



Cuantificación de la huella ambiental en el Hospital Militar de Nicaragua, conforme a las acciones de Hospitales Verdes y Saludables y los lineamientos de Salud sin Daño

Quantification of the environmental footprint in the Military Hospital of Nicaragua, in accordance with the actions of Green and Healthy Hospitals and the guidelines of Health Without Harm

María Esther Suarez García

Hospital Militar Escuela "Dr. Alejandro Dávila Bolaños", Nicaragua.

<https://orcid.org/0000-0002-5951-8926>

msuarez23@gmail.com

Marcel Eduardo Argeñal Hernández

Hospital Militar Escuela "Dr. Alejandro Dávila Bolaños", Nicaragua.

<https://orcid.org/0009-0007-9232-7746>

argenalmarcel75@gmail.com

RECIBIDO

09/12/2025

ACEPTADO

12/01/2026

José Iván Chavarría Contreras

Hospital Militar Escuela "Dr. Alejandro Dávila Bolaños", Nicaragua.

<https://orcid.org/0000-0001-5212-9672>

hcivan20@gmail.com

Christopher Kaleb Romero Ríos

Hospital Militar Escuela "Dr. Alejandro Dávila Bolaños", Nicaragua.

<https://orcid.org/0009-0006-6911-3603>

Kaleb80138tt@gmail.com

Carlos Manuel Sobalvarro Ayestas

Hospital Militar Escuela "Dr. Alejandro Dávila Bolaños", Nicaragua.

<https://orcid.org/0009-0005-1025-9870>

sobalvarroayestascarlosm@gmail.com

RESUMEN

La estimación de la huella ambiental de las instituciones de salud presenta un desafío significativo debido a la complejidad de la recolección de datos tanto de fuentes móviles como fijas. El propósito principal de este estudio fue cuantificar la huella de carbono del Hospital Militar de Nicaragua, a partir de la estimación de emisiones por alcances, como base para la toma de decisiones en mitigación y resiliencia ambiental. Estas acciones son coordinadas por el comité ambiental en colaboración con los servicios asistenciales y administrativos. Este estudio aplicado, observacional y transversal involucró un proceso integral de recolección de datos a través de sistemas críticos, la flota vehicular y las áreas de gestión de residuos. Se utilizó la herramienta de monitoreo del impacto climático desarrollada por Health Care Without Harm (Salud sin Daño) para procesar los datos y estimar las emisiones. Las variables clave incluyeron el volumen de residuos, el consumo de energía y el consumo de combustible. Los resultados indican que el 9% de las emisiones totales corresponden al Alcance 1 (emisiones directas dentro de la institución), el 75.1% al Alcance 2 (electricidad adquirida) y el 15.8% al Alcance 3 (emisiones indirectas generadas fuera de la institución, pero resultantes de sus actividades). En conclusión, se obtuvieron valores cuantitativos de las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) que permiten evaluar el impacto ambiental de los procesos productivos del Hospital Militar de Nicaragua, considerando el contexto del cambio climático y los recursos naturales disponibles.

PALABRAS CLAVE

Huella de carbono; hospital verde y saludable; gases de efecto invernadero; impacto climático.



ABSTRACT

Estimating the environmental footprint of healthcare institutions presents a significant challenge due to the complexity of collecting data from both mobile and fixed sources. The main purpose of this study was to quantify the carbon footprint of the Nicaraguan Military Hospital, based on estimates of emissions by scope, as a basis for decision-making on environmental mitigation and resilience. These actions are coordinated by the environmental committee in collaboration with healthcare and administrative services. This applied, observational, cross-sectional study involved a comprehensive data collection process through critical systems, the vehicle fleet, and waste management areas. The climate impact monitoring tool developed by Health Care Without Harm was used to process the data and estimate emissions. Key variables include waste volume, energy consumption, and fuel consumption. The results indicate that 9% of total emissions correspond to Scope 1 (direct emissions within the institution), 75.1% to Scope 2 (purchased electricity), and 15.8% to Scope 3 (indirect emissions generated outside the institution but resulting from its activities). In conclusion, quantitative values for GHG (greenhouse gas) emissions were obtained that allow for the assessment of the environmental impact of the production processes of the Military Hospital of Nicaragua, considering the context of climate change and available natural resources.

KEYWORDS

Carbon footprint; green and healthy hospital; greenhouse gases; climate impact.

INTRODUCCIÓN

La huella ambiental consiste en la medición de las emisiones en cada fuente, tanto estacionaria como móvil. El problema principal para toda institución radica en el agotamiento de los recursos por sus procesos productivos, situación que se agrava si no se cuenta con un plan de gestión ambiental con medidas de adaptación y resiliencia ante el cambio climático. Si una institución no realiza una cuantificación adecuada de su huella ni estima los impactos ambientales, se corre el riesgo de deteriorar los recursos naturales, provocar desequilibrios climáticos por emisiones atmosféricas y afectar la capacidad de regeneración del ecosistema.

El riesgo que el cambio climático presenta para la salud se encuentra en un nivel inaceptablemente alto, e incluso potencialmente catastrófico para la supervivencia humana (Romanello et al., 2024). Frente a esta situación, existen dos tipos de medidas que se deben llevar adelante: de adaptación, que apunta a aquellas acciones necesarias para ajustarse a los cambios climáticos actuales y reducir sus impactos; y de mitigación, que engloba las acciones adoptadas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera y, en consecuencia, detener el calentamiento global (Karliner & Guenther, 2011).

En los últimos años se han desarrollado múltiples herramientas de cuantificación y distintas metodologías para la estimación de la huella ambiental por individuo, organizaciones y unidades administrativas. La “Huella de Carbono” se ha convertido en un tema central en el debate público por su estrecha relación con el cambio climático, impulsando al sector empresarial a inducir cambios en sus procesos para reducir el impacto ambiental.

La huella de carbono permite conocer el perfil y la cantidad de emisiones de una institución o actividad para diseñar los planes de mitigación más adecuados (Karliner & Guenther, 2011). Específicamente, la herramienta para el cálculo de la huella de carbono en establecimientos de salud, desarrollada por Salud sin Daño en el marco de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, permite a los centros sanitarios calcular sus emisiones e identificar las mayores fuentes de GEI para establecer metas de reducción (Salud sin Daño, 2019).

Un número creciente de grupos sociales, empresariales, políticos y una parte importante de la comunidad científica coinciden en que el cambio climático es originado por actividades humanas, constituyendo uno de los mayores desafíos ambientales para el desarrollo sustentable (Espíndola & Valderrama, 2013). La causa de dicho fenómeno radica en las altas concentraciones atmosféricas de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), responsables del aumento de la temperatura global (Salud sin Daño, 2019). Esto ha llevado a gobiernos e instituciones internacionales a crear órganos regulatorios, definir espacios de reflexión y herramientas de transferencia tecnológica y financiera para mitigar estas emisiones.

El Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”, único miembro de la Red Global en Nicaragua, se caracteriza por su orden, disciplina y compromiso con la calidad, seguridad del paciente y su agenda ambiental. La institución cuenta con una política de Gestión Ambiental definida en la que se incorporan acciones de sostenibilidad en cada proceso. Asimismo, el hospital dispone de un comité ambiental compuesto por líderes de áreas asistenciales, operativas y administrativas, encargado de gestionar y divulgar las estrategias ambientales (Salud sin Daño, 2019).

Directrices energéticas de la huella ambiental

Según la Agenda Global para Hospitales Verdes y Saludables (Karlner & Guenther, 2011), la mayor parte del daño que el consumo de energía causa al medio ambiente y a la salud pública proviene de la quema de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas. Las emisiones generadas por esta combustión son uno de los principales factores del cambio climático global y de los problemas de salud locales. De hecho, para el año 2007, los combustibles fósiles constituían el 86% del consumo de energía primaria global, liberando a la atmósfera casi 30 mil millones de toneladas métricas de contaminación por carbono (Karlner & Guenther, 2011).

Tanto en el mundo industrializado como en países en desarrollo, el sector de la salud consume enormes cantidades de energía proveniente de fuentes fósiles. Estudios recientes estiman que la huella climática del sector salud equivale al 4.4% de las emisiones netas globales; si el sector salud fuera un país, sería el quinto mayor emisor del planeta (Health Care Without Harm & Arup, 2019). Por consiguiente, es necesario medir y comparar sistemáticamente el consumo mundial de energía del sector y sus correspondientes emisiones de GEI (Health Care Without Harm & Arup, 2019).

Las energías alternativas, limpias y renovables, son una opción sensata tanto desde el punto de vista ambiental como económico. Dada la formidable demanda energética del sector salud, la inversión de este gremio puede cumplir un papel clave para cambiar las economías de escala y hacer de las energías alternativas una opción viable (Karlner & Guenther, 2011). Además, en contextos con déficit energético, el uso de dispositivos médicos de bajo consumo y fuentes renovables puede mejorar el acceso a servicios básicos. Finalmente, las fuentes de energía alternativa otorgan una ventaja en la preparación para catástrofes, ya que son menos vulnerables a las interrupciones que afectan a los sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles (Karlner & Guenther, 2011).

El impacto global del sector salud en el cambio climático

Si bien la misión principal del sector salud es proteger y restaurar la salud humana, paradójicamente, sus operaciones contribuyen significativamente a la crisis climática, la cual ha sido catalogada como la mayor amenaza para la salud del siglo XXI. Según el informe de *Health Care Without Harm & Arup (2019)*, el sector salud es responsable del 4.4% de las emisiones globales netas de gases de efecto invernadero (GEI). Para poner esta cifra en perspectiva, si el sector salud mundial fuera un país, sería el quinto mayor emisor del planeta, superando a naciones industrializadas.

Esta huella climática no es uniforme. La mayor parte de las emisiones provienen de la generación de energía, el transporte y la cadena de suministro de productos farmacéuticos y dispositivos médicos. En América Latina, los hospitales enfrentan el doble desafío de adaptarse a los efectos del cambio climático (como olas de calor y nuevas epidemias) mientras intentan mitigar sus propias emisiones con recursos limitados.

Para estandarizar la medición de la huella de carbono, este estudio se adhiere al *Greenhouse Gas Protocol (GHGP)*, que clasifica las emisiones en tres alcances operativos fundamentales para la gestión hospitalaria (WRI & WBCSD, 2004):

- **Alcance 1 (Emisiones Directas):** Son aquellas que provienen de fuentes que son propiedad o están controladas directamente por la institución. En el contexto

hospitalario, esto incluye la combustión en calderas para agua caliente y vapor, generadores eléctricos de emergencia que utilizan diésel, la flota vehicular propia (ambulancias y vehículos administrativos) y las emisiones fugitivas de gases anestésicos volátiles (como el sevoflurano o desflurano) y refrigerantes de los sistemas de aire acondicionado.

- **Alcance 2 (Emisiones Indirectas por Energía):** Comprenden las emisiones asociadas a la generación de electricidad, calefacción o vapor comprados y consumidos por el hospital. Aunque estas emisiones ocurren físicamente en la planta generadora de energía (fuera del hospital), se contabilizan en el inventario de la institución debido a que su demanda energética es la causa directa de dicha contaminación.
- **Alcance 3 (Otras Emisiones Indirectas):** Este alcance suele ser el más complejo y voluminoso. Incluye todas las demás emisiones indirectas que ocurren en la cadena de valor de la institución, tanto aguas arriba (extracción y producción de materiales comprados, transporte de proveedores) como aguas abajo (disposición final de residuos, transporte de pacientes y personal).

La Agenda Global de Hospitales Verdes y Saludables constituye el marco de referencia para las estrategias de mitigación propuestas en este estudio y ha sido desarrollada por la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables. Esta agenda propone diez objetivos interconectados para promover la sostenibilidad, de los cuales este estudio prioriza tres:

1. **Liderazgo:** Priorizar la salud ambiental como un imperativo estratégico.
2. **Energía:** Implementar la eficiencia energética y la transición hacia fuentes renovables limpias.
3. **Residuos:** Reducir, tratar y disponer de manera segura los residuos de establecimientos de salud (Karlner & Guenther, 2011).

En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación fue cuantificar la huella de carbono del Hospital Militar de Nicaragua, a partir de la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero por alcances (1, 2 y 3), como base para la toma de decisiones en mitigación y resiliencia ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo observacional, descriptivo y de corte transversal. Fue aplicado en campo real permitiendo la identificación y caracterización de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por alcances definidos dentro de la gestión hospitalaria.

El universo de estudio correspondió a todo el plantel del Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”. La muestra fue no probabilística e intencional, enfocándose en las áreas de sistemas críticos (climatización, calderas, planta de gases) y la cadena de suministro, dado que constituyen las principales fuentes estacionarias y móviles generadoras de emisiones en la institución.

Criterios de selección de los participantes

Para la recolección de datos, se seleccionaron las áreas y procesos bajo los siguientes criterios de inclusión:

- Áreas con alto consumo energético (electricidad y combustibles fósiles).
- Departamentos generadores de residuos sólidos y peligrosos (biológico-infecciosos).

- Sistemas de transporte y flota vehicular institucional con bitácoras de registro verificables.
- Disponibilidad de medidores, facturas de servicios y registros históricos de consumo correspondientes al periodo evaluado.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica principal fue la revisión documental y la observación directa de los sistemas de medición. Como instrumento de recolección y procesamiento, se utilizó la **Herramienta de Monitoreo de Impacto Climático (versión 3.3)** en formato Excel, diseñada por la organización *Salud sin Daño* específicamente para los miembros de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables.

Las variables medidas para la tabulación fueron:

- **Residuos:** Volumen en kilogramos (peligrosos, no peligrosos y reciclables).
- **Transporte:** Consumo de combustible (diésel/gasolina) en metros cúbicos y galones, y distancia recorrida en kilómetros.
- **Energía:** Consumo eléctrico en kilowatts-hora (kWh).
- **Agua:** Consumo en metros cúbicos (m³).
- **Gases anestésicos y medicinales:** Consumo según tipo de gas.

Etapas de la investigación

El estudio se desarrolló en tres etapas metodológicas secuenciales:

- **Primera etapa: Identificación de fuentes y GEI.** Se realizó un levantamiento inicial para identificar los focos de emisión, tomando como referencia el *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHGP)*, el cual establece las seis clases de GEI a incluir: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Asimismo, se clasificaron las fuentes según la base de datos PRIMAP en energía, procesos industriales, residuos y otros.
- **Segunda etapa: Recolección de datos.** El comité de gestión ambiental procedió al levantamiento de información mediante bitácoras de pesaje para residuos, lectura de medidores de agua y energía, y revisión de bitácoras de kilometraje para la flota vehicular. También se estimó el gasto de actividades de empresas tercerizadas que operan en el plantel.
- **Tercera etapa: Cuantificación y análisis.** Se procedió al cálculo matemático de la huella de carbono multiplicando la cantidad de actividad (dato de consumo) por el factor de emisión correspondiente (intensidad de carbono), siguiendo la metodología establecida por la Agenda Global para Hospitales Verdes y Saludables. El análisis final permitió atribuir los impactos con precisión dentro de los distintos sistemas y sus límites, superando las complejidades de las cadenas de valor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las emisiones de alcance 1 corresponden a aquellas generadas directamente dentro de las instalaciones de la institución, tales como calderas, flota vehicular, tanques de almacenamiento, sistemas de climatización y planta de gases anestésicos, entre otros. En este estudio, dichas emisiones alcanzaron un total de 801.34 toneladas de CO₂, lo que representa el 9% del total.

Las emisiones de alcance 2 corresponden a aquellas emisiones generadas por la compra de energía eléctrica tales como compra de energía eléctrica, valor, calor y refrigeración siendo esta de 6,683.08 toneladas de CO₂ equivalente al 75.1% siendo el alcance que más produce emisiones atmosféricas en la institución.

Las emisiones del alcance 3 corresponden a las emisiones que resultan como producto de las fuentes de valor de transporte de productos, uso de productos y de empresas tercerizadas que no están bajo control directo pero que son producto de las actividades como la producción de residuos, la disposición de estos a rellenos sanitarios e inclusive las pérdidas de transporte y electricidad teniendo un valor de 1,409 toneladas de CO₂ equivalente al 15.8%.

Tabla 1. Descripción de emisiones totales por la herramienta de monitoreo climático para establecimientos de salud

Fuente de emisión	Emisiones (tonCO ₂ e)	Porcentaje (%)
Alcance 1	801.34	9.0
Combustión estacionaria	447.41	5.0
Combustión móvil	34.85	0.4
Emisiones fugitivas	319.08	3.6
Alcance 2	6,683.08	75.1
Compra de energía eléctrica	6,677.51	75.0
Compra de valor, calor o refrig.	5.57	0.1
Alcance 3	1,409.00	15.8
Pérdidas de transporte y elec.	1,391.93	15.7
Residuos (Total)	17.10	0.3
Disposición residuos sólidos	10.30	0.1
Compostaje	0.20	0.0
Incineración	6.60	0.1
Total General	8,893.44	100.0

Nota. Datos obtenidos del registro de base de datos del comité de gestión ambiental, 2024.

Al analizar la cuantificación de resultados de las emisiones por alcance de la huella ambiental; es necesario realizar un análisis con métricas establecidas y a la misma establecer líneas de trabajo que permitan medir el impacto y establecer estrategias para la reducción de su significancia.

Es evidente que las emisiones del **alcance 2**; siendo estas la compra de energía son las que producen mayores emisiones hacia la atmosfera debido al uso permanente de energía por los equipos biomédicos del paciente; actividad que es necesaria y que es permanente por los procesos clínicos de atención con los usuarios.

Por lo tanto, es necesario implementar estrategias a través de programas o proyectos que permitan mitigar el impacto por las actividades. Por ello, es que en la institución existe un equipo multidisciplinario conformado por distintos especialistas de áreas tanto administrativas como asistenciales; además existe una agenda global para un hospital verde y saludable que establece acciones concretas con el fin de reducir su impacto ambiental. Ahora bien, una de las estrategias que ha utilizado la institución para reducir el daño ambiente por emisiones energéticas y/o por consumo energético es el sistema solar térmico hospitalario que aporta entre el 6 al 30% en distintas actividades cotidiana, generando un cambio en el uso de energía.

Por otra parte, no se puede obviar que la contratación de empresas tercerizadas genera emisiones que, si bien no están bajo el control directo de la institución, son resultado de sus actividades. Estas emisiones representan el 15.8% del total, por lo que la institución ha asumido el compromiso de formular estrategias orientadas a mitigar el impacto asociados a desechos (**actividad de alcance 3**).

Es por ello que al estimar la cuantificación de las emisiones; el comité de gestión ambiental hospitalario; realizó bajo lineamientos de la Norma ISO 14001:2015 una evaluación de los impactos ambientales al conocer la cuantificación de la huella ambiental, con el fin de proponer en su plan de gestión ambiental acciones de mejora continua que permitan cumplir con la política de gestión ambiental en la institución.

Tabla 2 Evaluación de la significancia de los aspectos ambientales

Proceso	Aspecto Ambiental	Impacto	Severidad	Riesgo	Nivel
Procesos clínicos y admin.	Consumo de energía	Cambio climático	Moderado	36.67	No Significativo
Procesos clínicos y admin.	Consumo de agua	Reducción manto freático	Sustancial	43.33	No Significativo
Movilización	Uso de combustible	Contaminación del aire	Moderado	36.67	No Significativo
Gestión de residuos	Generación de residuos (P y NP)	Contaminación del suelo	Sustancial	43.33	No Significativo
Gestión de residuos	Descarga de agua residual	Contaminación del agua	Sustancial	43.33	No Significativo

Nota. P = Peligrosos; NP = No Peligrosos. Elaboración propia, 2024.

El Comité de Gestión Ambiental identifica y evalúa de forma continua los aspectos ambientales asociados a las actividades, productos y servicios bajo el control de la institución, así como aquellos sobre los que ejerce influencia, considerando los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los procesos productivos.

El alcance del Sistema de Gestión Ambiental comprende la totalidad del hospital, incluyendo tanto las áreas asistenciales como las administrativas. En este contexto, los

procesos con impacto ambiental han sido definidos mediante la evaluación sistemática de los aspectos ambientales involucrados y la cuantificación de la huella ambiental según su alcance.

Tabla 3. Estrategias para reducir el impacto ambiental por alcances estimados en la huella ambiental

Alcance 1 (Directas)	Alcance 2 (Energía)	Alcance 3 (Indirectas)
Implementación de programa de compras sostenibles	Sistema de cosecha de agua hospitalaria	Sistema de reciclaje hospitalario
Producción de gases medicinales <i>in situ</i>	Sistema solar térmico hospitalario	Equipo autoclave PD240 (tratamiento de residuos RPBI)

Nota. RPBI = Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos. Elaboración propia, 2024.

Los distintos proyectos han sido implementados con el fin de reducir las emisiones y el impacto ambiental a la naturaleza; en donde se han implementado también jornadas de reforestación involucrando al usuario y a la población estudiantil con la visión de hospital escuela que se tiene y con la política atención centrada.

Se debe tomar en cuenta que la educación comienza desde los hogares y con el fin que se cumplan los procesos; dentro del plan de gestión ambiental hospitalario se cuenta con la educación ambiental como eje transversal para garantizar el cumplimiento de las acciones que se han planteado.

Con la educación ambiental como pilar fundamental y transversal, el plan de Gestión ambiental incluye estos proyectos como plan de acción de mejora para reducir las emisiones cuantificadas de la huella ambiental. Entre estas acciones están: manejo adecuado de residuos, sistema termo solar, compras sostenibles y sistema de cosecha de agua; descritas en la tercera tabla.

La implementación del programa de compras sostenibles permite al hospital reducir de manera indirecta la compra de insumos innecesarios y la adquisición de productos que sean únicamente de proveedores acreditados y así se evitan gastos energéticos, de transporte, y de productos innecesarios que puedan ocasionar emisiones fuera de la cadena de suministros.

Para el caso de las emisiones estacionarias (**alcance 1**), se cuenta con una planta de oxígeno medicinal para la producción de gases y así evitar la compra de estos mismos a proveedores; de esta manera se cumple con la implementación de criterios de compras sostenibles y las emisiones producidas no afectan a la comunidad.

Asimismo, para el caso del consumo de agua por las actividades cotidianas se cuenta con un sistema de cosecha de agua en la que se almacena el agua pluvial en cinco tanques que tienen una capacidad total de 50.000 litros. Gracias a un sistema de filtrado constituido por un desarenador por gravedad y al sistema hidroneumático encargado de bombear el agua a la red de distribución, se surte a los 23 grifos distribuidos en las áreas verdes y que están ubicados en distintos espacios del hospital. Esto, permite el riego, el lavado de las 7 ambulancias y las labores de aseo y desinfección; destacándose un beneficio notable en el ahorro de aproximadamente un 15% en el consumo total de agua y la prevención de inundaciones.

Como estrategia para el alcance 2, se cuenta con un sistema solar térmico; como estrategia de energía limpia; certificado por el centro de producción más limpia de Nicaragua.

Este proyecto está conformado por 338 placas en 4.450 m² de cubierta, tiene una capacidad de volumen de 130,2 m³. El agua caliente llega a un tanque de almacenamiento de 75m³ y desde ahí se surte en un 100% al servicio de lavandería, duchas de hospitalización y en general a las áreas que lo requiere y a su vez, produce el 30% de la electricidad requerida por el chiller de absorción para enfriar el agua (a 7°C) que se inyecta a la red de distribución y que, posteriormente llega como climatización y refrigeración a todo el hospital.

El sistema solar térmico cuenta con su propio manual de operación permitiendo que el personal emplee acciones ante emergencia e inclusive sobre el mantenimiento preventivo o herramienta de inducción al personal.

Para el caso del impacto por desechos (alcance 3), el hospital no incinera ninguno de sus residuos biológicos (infecciosos). Este logro ha sido posible gracias a la implementación de una autoclave de vapor húmedo que los esteriliza dentro de sus instalaciones. El equipo procesa de manera diaria 287,92 kg aproximadamente.

Desde que fue instalado en 2022, el equipo en promedio ha tratado el 83,02% de lo generado por el hospital. Además, han ahorrado mensualmente 280 kg por costos evitados al no disponer con un gestor externo estos residuos. El seguimiento se realiza diariamente por personal especializado. Además, la medición de los indicadores se realiza de manera mensual, tomando en cuenta los criterios establecidos en su manual de operación.

De igual manera, otra acción que se ha realizado para el caso de minimizar el impacto por desechos ha sido implementar un sistema de reciclaje hospitalario en donde el hospital aprovecha el cartón, el papel, algunos plásticos, metales, vidrios y toners en desuso, los cuales desde 2022 son donados al programa de reciclaje de una fundación que apoya la educación gratuita de niños y niñas con alguna discapacidad (hasta 2023, se habían donado 73,62 toneladas). Por otro lado, aprovechan el aceite vegetal usado en la cocina para entregar a un gestor que realiza jabones (en 2023, entregaron 2.734,2 kg).

Es por ello que, al conocer la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero se tiende a identificar con exactitud la evaluación de impactos ambientales y a su vez proponer acciones o proyectos que permitan mitigar la huella ambiental.

El hallazgo de que el **75.1%** de las emisiones totales provienen del Alcance 2 (compra de energía eléctrica) es consistente con la literatura internacional para hospitales de alta complejidad ubicados en zonas tropicales, donde la demanda de climatización (HVAC) opera de manera continua los 365 días del año. A diferencia de hospitales en climas templados donde la calefacción (Alcance 1) puede predominar. En el Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”, la carga eléctrica es el factor crítico.

Este dato revela una vulnerabilidad estratégica: la huella de carbono institucional está fuertemente ligada a la “matriz energética” nacional. Sin embargo, el hospital ha logrado desacoplar parcialmente su crecimiento de sus emisiones mediante la instalación del sistema solar térmico. Al utilizar la energía solar para calentar agua y asistir al *chiller* de absorción, la institución evita el consumo de combustibles fósiles (bunker o diésel) que tradicionalmente se usarían en calderas, reduciendo así la presión sobre el Alcance 1 y mejorando la eficiencia global del sistema.

Si bien, el alcance 3 representa un 15.8% del total, su importancia cualitativa es superior a su peso cuantitativo. La decisión de gestionar los Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI) *in situ* mediante autoclave, en lugar de la incineración externa, tiene un doble beneficio ambiental no despreciable. Primero, la **incineración** es una fuente intensiva de dioxinas, furanos y CO₂, con un factor de emisión significativamente más alto por kilogramo de residuo tratado. Al optar por el **autoclavado** (desinfección por vapor), el hospital reduce drásticamente las emisiones de contaminantes orgánicos persistentes. Segundo, se eliminan las emisiones asociadas al **transporte** de estos residuos peligrosos hacia plantas de tratamiento externas, reduciendo la huella de carbono logística y los riesgos de bioseguridad en la vía pública.

Los datos obtenidos (reducción de costos y tratamiento del 83.02% de residuos generados) validan la hipótesis de que la tecnología limpia interna es más eficiente que la tercerización convencional.

Es importante reconocer ciertas limitaciones metodológicas inherentes a la cuantificación de la huella de carbono. Para el alcance 3, el estudio se centró en la cadena de suministro y residuos, excluyendo variables como el desplazamiento de los pacientes y empleados (commuting) y la huella de carbono incorporada en los medicamentos y alimentos, debido a la dificultad de obtener datos primarios de proveedores externos. Por tanto, es probable que la huella total real sea superior a las 8,893.44 toneladas reportadas. No obstante, el inventario actual cubre las fuentes más significativas y controlables por la administración hospitalaria, estableciendo una línea base robusta para futuras comparaciones.

CONCLUSIONES

La investigación permitió determinar la huella de carbono exacta de la institución, concluyendo que el consumo de energía eléctrica (Alcance 2) es, por un amplio margen, el factor determinante del impacto ambiental hospitalario, superando significativamente a las emisiones directas y a la cadena de suministro. Este hallazgo confirma que la sostenibilidad del hospital depende prioritariamente de la gestión eficiente de la energía y valida la necesidad de expandir el uso de tecnologías limpias, como el sistema solar térmico ya implementado.

Adicionalmente, se evidenció que las estrategias de mitigación para el manejo de desechos han sido efectivas. La sustitución de la incineración externa por el tratamiento interno mediante autoclave ha permitido reducir la huella indirecta (Alcance 3) y minimizar los riesgos biológicos fuera de la institución, demostrando que la inversión en tecnología propia genera un doble beneficio: ambiental y operativo.

Finalmente, se concluye que la integración de la educación ambiental como eje transversal ha transformado la cultura organizacional. El Hospital Militar ha logrado trascender el cumplimiento normativo para establecer un modelo de gestión participativo, donde el personal y los usuarios son actores clave, posicionando a la institución no solo como un referente en salud, sino como un líder en la adaptación y resiliencia frente al cambio climático a nivel nacional, con potencial de replicabilidad en otros centros hospitalarios de la región.

En este contexto, se recomienda priorizar la optimización del consumo energético mediante auditorías específicas de los sistemas de climatización (HVAC), incorporando tecnologías de alta eficiencia, aislamiento térmico y automatización inteligente; planificar

la electrificación progresiva de la flota vehicular institucional para reducir las emisiones del Alcance 1; ampliar futuras evaluaciones del Alcance 3 mediante encuestas de movilidad y colaboración con proveedores estratégicos; y mantener un sistema de monitoreo anual que permita avanzar hacia certificaciones internacionales de “Hospital Verde”, utilizando el presente estudio como base técnica para procesos de validación y auditoría externa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella de Carbono. Parte 1: Conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. 23, 1, 163-176. Información Tecnológica. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis. 43(16), 6414-6420. (E. S. Technology, Ed.) doi:<https://doi.org/10.1021/es803496a>
- Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”. (2024). Comité de gestión ambiental. Obtenido de Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”: <https://www.hospitalmilitar.com.ni/hospital-verde-y-saludable/>
- Jirón Toruño, R. (2024b). Plan de gestión ambiental. Managua: Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”.
- Jirón Toruño, R. A. (2024a). Manual de gestión ambiental según acciones concretas de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables. Managua: Hospital Militar Escuela “Dr. Alejandro Dávila Bolaños”.
- Karliner, J., & Guenther, R. (2011). (Salud sin Daño, Ed.) Buenos Aires. Obtenido de https://hospitalesporlasaludambiental.org/sites/default/files/2021-09/Agenda-Global-para-Hospitales-Verdes-y-Saludables_3.pdf
- Padgett, P., Steinemann, A., Clarke, J., & Vandenbergh, M. (2008). A Comparison of Carbon Calculators. 28(2-3), 106-115. Environmental Impact Assessment Review. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2007.08.001>
- Romanello, M., & al., e. (2024). The 2024 report of Lancet Countdown on health and climate change facing record-breaking threats from delayed action. 404(10465), 1847-1896. (T. Lancet, Ed.) doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01822-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01822-1)
- Salud sin Daño. (2018). Herramienta para el cálculo de la huella de carbono en establecimientos de salud. Obtenido de Salud sin Daño - América Latina: <https://lac.saludsindanio.org/herramienta-para-el-calculo-de-la-huella-de-carbono-en-establecimientos-de-salud>
- Salud sin Daño. (2019). Huella climática del sector salud: Cómo el sector de la salud contribuye a la crisis climática global y oportunidades para la acción. (Salud sin Daño, Editor) Obtenido de https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2024). The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Edición revisada). (WRI/WBCSD, Editor) Obtenido de <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>