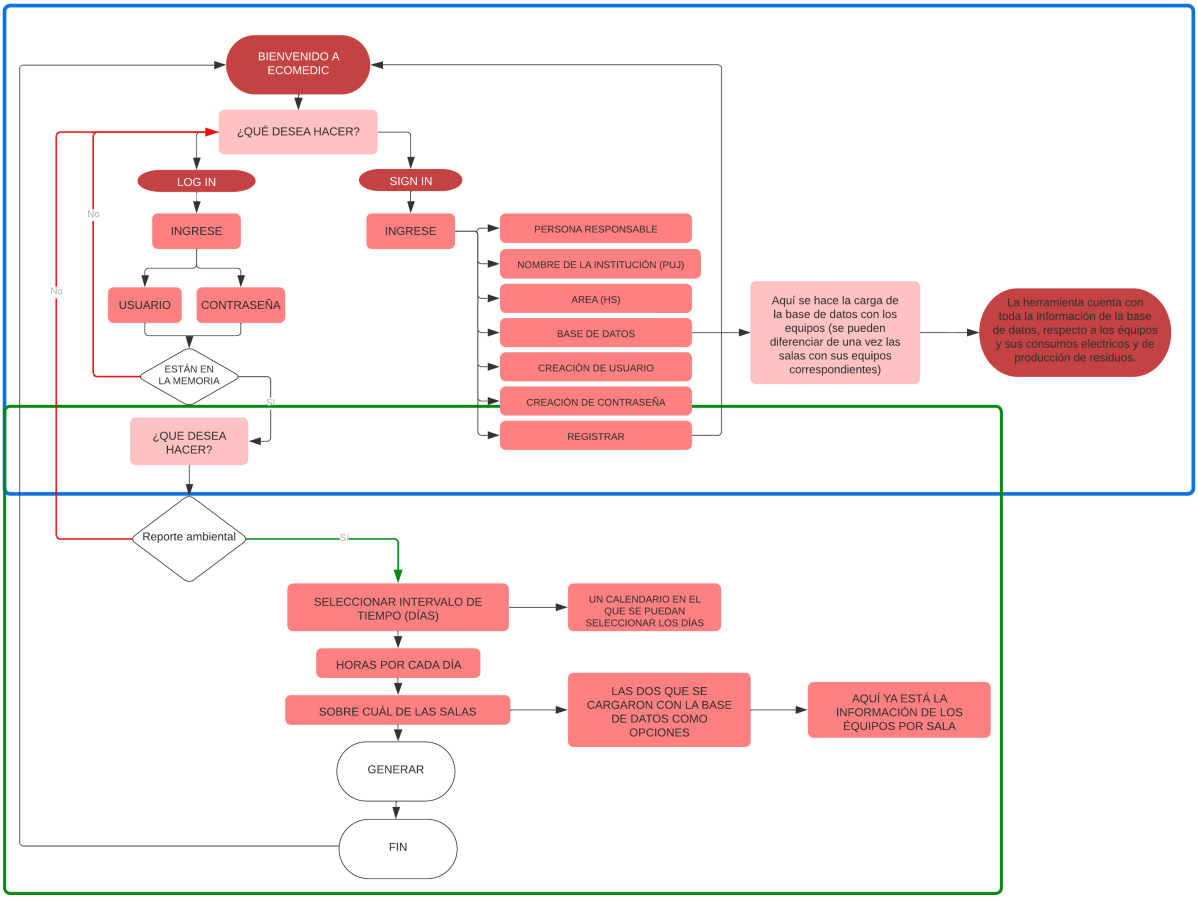

Figura 6.3: Diagrama de flujo completo

En caso de registro inicial, el usuario debe completar los siguientes pasos:

1. Ingresar el nombre de la persona responsable.
2. Registrar el nombre de la institución.
3. Especificar el área de trabajo.
4. Cargar la base de datos (información registrada en la fase anterior).
5. Crear un usuario y contraseña.
6. Confirmar los datos para completar el registro.

Una vez finalizado este proceso, en futuros accesos, el usuario podrá seleccionar directamente la opción de **'Iniciar sesión'**, ingresar sus credenciales y acceder al sistema.

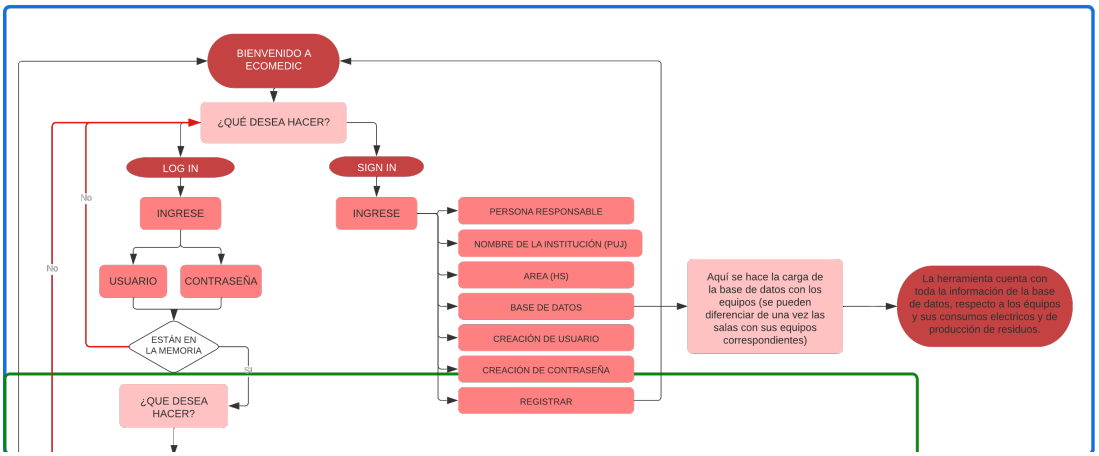

Figura 6.4: Parte 1: Interacción inicial y registro de usuario

6.3.2. Generación de reportes ambientales

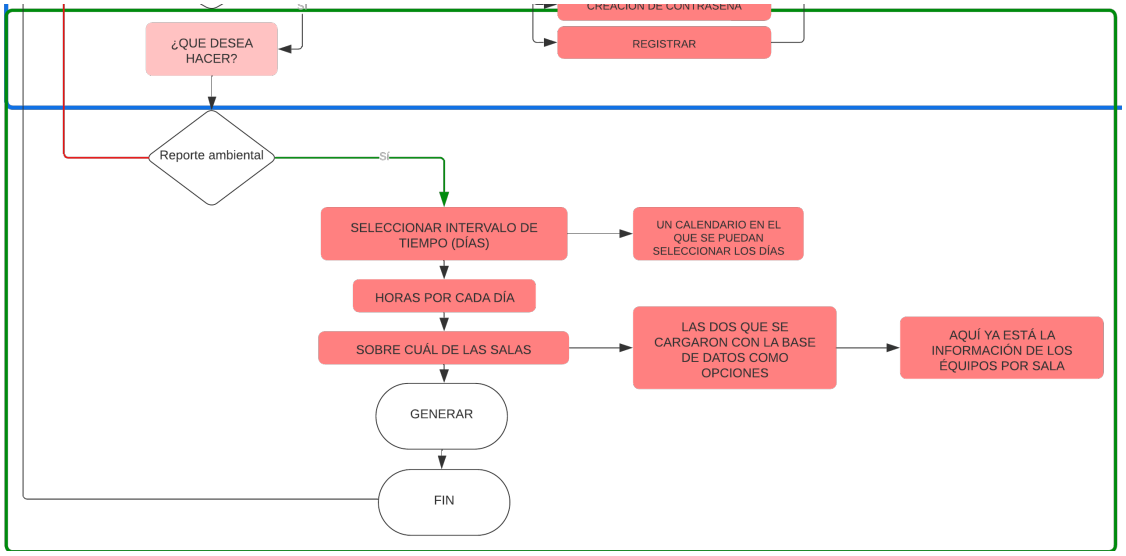

Figura 6.5: Parte 2: Generación de reportes

En esta segunda parte, la herramienta se centra en la **generación de un reporte ambiental**. Para ello, solicita al usuario la siguiente información base:

1. Seleccionar el **intervalo de tiempo** que se tomará en cuenta para el reporte.

2. Indicar las **horas de uso de la sala por día**.

3. Seleccionar la **sala específica** a analizar.
4. Confirmar que toda la información ingresada sea correcta.
5. Hacer clic en el botón **"Generar reporte"**.

Una vez generado el reporte, el usuario puede finalizar la acción seleccionando la opción **"Finalizar acción"**, lo que lo redirigirá al **panel inicial**.

Como parte de esta fase de planificación, se elaboró un borrador del reporte con la información esperada como resultado de la evaluación ambiental realizada con la herramienta. Para ello, se utilizó **Canva**, aprovechando sus herramientas de diseño que permiten crear un formato visualmente atractivo y profesional.

6.3.3. Diseño preliminar del reporte ambiental

Se generaron dos perspectivas del reporte:

1. **Perspectiva del usuario**: Lo que finalmente visualizará el usuario.
2. **Perspectiva de la herramienta**: La información procesada y las fuentes que alimentan el reporte.

6.3.3.1. Perspectiva del usuario

En el reporte resultante, el usuario podrá visualizar cinco secciones principales:

1. **Encabezado**: Contiene el título del reporte, *Reporte ambiental"*, y un número de identificación único ubicado en la esquina superior derecha.
2. **Información general**: Incluye datos básicos sobre el espacio evaluado:
   - Persona responsable.
   - Institución.
   - Área o sala seleccionada.
   - Equipos presentes en la sala.
   - Intervalo de tiempo considerado para la evaluación.
3. **Resultados cuantitativos**: Se presentan los valores numéricos correspondientes a:
   - Consumo energético (en kWh).
   - Emisiones de CO_2 (en kg).
   - Producción de residuos (en kg).
4. **Resultados gráficos**: Incluye gráficos que comparan los tres aspectos mencionados contra el tiempo:

Figura 6.6: Reporte ambiental Demo: Perspectiva de usuario

- Una gráfica para el consumo energético (kWh).
- Una gráfica combinada para las emisiones de CO_2 y la producción de residuos (kg).

5. **Evaluación de significancia**: Presenta el cálculo de la importancia de uno de los aspectos seleccionados en la Fase 1 , indicando si es significativo o no. Esto se determina con base en el valor calculado con la fórmula (6.1) y comparado con los umbrales predefinidos (Significativo:

$I \geq 8$, No significativo: $I < 8$).

6.3.3.2. Perspectiva de la herramienta

Desde la perspectiva de la herramienta, las cinco secciones del reporte se procesan de la siguiente manera:

Figura 6.7: Reporte ambiental Demo: Perspectiva de la herramienta

1. **Encabezado**: Contiene el título predeterminado, *Reporte ambiental"*, y un número único de identificación asignado automáticamente. Cada reporte generado por el usuario tendrá un número distinto.

2. **Información general**: Esta sección se alimenta de dos fuentes:

   - **Datos de registro del usuario**: Persona responsable, institución, área y equipos seleccionados.
   - **Datos ingresados antes de generar el reporte**: Intervalo de tiempo y respuestas proporcionadas en el flujo de generación.

3. **Resultados cuantitativos**: Se calculan de la siguiente manera:

   - **Consumo energético**: Suma de los kWh consumidos por los equipos en la sala, multiplicados por las horas de uso diarias y el número de días del intervalo.
   - **Emisiones de CO_2**: Multiplicación del consumo energético total por el factor de emisión promedio en Colombia ($\sim 0{,}1 - 0{,}15\,\text{kg } CO_2/\text{kWh}$).
   - **Producción de residuos**: Multiplicación del valor de residuos generados por equipo por la cantidad de usos diarios, sumando los resultados para obtener el total semanal.

4. **Resultados gráficos**: Representan los valores del consumo energético, las emisiones y la producción de residuos desglosados por día en el intervalo seleccionado. Las variables con la misma unidad (kg) se presentan en una gráfica combinada.

5. **Evaluación de significancia**: Los datos ingresados se asignan a intervalos predefinidos para aplicar la fórmula (6.1). Cada uno de los valores enteros entre 1 y 3 asignados a las variables A, P y C se determinó de acuerdo con los siguientes criterios:

   a) **Para el caso de A:** Se tomó un valor constante de 3 para todos los casos, ya que, a partir de la Revisión Ambiental Inicial (RAI) y la matriz de aspectos e impactos ambientales, se determinó que este es un aspecto que inminentemente impacta a nivel de la atmósfera.

   b) **Para el caso de P:** Este valor se calculó considerando los promedios de uso en horas durante tres tipos de semanas: Alta demanda, Demanda normal y Baja demanda. Con base en estos promedios, se establecieron los siguientes intervalos:

      - De 0 a 3.2 horas corresponde a $P = 1$.
      - De 3.3 a 7 horas corresponde a $P = 2$.
      - Mayor o igual a 7 horas corresponde a $P = 3$.

   c) **Para el caso de C:** Se utilizó un enfoque similar al de P, calculando los intervalos con base en las horas promedio de las mismas tres semanas. En este caso, se multiplicó la suma de los consumos energéticos (kWh) de los equipos de la sala por los valores que delimitaban los intervalos de P. Los intervalos establecidos para la sala de cirugía fueron:

      - De 0 a 8.2 corresponde a $C = 1$.

- De 8.3 a 18 corresponde a $C = 2$.
- Mayor o igual a 19 corresponde a $C = 3$.

Los intervalos establecidos para la sala de partos fueron:

- De 0 a 0.5 corresponde a $C = 1$.
- De 0.6 a 1.2 corresponde a $C = 2$.
- Mayor o igual a 1.3 corresponde a $C = 3$.

Según el valor obtenido, se clasifica el impacto como:

- **Significativo**: $I \geq 8$.
- **No significativo**: $I < 8$.

Por ejemplo, en el caso del consumo energético, un resultado de $I = 12$ (con valores de $A = 3, P = 2, C = 2$) sería clasificado como significativo.

6.3.4. Framework y Tecnologías Utilizadas

El desarrollo de la herramienta se llevó a cabo utilizando principalmente el framework **Django**, una herramienta basada en Python diseñada para la creación de aplicaciones web. Django fue seleccionado debido a su robustez, versatilidad y la posibilidad de integrar una base de datos en formato Excel que fuera accesible a través de Internet[29]. Este enfoque permitió gestionar los datos de manera eficiente y facilitar la interacción entre el backend y los usuarios.

Para el backend, se utilizó **Python**. Su elección responde a su facilidad de uso, extensibilidad y capacidad para adaptarse a futuras modificaciones o integraciones en otros proyectos.[30]

En el frontend, se emplearon lenguajes de diseño web como **HTML**, **CSS** y **JavaScript** para garantizar una interfaz de usuario funcional, atractiva y acorde con los estándares modernos. Estos lenguajes son esenciales para el desarrollo de aplicaciones web, proporcionando la estructura, el diseño y la interactividad necesarias.

La combinación de estas tecnologías permitió crear una herramienta escalable, accesible y preparada para posibles adaptaciones futuras, maximizando su utilidad tanto en el contexto del proyecto actual como en escenarios futuros.

6.4. Fase 4: Implementación y validación de la herramienta

Para la validación de la herramienta, se realizó una clasificación de las actividades semanales en el hospital simulado en tres categorías: **alta demanda, demanda normal y baja demanda**. Esta clasificación se definió según el volumen y la intensidad de las actividades realizadas en las salas mencionadas: **una alta demanda** corresponde a semanas con un alto número de actividades y uso intensivo de los equipos; **una demanda normal** representa semanas con niveles de actividad habituales; y **una baja demanda** abarca semanas con un número reducido de tareas. Este enfoque permitió reflejar distintos niveles de uso y, por ende, variaciones en el consumo de energía eléctrica,

las emisiones de CO2 y la generación de residuos, facilitando que la herramienta muestre cómo varía el impacto según la actividad.

La información fue recopilada a través de una entrevista con el ingeniero Juan Camilo Vergara Gil del hospital simualdo, quien proporcionó detalles sobre los cronogramas semanales del hospital. Aunque las imágenes siguientes corresponden al cronograma del día lunes como ejemplo, el ingeniero proporcionó la información completa para cada uno de los días de la semana, de lunes a viernes:

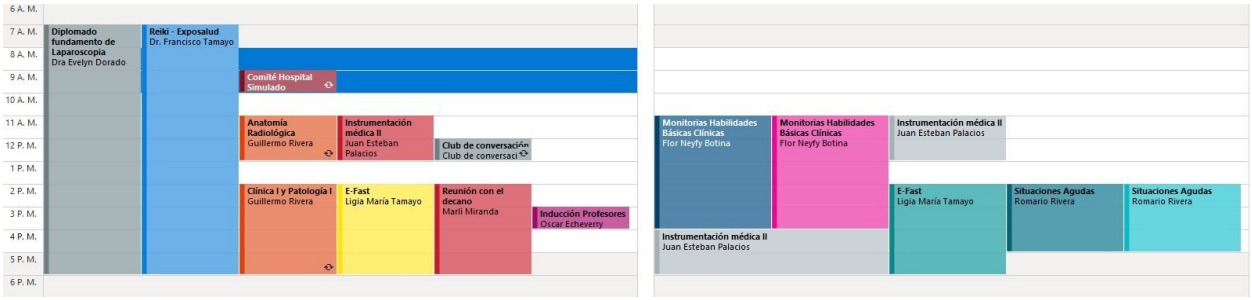

Figura 6.8: Actividades del día lunes de una semana de alta demanda

Figura 6.9: Actividades del día lunes de una semana demanda normal

Figura 6.10: Actividades del día lunes de una semana baja demanda

A partir de esta información, se identificaron las actividades diarias en las que se utilizaron las salas mencionadas previamente, determinando las horas de uso con el propósito de calcular el impacto ambiental de cada una. Cabe destacar que, para validar la herramienta, se seleccionaron actividades que involucraban ambas salas. Sin embargo, para aproximarse mejor a la realidad, las horas obtenidas se dividieron entre dos, asignando así la información a cada sala por separado. Los datos recopilados se organizaron de la siguiente manera:

6.4.1. Semana de alta demanda

La semana de alta demanda incluye actividades que representan un alto nivel de ocupación y uso intensivo de las salas de partos y cirugía. Las actividades relevantes para esta categoría y sus respectivas duraciones diarias son:

- **Lunes:** 10 horas (Diplomado Fundamentos de Laparoscopia, E-fast, Situaciones agudas, Monitorias habilidades básicas clínicas)
- **Martes:** 9 horas (Medicina de urgencias Neurotrauma, Pediatría, Medicina interna II hospitalización, Medicina interna II)
- **Miércoles:** 12.5 horas (Medicina de urgencias adulto, Reanimación neonatal, Medicina interna II nefrología, Medicina interna II geriatría)
- **Jueves:** 12 horas (Cirugía trauma, Entrenamiento de ultrasonido cardíaco, Medicina de urgencias pediátricas, Emergencias obstétricas, Medicina interna II hospitalización)
- **Viernes:** Viernes: 7 horas (Trauma y urgencias, Medicina de urgencias)

El total semanal para la semana de alta demanda es de 50.5 horas, con un promedio diario de 10.1 horas.

6.4.2. Semana de demanda normal

La semana de demanda normal refleja un nivel moderado de actividades y uso de las salas de partos y cirugía. Las actividades seleccionadas y sus duraciones diarias son:

- **Lunes:** 4.5 horas (Monitorias habilidades básicas clínicas, Clínica I y patología I)
- **Martes:** 5.5 horas (Medicina de urgencias neurotrauma, Medicina interna II hospitalización)
- **Miércoles:** 11.5 horas (Medicina interna II urgencias adulto, Medicina interna II nefrología, Medicina interna geriatría, Medicina urgencias)
- **Jueves:** 9 horas (Medicina de urgencias pediátricas, Entrenamiento en ultrasonido cardíaco, Cirugía trauma)
- **Viernes:** 5 horas (Medicina de urgencias)

El total semanal para la semana de demanda normal es de 35,5 horas, con un promedio diario de 7.1 horas.

6.4.3. Semana de baja demanda

La semana de baja demanda representa un menor nivel de actividades y uso de las salas de partos y cirugía. Las actividades correspondientes y sus duraciones diarias son:

- **Lunes:** 2 horas (Clínica y patología I)
- **Martes:** 3 horas (Medicina de urgencias neurotrauma, Medicina interna II hospitalización, Pediatría, Emergencias obstétricas)
- **Miércoles:** 5 horas (Medicina de urgencias, Medicina interna urgencias)
- **Jueves:** 4 horas (Medicina de urgencias pediátricas, Entrenamiento en ultrasonido cardíaco, Medicina Interna hospitalización)
- **Viernes:** 2 horas (Especialización cirugía pediátrica, Medicina interna I)

El total semanal para la semana de baja demanda es de 16 horas, con un promedio diario de 3.2 horas.

Capítulo 7

Resultados y Discusión

7.1. Resultados de la Fase 1

7.1.1. Evaluación inicial con la matriz de aspectos e impactos ambientales

Los resultados de la primera fase, obtenidos mediante la aplicación de la matriz de aspectos e impactos ambientales en la **Revisión Ambiental Inicial (RAI)**, permitieron identificar los aspectos más significativos en el desempeño ambiental de los equipos biomédicos evaluados.

El análisis se llevó a cabo utilizando **Microsoft Excel**, donde cada hoja correspondió a un equipo específico. Este enfoque facilitó la organización y comparación de los aspectos ambientales evaluados. A continuación, se presenta un ejemplo con el **monitor de signos vitales**.

MÓNITOR DE SIGNOS VITALES

HOSPITAL SIMULADO DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI				MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		FECHA ACTUALIZACIÓN				
Quirofanos	Partos	Monitor de signos vitales	ESTADO DE OPERACIÓN: NORMAL / ANORMAL	Consumo de electricidad	Emisiones de CO_2 por generación de electricidad	2	3	2	12	Significativo
Quirofanos	Partos	Monitor de signos vitales	ESTADO DE OPERACIÓN: NORMAL / ANORMAL	Generación de residuos electrónicos y materiales descartables como sensores, cables y electrodos	Contaminación de agua y suelo	2	3	3	18	Significativo
Quirofanos	Partos	Monitor de signos vitales	ESTADO DE OPERACIÓN: NORMAL / ANORMAL	Generación de ruido	Afectación al bienestar del personal y pacientes	1	3	2	6	No significativo
Quirofanos	Partos	Monitor de signos vitales	ESTADO DE OPERACIÓN: NORMAL / ANORMAL	Uso de baterías desechables o recargables	Contaminación del suelo/agua por metales pesados	2	2	2	8	No significativo
Quirofanos	Partos	Monitor de signos vitales	ESTADO DE OPERACIÓN: NORMAL / ANORMAL	Generación de calor	Contribución al calor ambiental	1	2	1	2	No significativo

Matriz | Maquina de anestesia | **Mónitor de signos vitales** | Electrobisturí | Bomba de infusión | Electrocardiografo | Ecografo | Ventilador

Figura 7.1: Matriz de aspectos e impactos ambientales: Monitor de signos vitales.

7.1.2. Consumo eléctrico y emisiones de CO_2

El primer aspecto evaluado fue el consumo eléctrico, una característica inherente de los equipos biomédicos, según lo definido por el **Decreto 4725 de 2005**, que clasifica a estos equipos como consumidores de energía. Este análisis reveló que el consumo eléctrico es uno de los aspectos más significativos en todos los equipos evaluados con una importancia promedio de 15,45.

La matriz mostró que este aspecto tiene un impacto ambiental directo en la emisión de CO_2 al ambiente, con clasificaciones altas en los criterios de:

- **Alcance (A: 3)**: Las emisiones de CO_2 afectan el ambiente más allá del quirófano, contribuyendo al cambio climático.
- **Probabilidad (P: 3)**: Las emisiones son proporcionales al uso del equipo, lo cual es constante en salas activas.
- **Cantidad (C: 3)**: Representa el mayor impacto cuantitativo debido al funcionamiento continuo de los equipos.

A continuación, se muestra cómo se completó la matriz para este aspecto en el caso de la **bomba de infusión**:

BOMBA DE INFUSIÓN												
	HOSPITAL SIMULADO DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI				MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		FECHA ACTUALIZACIÓN				
1	Quirofanos	Cirugía	Bomba de infusión	ESTADO DE OPERACIÓN: NORMAL / ANORMAL	Consumo de electricidad	Emisiones de CO_2 por generación de electricidad	2	3	2	12	Significativo

Figura 7.2: Matriz de aspectos e impactos ambientales: Bomba de infusión.

Cada una de las hojas de matrices se finaliza con un recuadro en el que se concluía a cerca de los aspectos que tenían la mayor significancia y por ende deberían ser considerados para la siguiente fase del proyecto. Se veía de la siguiente manera:

CONCLUSIÓN
Los aspectos ambientales a priorizar en la siguiente fase del proyecto son los ennumerados como 1 y 2. Esta decisión basada en los resultados de significancia obtenidos en la matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales.

Figura 7.3: Conclusión de cada evaluación.

7.1.3. Generación de residuos sólidos

Otro aspecto recurrentemente destacado en las evaluaciones fue la generación de residuos sólidos, incluyendo materiales reciclables y peligrosos, este aspecto tuvo una importancia promedio de 15,54.

Este aspecto se observó en diversos equipos, con un impacto significativo sobre la **contaminación del agua y del suelo**. Por ejemplo, la matriz del **electrobisturí** evidenció los siguientes valores:

ELECTROBISTURÍ												
	HOSPITAL SIMULADO DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI					MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		FECHA ACTUALIZACIÓN				
2	Quirofanos	Cirugía	Electrobisturí	ESTADO DE OPERACIÓN		Generación de residuos electrónicos y materiales descartables como cables y electrodos	Contaminación de agua y suelo	2	3	3	18	Significativo
				NORMAL	ANORMAL							

Figura 7.4: Matriz de aspectos e impactos ambientales: Electrobisturí (generación de residuos).

7.1.4. Aspectos específicos de equipos

Durante el análisis, se identificaron aspectos particulares asociados a equipos específicos, como la **generación de humo quirúrgico** en el caso del **electrobisturí**. Este aspecto tuvo clasificaciones altas:

- **Alcance (A: 3)**: Afecta al aire y genera riesgos para la salud del personal.
- **Probabilidad (P: 3)**: Está presente en todos los procedimientos quirúrgicos.
- **Cantidad (C: 3)**: Altamente relevante por la frecuencia de uso.

ELECTROBISTURÍ												
	HOSPITAL SIMULADO DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI					MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		FECHA ACTUALIZACIÓN				
4	Quirofanos	Cirugía	Electrobisturí	ESTADO DE OPERACIÓN		Generación de humo quirúrgico	Contaminación del aire, riesgo para la salud del personal	3	3	3	27	Significativo
				NORMAL	ANORMAL							

Figura 7.5: Matriz de aspectos e impactos ambientales: Electrobisturí (generación de humo quirúrgico).

No obstante, debido a su especificidad, este aspecto no fue priorizado en la siguiente fase, ya que el proyecto buscaba identificar aspectos comunes a todos los equipos biomédicos.

7.2. Resultados de la Fase 2

La base de datos se estructuró en un documento de Excel, organizado de manera que facilitara el acceso y análisis de la información. La información recopilada se organizó en las siguientes tablas:

- **Sala de cirugía**

Nombre	Bomba de infusión
Marca	Mindray
Modelo	BeneFusion VP3
Serie	SK20409936
Registro INVIMA	2022EBC-0008723-R1
Clasificación por riesgo	IIB
Vida útil	10 años
Voltaje (V)	119.8
Corriente (A)	0.144
Potencia (W)	8.8
Energía (kWh)	0.012

Cuadro 7.1: Bomba de infusión

Nombre	Máquina de Anestesia
Marca	Kontron
Modelo	ORSA 3
Serie	97060160
Registro INVIMA	No registra
Clasificación por riesgo	No registra
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	127.9
Corriente (A)	0.52
Potencia (W)	58.9
Energía (kWh)	0.013

Cuadro 7.2: Máquina de Anestesia

Nombre	Electrobisturí
Marca	Wem
Modelo	SS-501SX
Serie	CAE 0007225
Registro INVIMA	2020EBC-0004122-R1
Clasificación por riesgo	IIB
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	128.3
Corriente (A)	0.145
Potencia (W)	10.2
Energía (kWh)	2.2

Cuadro 7.3: Electrobisturí

Nombre	Cama
Marca	No identificado
Modelo	No identificado
Serie	9121
Registro INVIMA	No registra
Clasificación por riesgo	No registra
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	128.5
Corriente (A)	0.044
Potencia (W)	1.5
Energía (kWh)	0.106

Cuadro 7.4: Cama

Nombre	Electrocardiógrafo
Marca	EDAN
Modelo	SE-3
Serie	360250-M21118930008
Registro INVIMA	2020DM-0021425
Clasificación por riesgo	IIA
Vida útil	5 años
Voltaje (V)	119.8
Corriente (A)	0.168
Potencia (W)	10.5
Energía (kWh)	0.036

Cuadro 7.5: Electrocardiógrafo

Nombre	Ventilador mecánico
Marca	Mindray
Modelo	SV300
Serie	GB - 21049894
Registro INVIMA	No registra
Clasificación por riesgo	No registra
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	120.8
Corriente (A)	0.4
Potencia (W)	48.32
Energía (kWh)	0.048

Cuadro 7.6: Ventilador mecánico

Nombre	Monitor desfribilador
Marca	Mindray
Modelo	Beneheart D3
Serie	EL-42012750
Registro INVIMA	2020EBC-0005463-R1
Clasificación por riesgo	IIB
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	120
Corriente (A)	0.2
Potencia (W)	21.3
Energía (kWh)	0.024

Cuadro 7.7: Monitor desfibrilador

- **Sala de partos**

Nombre	Bomba de infusión
Marca	Medcaptain
Modelo	SYS 6010
Serie	91420121114905
Registro INVIMA	2015EBC-0013283
Clasificación por riesgo	IIB
Vida útil	5 años
Voltaje (V)	120.1
Corriente (A)	0.08
Potencia (W)	5.1
Energía (kWh)	0.0.0051

Cuadro 7.8: Bomba de infusión

Nombre	Monitor de signos vitales
Marca	EDAN
Modelo	iM50
Serie	360069 - M22414120023
Registro INVIMA	2019EBC-0002816-R1
Clasificación por riesgo	IIB
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	119.9
Corriente (A)	0.21
Potencia (W)	13.7
Energía (kWh)	0.0137

Cuadro 7.9: Monitor de signos vitales

Nombre	Cuna de calor radiante
Marca	Ningbo David Medical
Modelo	YP-930
Serie	3090643
Registro INVIMA	No registra
Clasificación por riesgo	No registra
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	127.9
Corriente (A)	0.42
Potencia (W)	55.8
Energía (kWh)	0.055

Cuadro 7.10: Cuna de calor radiante

Nombre	Incubadora
Marca	Rosch
Modelo	IS/3
Serie	10802
Registro INVIMA	No registra
Clasificación por riesgo	No registra
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	120
Corriente (A)	0.15
Potencia (W)	73.9
Energía (kWh)	0.073

Cuadro 7.11: Incubadora

Nombre	Monitor desfibrilador
Marca	Mindray
Modelo	Beneheart D3
Serie	EL-1C001964
Registro INVIMA	2020EBC-0005463-R1
Clasificación por riesgo	IIB
Vida útil	No registra
Voltaje (V)	120
Corriente (A)	0.2
Potencia (W)	21.3
Energía (kWh)	0.021

Cuadro 7.12: Monitor desfibrilador

- **Residuos por equipos**

Equipo	Consumible	Peso (Kg)	Clasificación
Bomba de infusión	Set de infusión	0.1	No reciclable
Máquina de Anestesia	Canister	1.5	No reciclable
Electrobisturí	Electrodos	0.1	No reciclable
Cama	Cubierta para colchón	2	No reciclable
Eletrocardiógrafo	Papel para ECG	0.2	Reciclable
Eletrocardiógrafo	Electrodos	0.1	No reciclable
Ventilador mecánico	Circuitos/Filtros de respiración	1.1	No reciclable
Monitor desfibrilador	Electrodos	0.1	No reciclable
Monitor de signos vitales	Electrodos	0.1	No reciclable
Cuna de calor radiante	Cubierta para colchón	2	No reciclable
Incubadora	Cubierta para colchón	2	No reciclable

Cuadro 7.13: Residuos por equipos

Es importante mencionar que, para los residuos, los pesos de los consumibles son aproximados para poder obtener el valor de la generación diaria de residuos por sala. Asimismo, el hospital simulado, como su nombre indica, no tiene una generación masiva de residuos como la tendría un hospital de alta complejidad. Por lo tanto, estos valores representan estimaciones aproximadas de lo que se podría consumir en un día en un entorno real.

7.3. Resultados Fase 3

Del desarrollo del software se generaron las siguientes secciones:

- **Interfaz de bienvenida:** Al ingresar a la página, el usuario es recibido con una interfaz de bienvenida. Si es un nuevo usuario, se le solicita registrarse proporcionando datos como nombre de usuario, contraseña e institución a la que pertenece. En caso de que ya esté registrado, solo debe ingresar sus credenciales para acceder.

    - La ventana principal se ve de la siguiente manera con dos opciones: Registro o Iniciar sesión:

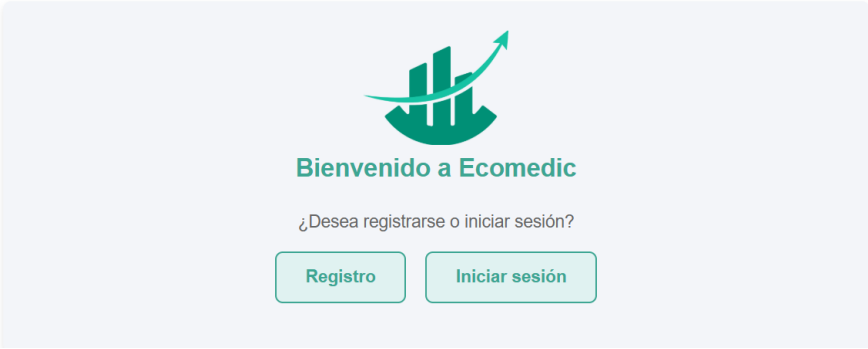

Figura 7.6: Ventana principal

- Al seleccionar la opción "Registro" se abre la siguiente ventana con datos que debe ingresar el usuario para el respectivo registro:

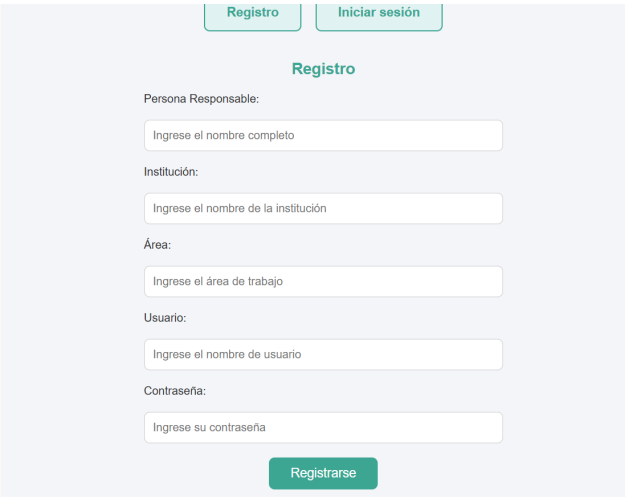

Figura 7.7: Registro de usuario

- Si el usuario se registra con éxito, se muestra el siguiente mensaje:

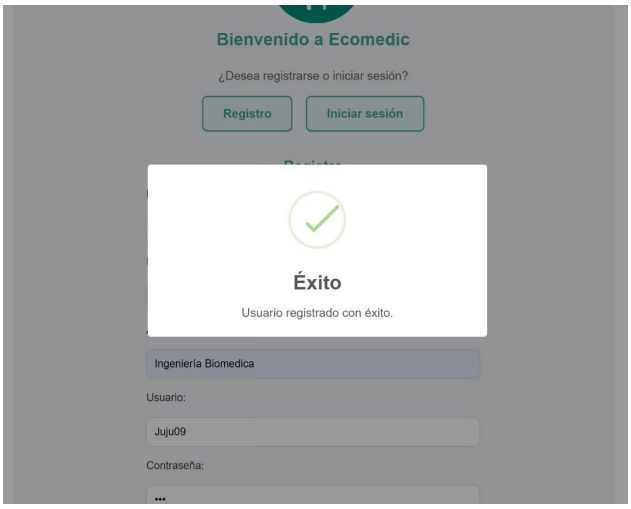

Figura 7.8: Registro exitoso

- Si el usuario ya existe, entonces se mostrará el siguiente mensaje de error:

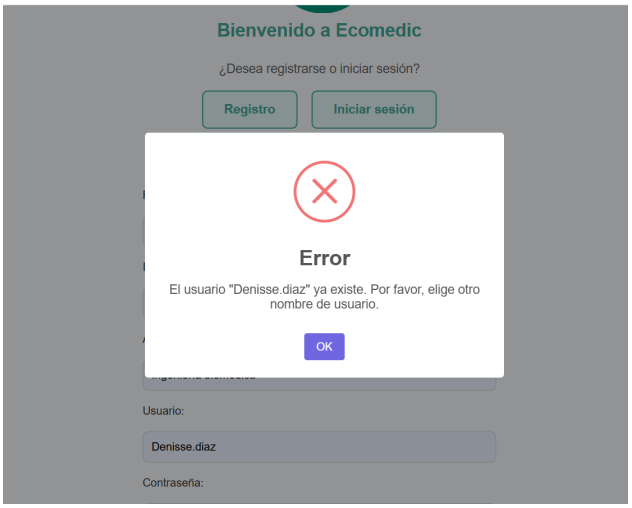

Figura 7.9: Registro fallido

- Al seleccionar la opción “Iniciar sesión” se abre la siguiente ventana para ingresar el usuario y la contraseña:

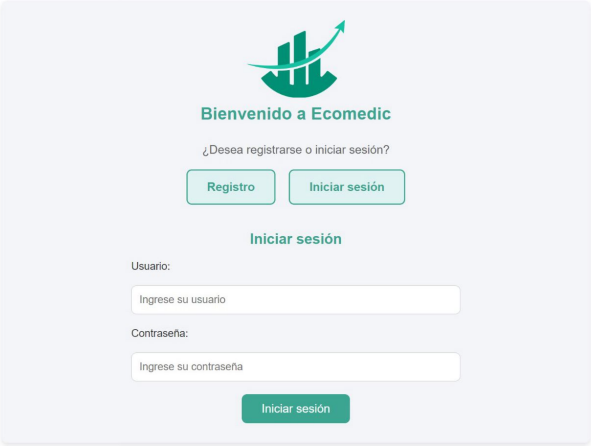

Figura 7.10: Iniciar sesión

- Si el usuario ingresa con éxito, se muestra el siguiente mensaje:

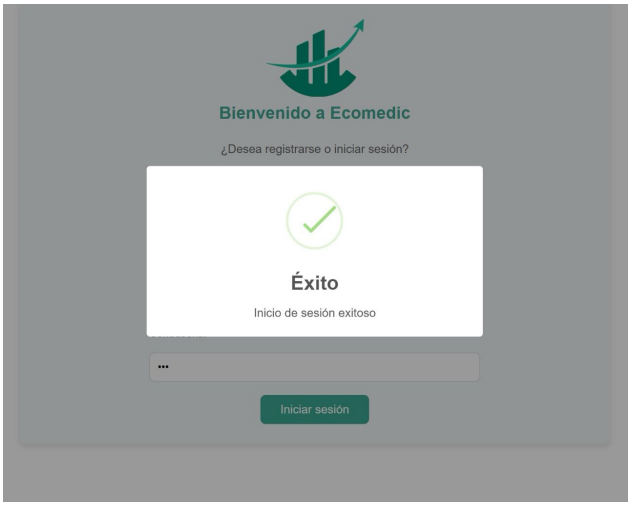

Figura 7.11: Inicio de sesión exitoso

- Si el usuario o contraseña son incorrectos, entonces se mostrará el siguiente mensaje de error:

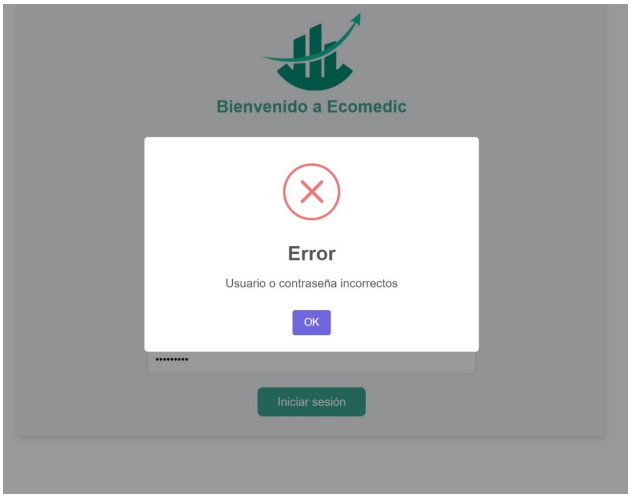

Figura 7.12: Inicio de sesión fallido

- **Generar reporte:** Una vez autenticado, el usuario responde una serie de preguntas diseñadas para calcular el impacto ambiental generado por el uso de equipos biomédicos en una sala específica. Estas preguntas incluyen:
  - La sala que desea evaluar.
  - El tiempo de uso de los equipos en dicha sala (días y horas por día).

Figura 7.13: Generar reporte

- **Reporte** Una vez consolidados los datos, el sistema genera un reporte detallado que incluye:
  - **Información del usuario** En esta sección del informe se recopila información del usuario, incluyendo su nombre, institución, área de trabajo, la sala seleccionada y el periodo en el que desea realizar la evaluación del impacto.

Figura 7.14: Información de usuario

  - **Cálculos realizados por la herramienta** En esta sección, el informe presenta las horas

diarias de uso de la sala y los cálculos del impacto ambiental correspondientes, basados en la información previamente suministrada.

Figura 7.15: Consumos calculados por la herramienta

- **Gráficas que ilustran los consumos y residuos** Posteriormente, se presentan dos gráficos: uno que muestra el consumo energético y otro las emisiones de CO2. En el eje x se representa el tiempo (días) y en el eje y el consumo, permitiendo observar la variación del consumo a lo largo de los días.

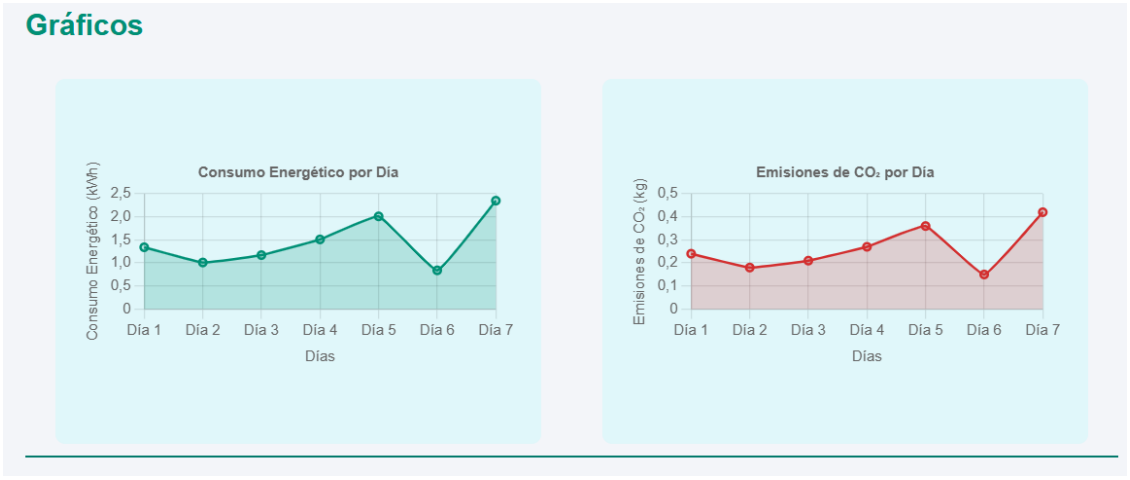

Figura 7.16: Gráficos de consumo energético y emisiones de CO2

- **Matriz de aspectos e impactos** Esta sección incluye un análisis basado en la matriz de aspectos e impactos, que determina si el impacto ambiental durante el período evaluado es significativo o no.

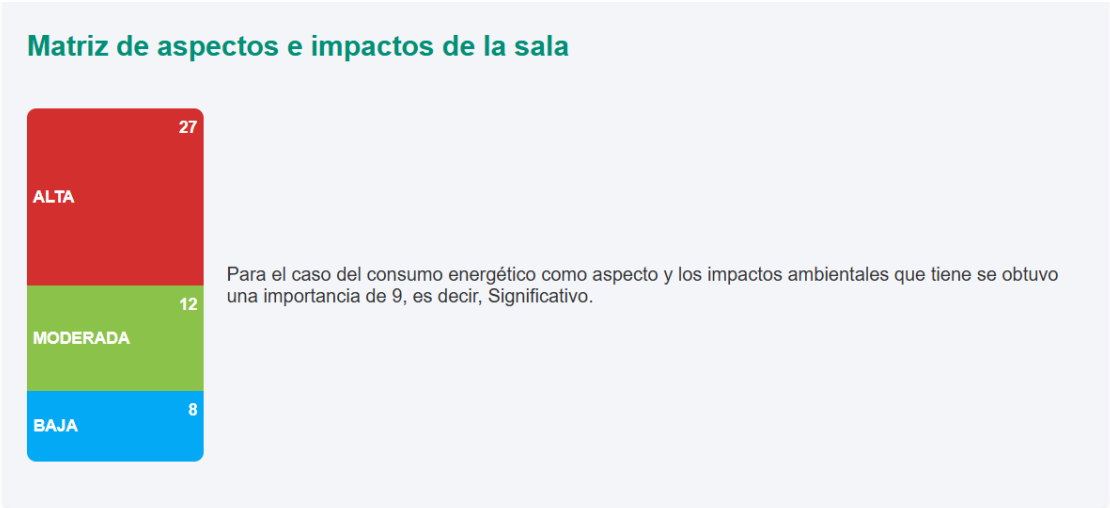

Figura 7.17: Evaluación de significancia

- **Funciones adicionales:** La herrmienta también permite realizar diferentes funciones dependiendo de las necesidades del usuario. Dentro de estas funciones se incluyen:

  - **Gestionar salas** Esta función permite al usuario agregar o eliminar salas según los requisitos de la evaluación que desee realizar.

Figura 7.18: Gestionar salas

  - **Gestionar equipos biomédicos** Esta función permite al usuario agregar equipos biomédicos y asignarlos a la sala de su elección.

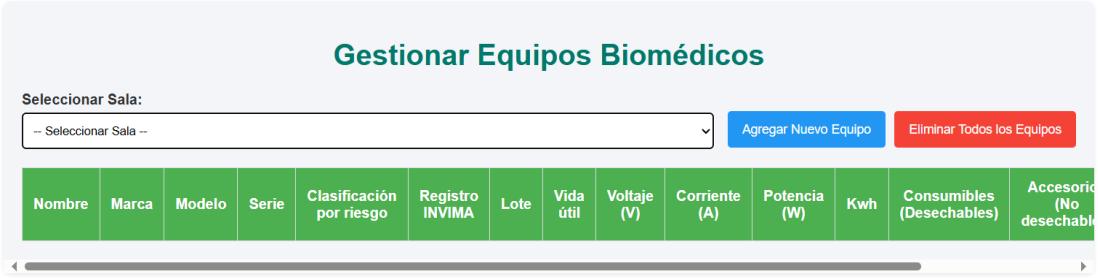

Figura 7.19: Gestionar equipos biomédicos

- **Gestionar usuarios** Esta función permite visualizar los usuarios con acceso a la herramienta, así como eliminarlos o editar su información según sea necesario.

Figura 7.20: Gestionar usuarios

- **Gestionar PConsumo** Esta función permite ajustar los rangos de los límites del promedio de uso de las salas, determinando así la significancia del impacto ambiental.

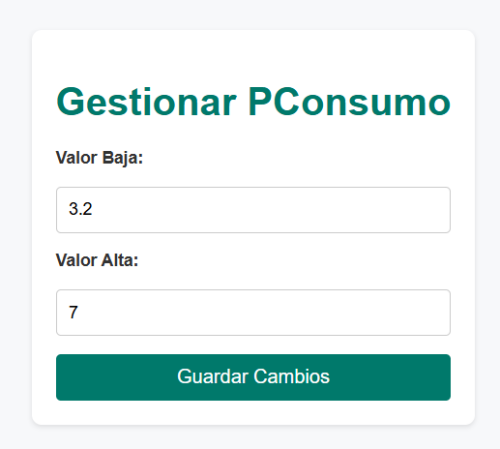

Figura 7.21: Gestionar PConsumo

7.4. Fase 4

Teniendo el cronograma proporcionado para realizar la validación de la herramienta, se obtuvieron los siguientes resultados. La sala escogida para la validación fue la sala de cirugía y el tiempo elegido fue una semana (5 días).

La información general del reporte ambiental se presenta de la siguiente manera:

Figura 7.22: Información general del reporte ambiental.

- **Semana de alta demanda:** Para la semana de alta demanda se obtuvo la siguiente información:

Figura 7.23: Consumos durante la semana de alta demanda

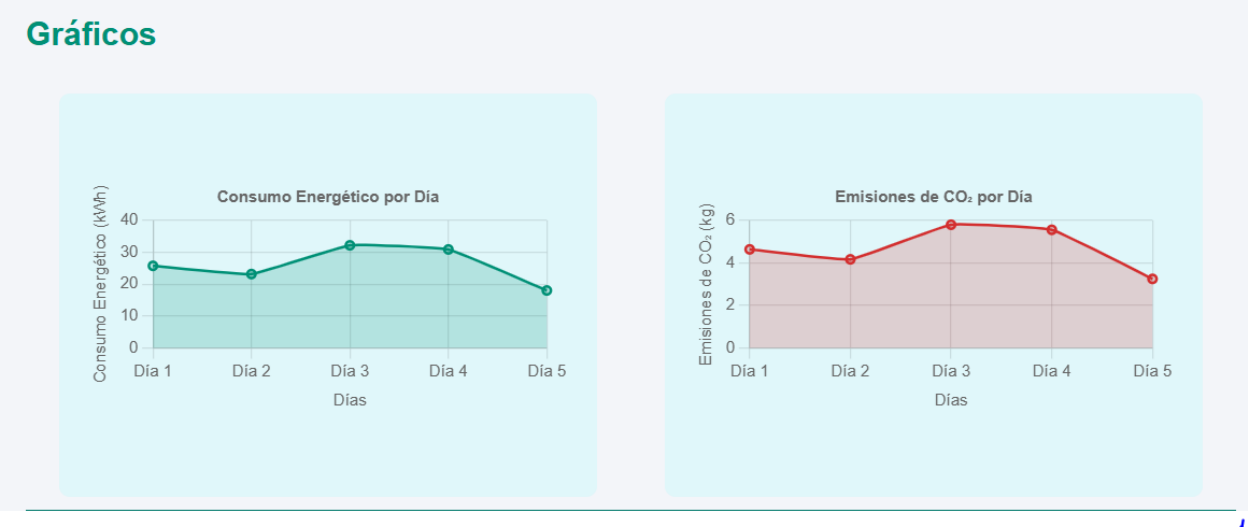

Figura 7.24: Gráficos de consumos para la semana de alta demanda

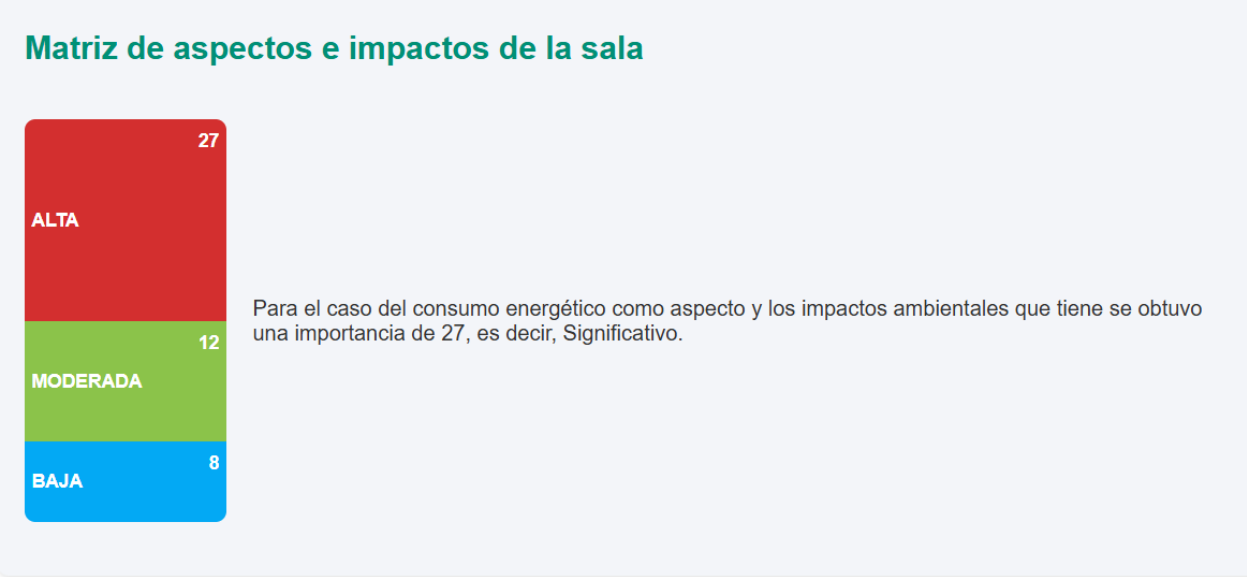

Figura 7.25: Matriz de aspectos e impactos para la semana de alta demanda

Durante esta semana se identificó que el impacto ambiental fue significativo, lo que indica un alto consumo de recursos en la sala de cirugía del Hospital Simulado.

- **Semana de demandanormal:** Para la semana de demanda normal se obtuvo la siguiente información:

Figura 7.26: Consumos durante la semana de demanda normal.

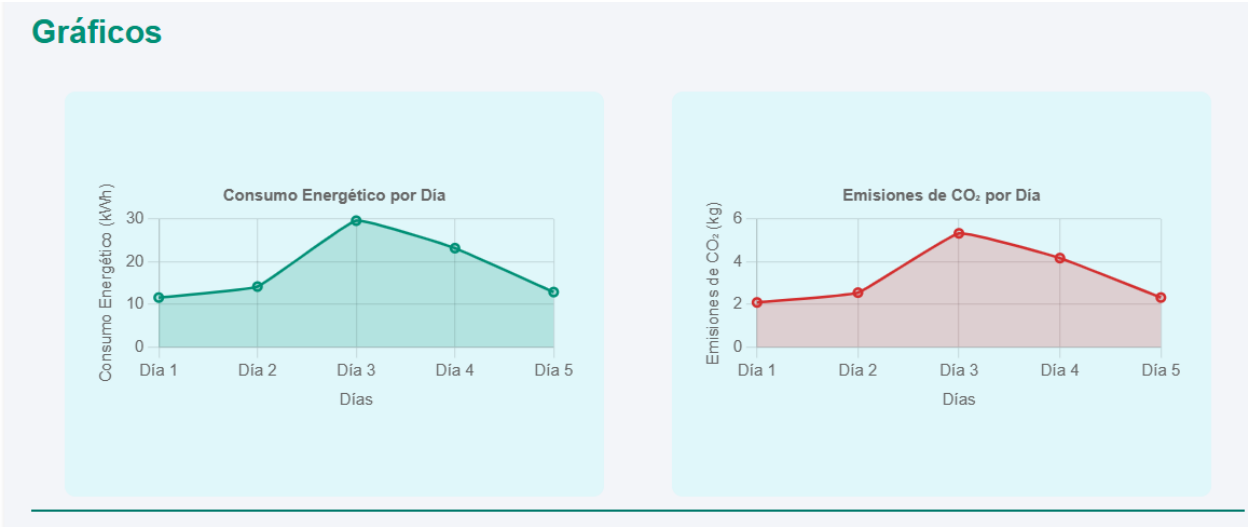

Figura 7.27: Gráficos de consumos para la semana de demanda normal.

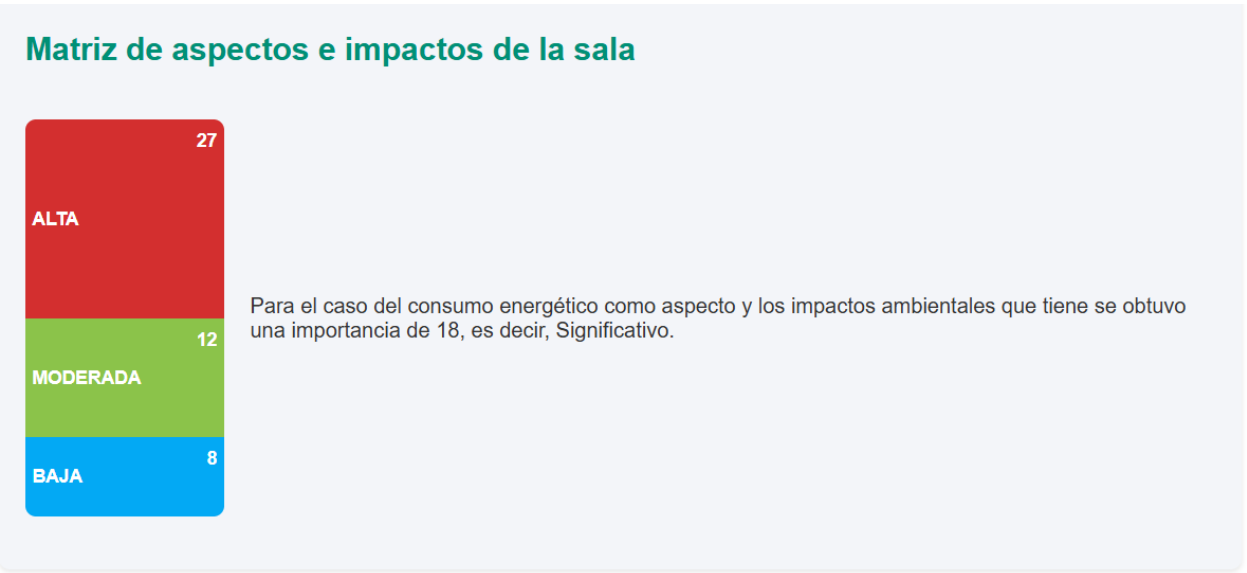

Figura 7.28: Matriz de aspectos e impactos para la semana de demanda normal.

Durante esta semana se identificó que el impacto fue significativo porque hubo un alto consumo de recursos en la sala, aunque menor que en la semana de alta cdemanda.

- **Semana de baja demanda:** Para la semana de baja demanda se obtuvo la siguiente infor-

mación:

Figura 7.29: Consumos durante la semana de baja demanda.

Figura 7.30: Gráficos de consumos para la semana de baja demanda

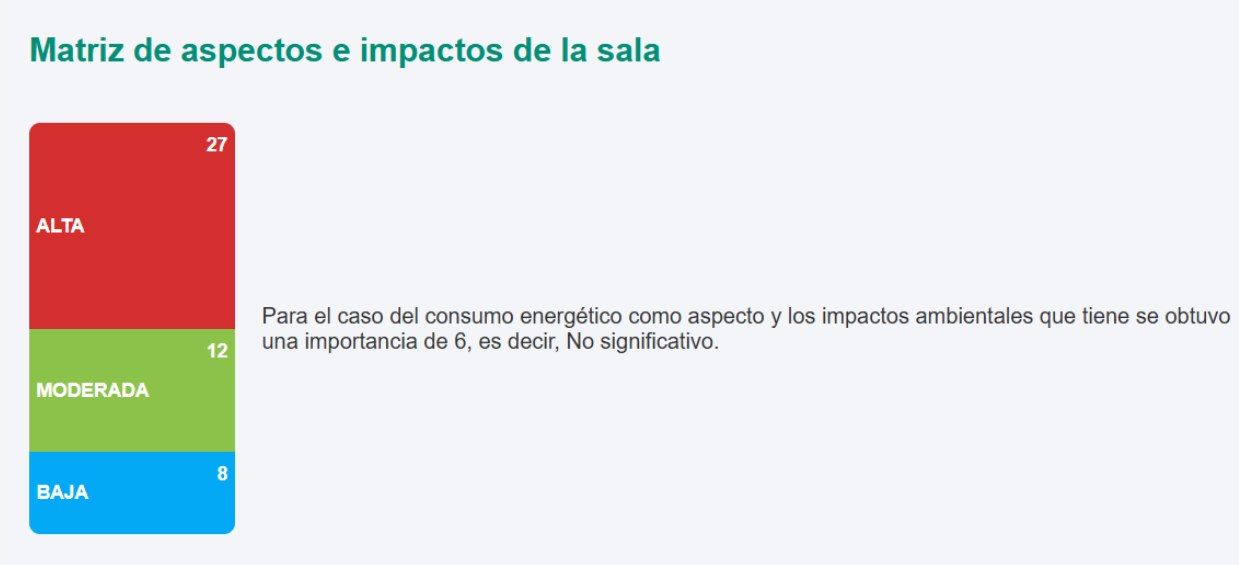

Figura 7.31: Matriz de aspectos e impactos para la semana de baja demanda

Finalmente, en la semana de baja demanda se identificó un menor consumo de recursos, resultando en un impacto no significativo.

Capítulo 8

Conclusiones

1. **Cumplimiento de objetivos:**
   El proyecto permitió desarrollar una herramienta que evalúa y mide el impacto ambiental de los equipos biomédicos en el Hospital Simulado de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Integrando métricas como consumo energético, emisiones de CO_2 y generación de residuos, la herramienta ofrece un sistema funcional respaldado por literatura, experiencia y normativa aplicable. A través de la matriz de aspectos e impactos ambientales, se identificaron y priorizaron los equipos con mayor incidencia, logrando un análisis cuantitativo preciso que apoya la toma de decisiones. La implementación y validación de la herramienta en el entorno simulado confirmaron su funcionalidad.

2. **Resultados validados en entornos simulados:**
   La validación realizada mediante la evaluación de semanas con distinta carga operativa mostró que la herramienta responde adecuadamente a variaciones en las condiciones de uso. Para semanas de carga operativa alta y normal, el impacto ambiental calculado fue significativo, mientras que para semanas de baja carga, el impacto no fue significativo. Esto demuestra la capacidad de la herramienta para identificar patrones en el impacto ambiental y generar información confiable para la gestión de equipos biomédicos.

3. **Enfoque metodológico integral:**
   La metodología aplicada, basada en la matriz de aspectos e impactos ambientales, permitió un análisis adaptado a las necesidades específicas del proyecto. Este enfoque aseguró que los factores más relevantes fueran evaluados de manera exhaustiva, proporcionando una visión integral del impacto generado. Además, el diseño modular de la herramienta facilita su expansión para incluir nuevos equipos o indicadores ambientales en el futuro.

4. **Resultados cuantitativos y aprendizajes:**
   Los resultados evidenciaron que la generación de residuos sólidos es el principal factor de impacto ambiental, seguido por el consumo energético . Este análisis destacó la importancia de contar con datos precisos y de adaptar las metodologías a contextos específicos, como hospitales simulados, para optimizar la gestión ambiental.

5. **Contribución al sector salud y sostenibilidad:**
   Este proyecto establece una base sólida para prácticas sostenibles en la gestión de tecnología biomédica, proporcionando una herramienta capaz de evaluar impactos ambientales en escenarios controlados. Aunque los resultados se obtuvieron en un entorno simulado, el proyecto sienta las bases para su aplicación en hospitales reales.

6. **Perspectivas futuras:**
   Los resultados iniciales sugieren que la herramienta podría validarse en escenarios clínicos reales, donde su funcionalidad y alcance se pondrían a prueba en condiciones más complejas. Además, se recomienda integrar parámetros económicos y nuevos indicadores ambientales para ampliar su utilidad, maximizando su impacto en la gestión ambiental del sector salud.

Capítulo 9

Trabajos futuros

El desarrollo de esta herramienta abre múltiples posibilidades para su implementación y expansión en el futuro. Algunas de las que se resaltaron durante la ejecución dle proyecto fueron la siguientes:

- **Implementación en clínicas de alta complejidad** Una de las aplicaciones más relevantes es adaptar la herramienta para su uso en clínicas y hospitales de alta complejidad, ajustando la base de datos a los dispositivos específicos de cada institución y sus respectivas salas. Esto permitiría evaluar el impacto ambiental en contextos reales y generar datos precisos para diseñar e implementar estrategias de mitigación adaptadas a las necesidades particulares de estas entidades.

- **Análisis específico del impacto ambiental de los equipos biomédicos** Otro trabajo futuro para esta herramienta es aprovechar su implementación en un entorno hospitalario real para identificar la contribución específica del uso de equipos biomédicos en la producción total de residuos, el consumo de energía y las emisiones de CO_2 del hospital. Esto permitirá evaluar con precisión el impacto ambiental de esta área en particular y diseñar estrategias específicas para reducir dicho impacto, contribuyendo de manera significativa a la sostenibilidad del hospital desde esta línea de trabajo.

- **Gestión de residuos hospitalarios** Aprovechando la funcionalidad de la herramienta para cuantificar los residuos generados, se podría explorar estrategias para su correcta gestión y disposición final. Esto incluiría identificar opciones más sostenibles, como reciclaje o tratamientos adecuados, contribuyendo a una mejora en la gestión ambiental hospitalaria.

- **Selección optimizada de proveedores de equipos biomédicos** La herramienta podría analizar los consumos de energía según las marcas y modelos de los equipos biomédicos, ayudando a identificar aquellos que sean más eficientes para satisfacer las necesidades específicas de cada institución. Esto facilitaría a los ingenieros biomédicos y al personal administrativo la toma de decisiones para elegir proveedores que contribuyan a la reducción del impacto ambiental.

Capítulo 10

Anexos

Enlace a la Matriz de aspectos e impactos
Enlace a la base de datos utilizada para la herramienta
Enlace al código completo de la herramienta

Bibliografía

[1] V. J. Dzau, R. Levine, G. Barrett, and A. Witty, "Decarbonizing the u.s. health sector—a call to action," *New England Journal of Medicine*, vol. 385, no. 23, pp. 2117–2119, 2021, pMID: 34644470. [Online]. Available: https://doi.org/10.1056/NEJMp2115675

[2] ECRI. (2024) Top 10 health technology hazards for 2024. [Online]. Available: https://www.ecri.org/

[3] P. G. Health. Understand hospital waste streams, how to measure them, and how to reduce waste at your facility. [Online]. Available: https://practicegreenhealth.org/topics/waste/waste-0#:~:text=Waste%20is%20complex%20and%20expensive%2ccritical%20for%20any%20sustainability%20programming.

[4] R. G. Mari Williams and J. Green. (2019) No time to waste. [Online]. Available: https://www.fauna-flora.org/wp-content/uploads/2023/05/2019_No-time-to-waste-report.pdf

[5] M. Ruiz. (2022) La importancia de la tecnología médica sustentable para la salud. [Online]. Available: https://hightech.leexmedical.com/la-importancia-de-la-tecnologia-medica-sustentable-para-la-salud

[6] P. M. M. F.-P. Jonathan B. Perlin, MD and C.-T. J. C. Enterprise. Why environmental sustainability in healthcare is so important. USA. [Online]. Available: https://www.jointcommission.org/our-priorities/sustainable-healthcare/

[7] W. H. Organization. (2021) Climate change and health. [Online]. Available: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health

[8] E. I. Hospitalaria. (2024) La sostenibilidad y la protección del medio ambiente en los hospitales. [Online]. Available: https://www.etkho.com/la-sostenibilidad-y-la-proteccion-del-medio-ambiente-en-los-hospitales/

[9] A.-G. M. Bambarén-Alatrista C. (2014) Impacto ambiental de un hospital público en la ciudad de lima, perú. [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v31n4/a15v31n4.pdf

[10] P. A. H. Organization. Determinantes ambientales de salud. [Online]. Available: https://www.paho.org/es/temas/determinantes-ambientales-salud

[11] E. H. O. Cifuentes. (2015) Gestión estratégica de la tecnología en salud. [Online]. Available: https://www.saludcapital.gov.co/BibliotecaPSFFaspx/Presentaciones%20Comit%C3%A9%20de%20Gerentes/Comit%C3%A9%20de%20Gerentes/Mayo%20de%202015/Presentacion%20Gestion%20Estrategica%20de%20la%20Tecnologia%20en%20Salud.pdf

[12] Ministerio de la Protección Social, "Decreto 4725 de 2005," Gaceta del Gobierno de Colombia, 2005, disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-4725-de-2005.pdf.

[13] R. O. Domínguez and I. R. Muñoz, *Manual de gestión del ambiente.* Madrid: Fundación MAPFRE, 1994.

[14] Unidad de Planeación Minero Energética, "Sistemas de gestión ambiental," Online, 2014, consultado el 04 de noviembre de 2014. Disponible en: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/sistemas/sistemas.htm.

[15] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, *Sistemas de Gestión Ambiental: Requisitos con orientación para su uso*, ntc-iso 14001:2004 ed., ICONTEC, Bogotá D.C., 2004.

[16] Nueva ISO 14001, "Iso 14001: Revisión ambiental inicial," Online, Dec. 2014, disponible en: https://www.nueva-iso-14001.com/2014/12/iso-14001-revision-ambiental-inicial/.

[17] Secretaría Distrital de Ambiente, "Instructivo para el diligenciamiento de la matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales," Online, 2014, disponible en: https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/564058/Instructivo+para+el+diligenciamiento+de+la+matriz+de+Identificaci%C3%B3n+de+aspectos+y+valoraci%C3%B3n+de+impactos+ambientales.pdf/e5f7edbd-f5d8-4008-8bda-fb9328d8b98b.

[18] M. de Salud y Protección Social. (2019) Resolución 3100 de 2019: Por la cual se establecen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y habilitación de servicios de salud. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co

[19] American Hospital Association, "Glossary of sustainability terms," Online, 2024, disponible en: https://www.aha.org/sustainability/glossary.

[20] D. energetico. ¿qué es el consumo energético y por qué es importante? [Online]. Available: https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/consumo-energetico/index.cshtml

[21] REPSOL. Climatización y eficiencia energética en el sector salud - distrito energetico. [Online]. Available: https://www.distritoenergetico.com/climatizacion-y-eficiencia-energetica-en-el-sector-salud/

[22] H. H. P. y. W. N. N. D. Martínez Sierra, M. García Samper, ""gestión energética en el sector salud en colombia: Un caso de desarrollo limpio y sostenible," *Scielo*, 2019.

[23] Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, "Residuos hospitalarios: Conozca qué son y cómo hacer su disposición final," Online, 2024, disponible en: https://www.ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/residuos-hospitalarios-conozca-que-son-y-como-hacer-su-disposicion-final.

[24] Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, "Residuos hospitalarios," Online, 2024, disponible en: https://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Paginas/ResiduosHospitalarios.aspx.

[25] G.-S. J. Rodríguez-Jiménez L, Romero-Martín M. (2023) Impacto medioambiental de los servicios de urgencias en la salud pública: una herramienta de valoración. [Online]. Available: https://www.sanidad.gob.es/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_cdrom/VOL97/ORIGINALES/RS97C_202306044es.pdf

[26] W. A.-M. E. . E. S. Gregory, N. (2022) Carbon footprint calculators for use by primary care contractors: Summary report. [Online]. Available: https://seesustainability.co.uk/carbon-footprint

[27] M. de Salud y Protección Social. Estimación de la huella de carbono del sector salud en colombia. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ambiental/Paginas/Huella-de-Carbono.aspx

[28] I. Tello Gómez, "Diagnóstico del desempeño ambiental de la empresa tametco s.a.s., para la implementación de la ntc iso 14001:2004," 2015, (Trabajo de grado - Pregrado). Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado de http://hdl.handle.net/10614/8306.

[29] D. S. Foundation, *Django Documentation*, 2024, disponible en: https://docs.djangoproject.com/.

[30] P. S. Foundation, *Python Documentation*, 2024, disponible en: https://www.python.org/doc/.