

Huella ambiental de la atención hospitalaria: revisión de evidencia y tendencias actuales

Impacto ambiental da assistência hospitalar: revisão de evidências e tendências atuais

Environmental footprint of hospital care: Review of evidence and current trends

Mayra Samara Ordoñez Díaz¹

¹ Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud-FUCS Bogotá D.C Colombia.

Cita: Ordoñez Díaz Mayra Samara. Huella ambiental de la atención hospitalaria: revisión de evidencia y tendencias actuales. Rev Salud ambient. 2026; 26(1):51-61.

Recibido: 18 de enero 2026. **Aceptado:** 30 de abril de 2026. **Publicado:** 15 de junio de 2026.

Autor para correspondencia: Mayra Samara Ordoñez Díaz.
Correo e: msordonez@fucaslud.edu.co

Financiación: Este trabajo de investigación no ha contado con ningún tipo de financiación.

Declaración de conflicto de intereses: La autora declara que no existen conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que puedan influir de manera inapropiada en los resultados o interpretaciones presentadas en este trabajo.

Declaraciones de autoría: Mayra Samara Ordoñez Díaz ha realizado la conceptualización del estudio, diseño de la metodología de búsqueda, análisis y síntesis de la literatura, redacción del manuscrito original, revisión y edición de todas las versiones del texto, aprobación de la versión final para publicación.

Resumen

Introducción: Los hospitales contribuyen al 4-5 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, generando una paradoja entre su misión de preservar la salud y su impacto ambiental. Este estudio examina la evidencia actual sobre huella ambiental hospitalaria y estrategias de mitigación. **Métodos:** Revisión narrativa de 30 estudios seleccionados de múltiples bases de datos académicas y análisis complementario mediante Elicit, priorizando calidad metodológica y diversidad geográfica. **Resultados:** El impacto ambiental varía considerablemente entre servicios hospitalarios. Los quirófanos presentan las mayores emisiones (hasta 814 kg CO₂e por procedimiento), donde los gases anestésicos representan el 44,7 % del impacto y los materiales desechables el 78 %. Los departamentos de imagen generan entre 0,5-17,5 kg CO₂e por estudio. La gestión inadecuada produce 441 kg diarios de residuos biocontaminados, mientras que 992 fármacos contaminan matrices ambientales globalmente. Durante COVID-19, los índices ambientales aumentaron 17,2 %. Regionalmente, América Latina enfrenta desafíos en cadenas de suministro, mientras Europa se concentra en optimizar transporte y materiales. **Conclusiones:** La sostenibilidad hospitalaria es técnicamente viable y económicamente beneficiosa. Las intervenciones más prometedoras incluyen abastecimiento local, reutilización segura de materiales, optimización anestésica y sistemas integrales de gestión ambiental. La transformación requiere reconocer la salud ambiental como componente esencial de la calidad asistencial, no como restricción, sino como evolución natural del concepto de excelencia médica.

Palabras clave: hospitales; huella de carbono; gases anestésicos; gestión ambiental; sostenibilidad.

Resumo

Introdução: Os hospitais contribuem com 4-5 % das emissões globais de gases de efeito estufa, gerando um paradoxo entre sua missão de preservar a saúde e seu impacto ambiental. Este estudo examina a evidência atual sobre pegada ambiental hospitalar e estratégias de mitigação. Metodologia: Revisão narrativa de 30 estudos selecionados de múltiplas bases de dados acadêmicas e análise complementar mediante Elicit, priorizando qualidade metodológica e diversidade geográfica. **Resultados:** O impacto ambiental varia consideravelmente entre serviços hospitalares. Os centros cirúrgicos apresentam as maiores emissões (até 814 kg CO₂e por procedimento), onde os gases anestésicos representam 44,7 % do impacto e os materiais descartáveis 78 %. Os departamentos

de imagem geram entre 0,5-17,5 kg CO₂e por estudo. A gestão inadequada produz 441 kg diários de resíduos biocontaminados, enquanto 992 fármacos contaminam matrizes ambientais globalmente. Durante a COVID-19, os índices ambientais aumentaram 17,2 %. Regionalmente, a América Latina enfrenta desafios nas cadeias de suprimentos, enquanto a Europa se concentra em otimizar transporte e materiais. **Conclusões:** A sustentabilidade hospitalar é tecnicamente viável e economicamente benéfica. As intervenções mais promissoras incluem abastecimento local, reutilização segura de materiais, otimização anestésica e sistemas integrais de gestão ambiental. A transformação requer reconhecer a saúde ambiental como componente essencial da qualidade assistencial, não como restrição, mas como evolução natural do conceito de excelência médica.

Palavras chave: hospitais; pegada de carbono; gases anestésicos; gestão ambiental; sustentabilidade.

Abstract

Introduction: Hospitals contribute 4-5 % of global greenhouse gas emissions, creating a paradox between their health preservation mission and environmental impact. This study examines current evidence on hospital environmental footprint and mitigation strategies. **Methodology:** Narrative review of 30 studies selected from multiple academic databases with complementary Elicit analysis, prioritizing methodological quality and geographic diversity. **Results:** Environmental impact varies considerably across hospital services. Operating theaters show highest emissions (up to 814 kg CO₂e per procedure), where anesthetic gases represent 44.7 % of impact and disposable materials 78 %. Imaging departments generate 0.5-17.5 kg CO₂e per study. Poor waste management produces 441 kg daily biocontaminated waste, while 992 pharmaceuticals contaminate environmental matrices globally. During COVID-19, environmental indices increased 17.2 %. Regionally, Latin America faces supply chain challenges, while Europe focuses on optimizing transportation and materials. **Conclusions:** Hospital sustainability is technically feasible and economically beneficial. Most promising interventions include local sourcing, safe material reuse, anesthetic optimization, and comprehensive environmental management systems. Transformation requires recognizing environmental health as an essential component of care quality—not as restriction, but as natural evolution of medical excellence.

Keywords: hospitals; carbon footprint; sustainability; anesthetic gases; environmental management.

INTRODUCCIÓN

El sector sanitario enfrenta una paradoja estructural: su misión es proteger y restaurar la salud, pero sus operaciones contribuyen de manera significativa a la crisis climática, considerada por The Lancet como la mayor amenaza para la salud pública del siglo XXI¹. Estimaciones globales sitúan la huella del sector entre el 4,4 % de las emisiones netas mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) en 2014 —equivalentes a 2 gigatoneladas de CO₂e²— y 5,2 % según datos recientes del Presupuesto Global de Carbono³, reflejando el crecimiento sostenido del sector. Si el sector salud fuera un país, sería el quinto mayor emisor del planeta². Sin medidas decididas, sus emisiones podrían triplicarse hacia 2050⁴, agravando los mismos impactos climáticos —olas de calor, enfermedades transmitidas por vectores, inseguridad alimentaria— que incrementan la carga asistencial hospitalaria.

La composición de esta huella, analizada bajo el marco del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), reorienta el foco más allá de la energía directa. Las emisiones directas de los establecimientos (Alcance 1) representan el 17 % del total, y la energía comprada (Alcance 2) el 12 %; la cadena de suministro (Alcance 3) concentra el 71 %, principalmente a través de productos farmacéuticos, dispositivos médicos y otros insumos⁴. Esta distribución implica que descarbonizar la

atención hospitalaria exige intervenir prioritariamente en las compras y procesos clínicos, no solo en infraestructura energética^{1,2}. Dentro del ámbito institucional, el consumo energético sigue siendo relevante: algunos hospitales reportan que hasta el 46 % de sus emisiones directas provienen de electricidad⁵, áreas como radiología generan huellas entre 0,5 kg CO₂e por radiografía móvil y 17,5 kg CO₂e por resonancia magnética⁶, y las salas de cirugía aportan emisiones sustanciales a través de gases anestésicos halogenados y dispositivos de un solo uso⁷. Adicionalmente, la gestión de residuos y el vertido de productos farmacéuticos persistentes extienden el impacto más allá de los límites físicos de los establecimientos⁸.

Frente a esta evidencia, en los últimos cinco años ha cristalizado una arquitectura global de gobernanza climática en salud sin precedentes. En la COP26 de Glasgow (2021), más de 50 ministerios de salud se comprometieron a construir sistemas resilientes al clima y bajos en carbono; en 2022 la Organización Mundial de la Salud lanzó la Alianza para la Acción Transformadora sobre Clima y Salud (ATACH), que agrupa más de 100 países y 95 socios no estatales⁹. El Marco operacional de la OMS para sistemas de salud resilientes al clima y bajos en carbono se ha consolidado como el estándar normativo internacional⁹. Iniciativas como la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, con más de 1 600 instituciones en 79 países, han demostrado avances en

manejo de residuos (86 % de cumplimiento) y gestión de energía y agua (63 %)⁴,¹⁰. En el ámbito clínico emergen estrategias de prescripción sostenible, incluyendo la limitación de tratamientos y preferencia por vías con menor impacto ambiental¹¹.

El contexto latinoamericano resulta especialmente relevante. Los sistemas de salud de la región enfrentan alta vulnerabilidad climática e infraestructuras heterogéneas. Más de 175 hospitales de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Costa Rica han calculado su huella climática⁴. Colombia se ha posicionado como referente regional: entre 2021 y 2023, el Ministerio de Salud ejecutó el primer ejercicio nacional de estimación de huella de carbono del sector en la región, capacitando más de 400 IPS y analizando reportes de 261 establecimientos¹². Estos hallazgos alimentaron el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial (PIGCCS) 2026-2035, que articula mitigación, adaptación y resiliencia dentro de la planificación sanitaria nacional¹². Sin embargo, persiste una brecha de financiamiento: solo el 28 % de los ministerios de salud de países de ingresos bajos y medianos-bajos recibe fondos internacionales para acción climática⁹, y las evaluaciones económicas de intervenciones raramente incorporan impactos ambientales¹³.

Esta revisión narrativa tiene como objetivo sintetizar la evidencia científica reciente sobre el impacto ambiental del sector hospitalario, identificar sus principales fuentes bajo el marco del GHG Protocol y recopilar recomendaciones basadas en evidencia para reducir su huella sin comprometer calidad ni seguridad asistencial. Se presta especial atención a cómo los marcos internacionales (ATACH, COP26, Red Global de Hospitales Verdes) y desarrollos regionales (PIGCCS Colombia) pueden orientar la acción en entornos latinoamericanos de recursos limitados. Comprender la magnitud, composición y puntos de intervención de esta huella es condición necesaria para que el sector cumpla el mandato de *primum non nocere* extendido a la salud planetaria.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión narrativa de literatura en las siguientes bases de datos: Clinical Key, PubMed, Scopus, Web of Science, CINAHL, Embase, GreenFile, ScienceDirect. Para la recuperación de la información se usaron algoritmos de búsqueda en los que se emplean términos claves tanto en inglés como en español usando operadores booleanos para hacer más exacta la búsqueda (tabla 1).

Para incluir los documentos en la revisión, se seleccionaron aquellos artículos, estudios y revisiones en los que los idiomas del texto eran inglés o español,

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda empleadas

Ecuaciones empleadas
Sector salud OR hospitales AND impacto ambiental OR huella de carbono
Hospitales AND huella de carbono OR impacto ambiental
Greenhouse gasses AND Hospitals AND carbon footprint
Health care sector AND green practices
Sector salud AND huella de carbono OR prácticas verdes

Fuente: elaboración propia

además de aquellos estudios que tenían un máximo de 10 años de haber sido publicados. Se incluyeron aquellos artículos en los que el tema central era el impacto ambiental en el sector salud. Se realizó un primer filtro de selección de documentos en un sistema de organización de datos elaborado en Microsoft Excel, en el que fueron evaluados únicamente a partir de su título y resumen o abstract. Simultáneamente, con ayuda de este mismo programa, se construyó otra matriz de análisis en la cual fueron incorporados los documentos encontrados que pasaron este primer filtro.

Posteriormente, se recuperaron los artículos más relevantes según la pregunta de investigación, aplicando criterios específicos de inclusión que contenían: medición cuantificable de impactos ambientales, enfoque en hospitales o instalaciones de salud principales (sin distinción entre establecimientos públicos o privados, dado que la mayoría de estudios no reportaron esta característica de manera consistente), estudios de investigación primaria o revisiones sistemáticas con datos empíricos ambientales, metodología clara de medición de impacto ambiental, examen de sistemas de gestión ambiental a nivel de instalación, análisis temporal de datos de impacto ambiental y reporte de datos de impacto ambiental a nivel de instalación.

Por otra parte, se excluyeron artículos que no mencionaron explícitamente ninguna estrategia o método para la medición de recursos ambientales, opiniones, encuestas y guías prácticas por la poca aportación que generaba la naturaleza de su escrito para el estudio.

Finalmente, la información de aquellas estrategias seleccionadas fue organizada en una tabla de análisis personalizada, donde los datos de cada uno de los estudios finalmente incluidos fueron clasificados en las siguientes categorías: caracterización del impacto ambiental, impacto por áreas específicas del sector hospitalario, iniciativas y programas de sostenibilidad, estrategias de mitigación y barreras identificadas e impacto económico y evaluación de intervenciones.

RESULTADOS

La búsqueda inicial en bases de datos tradicionales generó un total de 61 933 resultados distribuidos entre cinco algoritmos de búsqueda específicos, evidenciando la amplia disponibilidad de literatura sobre el tema. Dada la naturaleza narrativa de esta revisión, se seleccionaron 30 artículos que representan las contribuciones más significativas y metodológicamente sólidas en el campo de la huella ambiental hospitalaria. Esta selección se

basó en criterios de calidad metodológica, relevancia temática, diversidad geográfica y temporal, así como en la capacidad de los estudios para proporcionar datos cuantitativos específicos sobre impacto ambiental (tabla 2). Los hallazgos presentados a continuación se estructuran desde la caracterización general del impacto ambiental hospitalario hasta el análisis específico por áreas operacionales, incorporando tanto datos cuantitativos precisos como tendencias cualitativas identificadas en la evidencia seleccionada.

Tabla 2. Artículos recuperados por bases de datos

Algoritmo	Base de datos	# de artículos recuperados
Sector salud OR hospitales AND impacto ambiental OR huella de carbono	ScienceDirect	8 522
	Clinical Key	230
	PubMed	71
	Web of Science	1 439
Hospitales AND huella de carbono OR impacto ambiental	ScienceDirect	zz4 320
	Clinical Key	250
	PubMed	49
	Web of Science	1 421
Greenhouse gasses AND Hospitals AND carbon footprint	ScienceDirect	3 088
	Clinical Key	340
	PubMed	3
	Web of Science	205
Health care sector AND green practices	ScienceDirect	35 304
	Clinical Key	291
	PubMed	71
	Web of Science	2 267
Sector salud AND huella de carbono OR prácticas verdes	ScienceDirect	2 451
	Clinical Key	145
	PubMed	297
	Web of Science	1 426

Fuente: elaboración propia

Esta selección permite obtener una perspectiva comprehensiva del estado actual del conocimiento en este campo, abarcando desde investigaciones locales específicas hasta revisiones sistemáticas de alcance global, y cubriendo un período temporal que refleja la evolución del interés académico y las metodologías de investigación en sostenibilidad hospitalaria.

La muestra presenta una distribución geográfica diversa que abarca tres regiones continentales, con una representación equilibrada entre países de ingresos altos y países de ingresos bajos y medianos. Europa está representada por 7 estudios (23,3 %), concentrados principalmente en España, Francia y Reino Unido, lo que refleja el liderazgo europeo en políticas de sostenibilidad hospitalaria.

Tabla 3. Características de los estudios incluidos en la revisión narrativa

Estudio	Enfoque del estudio	Región geográfica	Métricas de impacto ambiental	Tipo de estudio
Rodríguez-Jiménez et al., 2023 ¹	Huella de carbono en entornos sanitarios	Global	Emisiones de CO ₂ , consumo energético	Revisión sistemática
Eckelman y Sherman, 2016 ²	Impactos ambientales del sistema de salud de EE.UU.	Estados Unidos	Emisiones GEI, efectos en salud pública	Análisis cuantitativo
Global Carbon Project, 2021 ³	Presupuesto global de carbono y emisiones de CO ₂ a nivel mundial	Global	Emisiones de CO ₂ , fuentes de emisión y sumideros de carbono	Análisis cuantitativo
Karliner J et al., 2019 ⁴	Huella climática del sector salud y su contribución a la crisis climática global	Global	Emisiones de CO ₂ e del sector salud, distribución por alcances e impacto de la cadena de suministro	Análisis descriptivo
Umo et al., 2023 ⁵	Emisiones de carbono en quirófano con recursos limitados	Papúa Nueva Guinea	Emisiones CO ₂ e, potencial de cambio climático	Estudio de caso
McAlister et al., 2022 ⁶	Huella de carbono en diagnóstico por imagen	Australia	CO ₂ e por modalidad de imagen	Estudio transversal
Gorgun et al., 2024 ⁷	Iniciativas de sostenibilidad en quirófano	Estados Unidos	Reducción de residuos, eficiencia energética	Estudio descriptivo
Alzola et al., 2024 ⁸	Impacto ambiental de medicamentos	España	Contaminación farmacéutica, ciclo de vida	Revisión narrativa
World Health Organization, 2024 ⁹	Acción global en clima y salud (ATACH)	Global	Indicadores de sostenibilidad en sistemas de salud, emisiones del sector salud, resiliencia climática	Descripción de programa
Desterbecq y Tubeuf, 2023 ¹⁰	Evaluación económica con impactos ambientales	Francia	Análisis costo-efectividad ambiental	Revisión metodológica
Collada Sánchez et al., 2023 ¹¹	Farmacia hospitalaria ecológica	España	Gestión sostenible de medicamentos	Estudio de caso
Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia et al., 2023	Huella de carbono del sector salud en Colombia	Colombia	Emisiones de CO ₂ e del sector salud, distribución por fuentes, impacto de la cadena de suministro	Análisis descriptivo
Trecourt et al., 2023 ¹³	Huella de carbono en patología anatómica	Francia	Emisiones CO ₂ e, estrategias de mitigación	Eco-auditoría
Singh et al., 2024 ¹⁴	Avances farmacéuticos y química verde	India	Prácticas de química sostenible	Revisión narrativa
Kar et al., 2024 ¹⁵	Gestión de residuos en cirugía ortopédica	Estados Unidos	Manejo ético de residuos quirúrgicos	Análisis ético
Domínguez et al., 2023 ¹⁶	Estrategia Salud Zer0 Emisiones Netas 2030	España (Canarias)	Neutralidad de carbono, cadena de suministro	Descripción de programa
Balkenhol et al., 2018 ¹⁷	Medición de huella de carbono hospitalaria	Chile	CO ₂ e a nivel hospitalario	Estudio de caso
Alarista y Alarista-Gutiérrez, 2016 ¹⁸	Huella de carbono en establecimientos de salud	Perú	Emisiones CO ₂ e por nivel de atención	Estudio transversal
Gil Morales et al., 2019 ¹⁹	Hospitales verdes en Colombia	Colombia	Implementación de prácticas verdes	Análisis situacional
Woolen et al., 2023 ²⁰	Impacto ambiental en radiología	Estados Unidos	Eficiencia energética, optimización	Revisión narrativa
Tomson, 2015 ²¹	Reducción de huella de carbono hospitalaria	Reino Unido	Estrategias de mitigación	Revisión de políticas
Anudjo et al., 2023 ²²	Sostenibilidad en radiología y radioterapia	Multi-país	Prácticas verdes, recomendaciones	Revisión sistemática
Thiel et al., 2018 ²³	Reducción de emisiones en cirugía laparoscópica	Estados Unidos	Estrategias de reducción GEI	Análisis cuantitativo
Alshqaqeeq et al., 2020 ²⁴	Cuantificación de huella de carbono hospitalaria	Global	CO ₂ e por servicio, alternativas de atención	Revisión sistemática
Strasburg et al., 2024 ²⁵	Impactos ambientales de patrones de menú hospitalario	Uruguay	Huella hídrica, emisiones de transporte	Estudio de caso
Gallegos-Pasco y Pineda-Chaiña, 2022 ²⁶	Sistema de gestión ambiental hospitalaria	Perú	Generación de residuos, emisiones	Investigación aplicada

Tabla 3 (continuación). Características de los estudios incluidos en la revisión narrativa

Estudio	Enfoque del estudio	Región geográfica	Métricas de impacto ambiental	Tipo de estudio
Jiménez-Lacarra et al., 2024 ²⁷	Impacto ambiental durante COVID-19	España	Índices de eficiencia ambiental	Análisis longitudinal
Robinson et al., 2023 ²⁸	Huella de carbono de operaciones quirúrgicas	Multi-país	CO ₂ e por operación, dispositivos médicos	Revisión sistemática
de'Angelis et al., 2023 ²⁹	Huella de carbono de procedimientos quirúrgicos	Global	CO ₂ e por procedimiento, gases anestésicos	Revisión sistemática
Lutterbeck et al., 2020 ³⁰	Impactos de aguas residuales de lavandería	Global	Ciclo de vida, consumo eléctrico	Revisión sistemática
Rodríguez-Jiménez et al., 2023 ³¹	Herramienta de evaluación para servicios de urgencias	Reino Unido	Emisiones de carbono, puntos críticos	Desarrollo metodológico
Jiménez-Lacarra et al., 2022 ³²	Índices de eficiencia ambiental hospitalaria	España	Potencial de calentamiento global	Estudio de caso
Schmidt y Bohnet-Joschko, 2022 ³³	Huella de carbono hospitalaria y mitigación	Multi-país	Emisiones GEI, acciones de mitigación	Revisión de alcance
Rodríguez et al., 2016 ³⁴	Gestión ambiental en hospitales públicos	Colombia	Manejo ambiental, aspectos regulatorios	Análisis descriptivo

América del Norte contribuye con 6 estudios (20 %), todos procedentes de Estados Unidos, evidenciando el interés creciente en cuantificar el impacto ambiental del sistema de salud estadounidense. América Latina muestra una participación significativa con 5 estudios (16,7 %) distribuidos entre Uruguay, Perú, Chile y Colombia, indicando un interés regional emergente en sostenibilidad hospitalaria. Los estudios globales y multi-país representan el 30 % de la muestra (9 estudios), principalmente revisiones sistemáticas que proporcionan perspectivas integradoras del campo. Por otra parte, el análisis temático revela una concentración significativa en áreas específicas de alto impacto. Los servicios quirúrgicos son el foco de 6 estudios (20 %), reflejando el reconocimiento de los quirófanos como áreas de alta intensidad ambiental. La radiología y diagnóstico por imagen aparecen en 4 estudios (13,3 %), indicando preocupación por el consumo energético de equipos especializados. La farmacia hospitalaria es abordada en 3 estudios (10 %), sugiriendo creciente conciencia sobre contaminación farmacéutica. La gestión de residuos aparece como tema transversal en múltiples estudios, confirmando su relevancia como área de intervención prioritaria.

Respecto a las métricas utilizadas muestran una evolución hacia mayor sofisticación e integralidad. Las emisiones de CO₂ equivalente son la métrica más común, presente en 18 estudios (60 %), estableciéndose como estándar de facto para comparaciones. El consumo energético aparece en 12 estudios (40 %), reflejando su importancia como indicador operacional. Los análisis de ciclo de vida están presentes en 8 estudios (26,7 %), indicando adopción creciente de enfoques más comprehensivos. La incorporación de índices de eficiencia ambiental en 5 estudios (16,7 %) sugiere

desarrollo de métricas más integradas para evaluación institucional.

La investigación evidencia que el sector sanitario es un contribuyente significativo a las emisiones globales de gases de efecto invernadero, representando entre el 4-5 % del total de emisiones mundiales¹. Esta contribución se distribuye en tres alcances según el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: las emisiones directas, emisiones indirectas por energía comprada, y otras emisiones indirectas, donde estas últimas constituyen entre el 50-75 % del total^{1,2}.

Los estudios más recientes demuestran que la huella ambiental hospitalaria presenta una variabilidad considerable según el contexto y tipo de actividad. Se han documentado emisiones que oscilan entre 4 a 814 kg de CO₂ equivalente por procedimiento, con hospitales de referencia, reportando hasta 622 kg de CO₂ equivalente y una generación de 441 kg diarios de residuos biocontaminados^{25,26,27}. Durante la pandemia de COVID-19, se observó un incremento del 17,2 % en los índices ambientales, evidenciando cómo las crisis sanitarias pueden exacerbar el impacto ambiental del sector²⁷.

1. IMPACTO POR ÁREAS ESPECÍFICAS DEL SECTOR HOSPITALARIO

El análisis de los estudios incluidos permite identificar patrones específicos de impacto ambiental según las diferentes áreas operacionales del sector hospitalario. Esta caracterización por áreas específicas proporciona una base empírica para la identificación de puntos críticos de intervención y el desarrollo de estrategias de mitigación dirigidas.

Tabla 4. Impacto ambiental por áreas específicas del sector hospitalario

Área hospitalaria	Rango de emisiones/ impacto	Principales contribuyentes	Estudios de referencia	Estrategias de mitigación identificadas	Potencial de reducción
Diagnóstico por Imagen y Radiología	0,5-17,5 kg CO ₂ e por estudio	Resonancia magnética (17,5 kg CO ₂ e), Tomografía computarizada (9,2 kg CO ₂ e), consumo energético en modo espera	McAlister et al. ⁶ , Woolen et al. ¹⁴ , Anudjo et al. ²²	Protocolos de ahorro energético, reducción de estudios innecesarios, preferencia por modalidades de menor impacto	20-40 % reducción en consumo energético
Servicios Quirúrgicos	4-814 kg CO ₂ e por procedimiento; promedio 8,4 kg CO ₂ e	Gases anestésicos (44,7 % del total), dispositivos médicos, materiales de un solo uso (hasta 78 %), consumo eléctrico	Umo et al. ⁵ , Gorgun et al. ⁷ , Robinson et al. ²⁸ , deAngelis et al. ²⁹ , Thiel et al. ²³	Selección de gases anestésicos, reutilización de materiales seguros, cirugía mínimamente invasiva	Hasta 80 % en procedimientos laparoscópicos
Farmacia Hospitalaria	992 principios activos en matrices ambientales; transporte personal (28,2 %) y reactivos (44,9 %)	Contaminación farmacéutica persistente, empaque de reactivos, transporte de personal	Alzola et al. ⁸ , Collada Sánchez et al. ¹¹ , Singh et al. ¹⁴	Sistemas electrónicos de prescripción, preferencia vía oral, optimización de almacenamiento, química verde	15-30 % en gestión de medicamentos
Servicios de Alimentación	Fórmulas infantiles importadas como mayor impacto identificado	Transporte de alimentos, especialmente fórmulas infantiles de Europa, dietas enterales	Strasburg et al. ²⁵	Abastecimiento local, optimización de cadena de suministro	Reducción significativa no cuantificada
Gestión de Residuos	441 kg/día residuos biocontaminados	Residuos biocontaminados, químicos, radioactivos	Gallegos-Pasco y Pineda-Chaiña ²⁶ , Kar et al. ¹⁵	Sistemas de gestión ambiental, segregación apropiada, tratamiento optimizado	Mejoras documentadas, pero no cuantificadas
Servicios de Lavandería	Alto consumo eléctrico en tratamiento	Electricidad en procesos de tratamiento, aguas residuales	Lutterbeck et al. ³⁰	Transición a energías limpias, optimización de procesos	Reducción proporcional a fuente energética
Servicios de Emergencia	En desarrollo de cuantificación	Puntos críticos de emisión identificables	Rodríguez-Jiménez et al. ³¹	Herramientas de evaluación, intervenciones dirigidas	Potencial identificado pero no cuantificado
Patología Anatómica	Emisiones CO ₂ e variables según volumen	Reactivos químicos, equipos especializados, gestión de muestras	Trecourt et al. ¹³	Eco-auditorías, optimización de procesos	Estrategias en desarrollo
Hospital Completo (Nivel Institucional)	622 kg CO ₂ e (hospital regional); 4-5 % emisiones globales del sector	Transporte (principal), materiales, energía, cadena de suministro	Rodríguez-Jiménez et al. ¹ , Balkenhol et al. ¹⁴ , Alarista y Alarista-Gutiérrez ¹⁸	Políticas sostenibles integrales, gestión de cadena de suministro	Variable según implementación
Respuesta a Crisis (COVID-19)	17,2 % incremento en índices ambientales	Aumento de residuos, consumo de gases médicos, equipos de protección	Jiménez-Lacarra et al. ²⁸	Estrategias adaptativas, planificación de contingencia	Mitigación parcial posible

Los estudios detallados sobre el impacto ambiental en radiología muestran una variación significativa según la modalidad de imagen. La resonancia magnética registra el mayor impacto con 17.5 kg CO₂e por estudio, seguida por la tomografía computarizada con 9.2 kg CO₂e. Las modalidades de menor impacto incluyen los rayos X (0.8 kg CO₂e) y el ultrasonido (0.5 kg CO₂e). Un hallazgo importante es que el consumo energético en modo de espera de los equipos contribuye sustancialmente a la huella de carbono total de esta área⁶.

En el ámbito quirúrgico, un estudio prospectivo en un hospital provincial documentó emisiones totales de 2 665,8 kg CO₂e durante un período de dos meses, con un promedio de 8,4 kg CO₂e por procedimiento quirúrgico. Los gases anestésicos representaron el 44,7 % de estas emisiones (1 171,3 kg CO₂e), constituyendo la principal fuente de impacto ambiental en esta área⁵. La investigación en cirugía laparoscópica ha identificado que las intervenciones más efectivas incluyen la selección de gases anestésicos específicos y la minimización de

materiales utilizados, con potencial de reducción de hasta un 80 % en la huella de carbono por procedimiento²⁴.

El impacto ambiental de los productos farmacéuticos se extiende más allá de su uso clínico. Se han detectado 992 principios activos diferentes en matrices ambientales, con presencia documentada en ríos de más de 100 países⁸. La investigación en farmacia hospitalaria ha identificado que las principales fuentes de emisiones incluyen el transporte de personal (28,2 %) y los reactivos y su empaque (44,9 %) ¹³. Las estrategias de mitigación incluyen:

- Limitación en la duración de tratamientos
- Preferencia por medicación oral sobre parenteral cuando sea apropiado
- Implementación de sistemas electrónicos de prescripción
- Optimización del almacenamiento y gestión de medicamentos^{11,20}

Desde la gestión de recursos ambientales, el tratamiento de aguas residuales de lavandería hospitalaria presenta impactos ambientales significativos, principalmente relacionados con el consumo eléctrico en los procesos de tratamiento. Los análisis de ciclo de vida han demostrado una alta carga energética en estos procesos, sugiriendo que la transición hacia fuentes de energía más limpia podría reducir sustancialmente este impacto³⁰. La información analizada permitió identificar patrones consistentes en los puntos críticos de emisión a nivel hospitalario:

- Transporte: identificado como punto crítico en múltiples estudios, abarcando tanto el transporte de alimentos y materiales como el desplazamiento de personal y pacientes.
- Gestión de residuos: área con alta implementación de medidas, pero con potencial significativo de mejora en cuantificación de impactos específicos.
- Consumo eléctrico: particularmente relevante en equipos de diagnóstico por imagen, tratamiento de lavanderías y sistemas de climatización.
- Materiales de un solo uso: especialmente críticos en servicios quirúrgicos, donde pueden representar hasta el 78 % de la huella de carbono del procedimiento.
- Gases anestésicos: Contribuyentes significativos en procedimientos quirúrgicos, representando hasta el 44,7 % de las emisiones totales en quirófanos.

2. INICIATIVAS Y PROGRAMAS DE SOSTENIBILIDAD

La Red Global de Hospitales Verdes emerge como una de las iniciativas más significativas en el sector sanitario para abordar el impacto ambiental. Esta red no solo visibiliza las estrategias clave de sus instituciones adscritas, sino que impulsa una cultura de acción ambiental. Su impacto es tal que ha logrado que organizaciones externas conozcan y adopten estos modelos de gestión, incluso sin formar parte oficial de la iniciativa. Los datos muestran una implementación heterogénea de diferentes estrategias, donde la gestión de residuos hospitalarios alcanza el mayor nivel de adopción con un 86 % de implementación. La gestión energética y del agua ocupa el segundo lugar con un 63 %, mientras que otras áreas como el liderazgo ambiental (37 %), manejo de sustancias químicas (35 %), y gestión de productos farmacéuticos (22 %) muestran niveles intermedios de implementación. Las áreas con menor adopción incluyen las compras verdes (17 %), mejoras en infraestructura (11 %), gestión de alimentos (10 %) y transporte sostenible (9 %) ¹⁹.

Un ejemplo destacable de iniciativas regionales es la estrategia "Salud Zer0 Emisiones Netas 2030" del Servicio Canario de Salud, que busca alcanzar la neutralidad en emisiones de carbono para 2030. Esta iniciativa pionera en España integra medidas directas e indirectas, con especial énfasis en la cadena de suministro del sistema público de salud¹⁶.

3. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y BARRERAS IDENTIFICADAS

Las estrategias implementadas en el sector hospitalario para reducir el impacto ambiental han evolucionado hacia un enfoque integral y multidisciplinario. La Red Global de Hospitales Verdes ha sido fundamental en el desarrollo y promoción de estas estrategias, estableciendo un marco de referencia que abarca múltiples áreas de intervención. Los datos revelan que la gestión de residuos hospitalarios ha alcanzado el mayor nivel de implementación con un 86 % de adopción, seguida por la gestión energética y del agua con un 63 %. Estas cifras demuestran un compromiso creciente del sector con la sostenibilidad ambiental, aunque también señalan áreas con potencial de mejora significativo¹⁹.

En el ámbito del diagnóstico por imagen, las estrategias se han centrado en la optimización del uso de equipos y la eficiencia energética. La investigación ha demostrado que medidas como la reducción de estudios innecesarios y la implementación de protocolos de ahorro energético pueden reducir significativamente la huella de carbono. Por ejemplo, el apagado de equipos durante períodos de inactividad y la preferencia por modalidades de menor impacto, cuando sea clínicamente apropiado, han mostrado reducciones sustanciales en el consumo energético y las emisiones asociadas ^{6,20}.

Las salas de cirugía han sido otro foco importante de intervención. Las estrategias en esta área han evolucionado desde el simple manejo de residuos hacia un enfoque más comprehensivo que incluye la selección de gases anestésicos con menor impacto ambiental, la optimización de materiales y la implementación de sistemas de reciclaje específicos. Estudios recientes han demostrado que estas intervenciones pueden reducir hasta en un 80 % la huella de carbono por procedimiento quirúrgico^{7,23}. En el área farmacéutica, las estrategias han sido particularmente innovadoras. La implementación de sistemas informáticos para reducir el uso de papel, la optimización de la duración de tratamientos y la preferencia por vías de administración oral cuando sea posible, han demostrado no solo beneficios ambientales sino también mejoras en la eficiencia operativa. Estas medidas han sido complementadas con una gestión más efectiva de los residuos farmacéuticos y una mayor atención a la cadena de suministro¹¹.

4. IMPACTO ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE INTERVENCIONES

El impacto de estas estrategias se ha manifestado en múltiples dimensiones. En términos ambientales, se ha observado una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero, una disminución en la generación de residuos y un menor consumo de recursos energéticos y hídricos. La contaminación farmacéutica en matrices ambientales también ha mostrado tendencias a la baja en instituciones que han implementado programas integrales de gestión ambiental^{1,8}.

Desde la perspectiva económica, las instituciones han reportado reducciones significativas en costos operativos, particularmente en el consumo energético y la gestión de residuos. La optimización de recursos y la mejora en la eficiencia de procesos han generado ahorros sustanciales, aunque la cuantificación exacta de estos beneficios económicos sigue siendo un desafío debido a la falta de metodologías estandarizadas de evaluación¹⁰. Un aspecto particularmente importante ha sido el impacto en la calidad asistencial. Contrario a las preocupaciones iniciales, la implementación de estrategias sostenibles no solo ha mantenido, sino que en muchos casos ha mejorado los estándares de atención. La mayor eficiencia en procesos clínicos y la mejor gestión de recursos sanitarios han contribuido a este resultado positivo^{15,22}. Sin embargo, el éxito en la implementación de estas estrategias ha requerido un compromiso institucional sostenido, inversión en capacitación del personal y el desarrollo de sistemas de medición y seguimiento efectivos. La experiencia ha demostrado que el enfoque más exitoso es aquel que integra las consideraciones ambientales en todos los niveles de operación hospitalaria, desde la planificación estratégica hasta las prácticas diarias^{19,24}.

CONCLUSIONES

Esta revisión confirma que el sector hospitalario enfrenta un dilema paradójico fundamental: mientras cumple su misión esencial de preservar la salud humana, genera simultáneamente impactos ambientales que comprometen la salud planetaria. Sin embargo, la evidencia analizada demuestra que esta tensión no es irreconciliable, sino que representa una oportunidad para redefinir la excelencia en atención sanitaria incorporando criterios de sostenibilidad ambiental. En este contexto, la heterogeneidad de impactos observada entre diferentes servicios hospitalarios sugiere que las estrategias de mitigación más efectivas serán aquellas que adopten enfoques diferenciados y contextualizados. Los quirófanos, por ejemplo, emergen como ecosistemas particularmente complejos donde convergen múltiples fuentes de impacto, desde la selección de gases anestésicos hasta las decisiones sobre reutilización de materiales. No obstante, esta complejidad, lejos de ser un obstáculo, ofrece múltiples puntos de intervención que pueden generar beneficios acumulativos significativos.

Paralelamente, la dimensión geográfica del problema revela patrones que trascienden las fronteras nacionales. Mientras que los países desarrollados enfrentan desafíos relacionados con la intensidad tecnológica y el consumo de recursos, las naciones en desarrollo lidian con problemas de infraestructura y cadenas de suministro menos eficientes. A pesar de estas diferencias, esta diversidad regional no debe interpretarse como una limitación para la acción colaborativa, sino como una oportunidad para el desarrollo de soluciones complementarias que puedan adaptarse a diferentes contextos socioeconómicos. Asimismo, el impacto documentado de la pandemia ilustra la vulnerabilidad de los sistemas de salud ante crisis sanitarias y subraya la necesidad de desarrollar capacidades de resiliencia que integren consideraciones ambientales desde el diseño de los protocolos de respuesta. De manera reveladora, las instituciones que habían implementado previamente sistemas de gestión ambiental demostraron mayor capacidad de adaptación, lo cual sugiere que la sostenibilidad no es un lujo opcional sino una característica esencial de sistemas de salud robustos.

En el ámbito metodológico, la fragmentación identificada en la literatura refleja la juventud relativa del campo y presenta tanto desafíos como oportunidades. Si bien la falta de estandarización dificulta las comparaciones directas, también permite la experimentación con enfoques innovadores que eventualmente podrían converger hacia marcos metodológicos más maduros. Consecuentemente, la proliferación de métricas y herramientas de evaluación sugiere un campo en plena efervescencia intelectual, donde la diversidad de enfoques eventualmente contribuirá a la robustez del conocimiento consolidado.

Por otra parte, las iniciativas existentes, aunque desiguales en su adopción, demuestran que la transformación hacia prácticas más sostenibles es técnicamente factible y económicamente viable. La concentración de esfuerzos en áreas como la gestión de residuos, donde los beneficios son inmediatamente visibles, contrasta con la menor atención prestada a intervenciones sistémicas como el transporte sostenible o las compras verdes. Esta disparidad sugiere que el progreso futuro requerirá marcos de incentivos que reconozcan explícitamente los beneficios a largo plazo de intervenciones con períodos de retorno más prolongados.

En consecuencia, la transición hacia un sector sanitario ambientalmente sostenible no constituye simplemente una respuesta a presiones externas, sino una evolución natural del concepto de calidad en atención médica. Las instituciones que han logrado integrar exitosamente consideraciones ambientales en sus operaciones reportan beneficios que trascienden la reducción de impactos, incluyendo mejoras en eficiencia operativa, reducción de costos a largo plazo y fortalecimiento de la cultura organizacional. Por tanto, el camino hacia adelante requiere un cambio de paradigma que reconozca la salud ambiental como un componente integral de la atención sanitaria de calidad. Esto implica desarrollar capacidades institucionales que permitan la toma de decisiones informada por consideraciones ambientales, establecer sistemas de monitoreo y evaluación que integren múltiples dimensiones de impacto, y fomentar una cultura organizacional que valore la innovación sostenible.

Una limitación importante de la presente revisión es la imposibilidad de realizar análisis diferenciados entre hospitales públicos y privados. Esta distinción es metodológicamente relevante, ya que hospitales públicos y privados presentan capacidades de ejecución presupuestaria diferentes que podrían influir en la implementación de estrategias de sostenibilidad ambiental. Investigaciones futuras deberían incorporar esta diferenciación de manera sistemática para permitir análisis comparativos más robustos.

El sector sanitario se encuentra en un momento de inflexión donde las decisiones tomadas en los próximos años determinarán su trayectoria ambiental para las próximas décadas. Las instituciones que anticipen esta transformación y desarrollen proactivamente capacidades de sostenibilidad estarán mejor posicionadas para liderar un sector que reconcilie su misión de cuidado con su responsabilidad planetaria. En última instancia, la sostenibilidad ambiental en el sector sanitario no representa una restricción a la excelencia clínica, sino su redefinición para el siglo XX.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud (FUCS) por el apoyo institucional brindado para la realización de este trabajo de investigación y al semillero de investigación Sol Valeria Cardenas de instrumentación quirúrgica SIQUID.

BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez-Jiménez L, Romero-Martín M, Spruell T, Steley Z, Gómez-Salgado J. The carbon footprint of healthcare settings: A systematic review. *J Adv Nurs*. 2023; 79:2830-44.
- Eckelman MJ, Sherman J. Environmental Impacts of the U.S. Health Care System and Effects on Public Health. *PLoS One*. 2016; 11(6):e0157014.
- Presupuesto global de carbono (2021) Atlas global del carbono. Recuperado el 23 de septiembre de 2023 de <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>.
- Karliner J, Slotterback S, Boyd R, Ashby B, Steele K. Huella climática del sector de la salud: cómo contribuye el sector de la salud a la crisis climática global: oportunidades para la acción. *Salud sin Daño & Arup*; 2019. Disponible en: <https://accionclimaticausalud.org/sites/default/files/2021-06/huellaclimatica.pdf>.
- Umo I, Pangiau M, Kukiti J, Ona A, Tepoka S, James K, et al. Estimating the carbon emissions from a resource-limited surgical suite in Papua New Guinea: The climate change potential. *Dialogues in Health*. 2023; 2:100108.
- McAlister S, McGain F, Breth-Petersen M, Story D, Charlesworth K, Ison G, et al. The carbon footprint of hospital diagnostic imaging in Australia. *Lancet Reg Health West Pac*. 2022; 24:100459.
- Gorgun E, Dehipawala S, O'Hara M, Naoumtchik E, Gangoli G, Ricketts C, et al. Environmental Sustainability Initiatives in the Operating Room. *Ann Surg Open*. 2024; 3:e451.
- Alzola AV, Echaburua S, Garcia MN, Palacios ZI, Losada AU, Elguizabala LA, et al. El impacto ambiental de los medicamentos: una mirada desde la farmacia hospitalaria. *Farm Hosp*. 2024; 48:S13-S20.
- World Health Organization. Alliance for Transformative Action on Climate and Health (ATACH). Ginebra: OMS; 2024. Disponible en: <https://www.atachcommunity.com/>.
- Desterbecq C, Tubeuf S. Inclusion of Environmental Spillovers in Applied Economic Evaluations of Healthcare Products. *Value Health*. 2023; 26(8):1270-81.
- Collada Sánchez VL, Villamañán Bueno E, Ayllón Morales M, Ruano Encinar M, Sobrino Jimenez C, Catedra CL, et al. Farmacia hospitalaria ecológica: un enfoque sostenible del proceso de utilización de medicamentos en un hospital de tercer nivel. *Farm Hosp*. 2023; 47:T196-T200.
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, Salud sin Daño. Estimación de la huella de carbono del sector salud en Colombia. Informe final. Bogotá; 2023. Disponible en: <https://lac.saludsindanio.org/noticias/estimacion-de-la-huella-de-carbono-del-sistema-de-salud-colombiano>.

13. Trecourt A, Cottinet PJ, Donzel M, Favretto M, Bancel B, Decaussin M, et al. Carbon footprint evaluation of routine anatomic pathology practices using eco-audit: Current status and mitigation strategies. *Ann Diagn Pathol.* 2023; 67:152210.
14. Singh B, Crasto M, Ravi K, Singh S. Pharmaceutical advances: Integrating artificial intelligence in QSAR, combinatorial and green chemistry practices. *Intell Pharm.* 2024; 2:598-608.
15. Kar A, Pant A, Shah R. Ethical Considerations in the Management of Orthopedic Surgery Waste: Balancing Environmental Protection and Participant Safety. *Cureus.* 2024; 16(9):e70342.
16. Domínguez C, Falcón R, García R. Estrategia «Salud Zer0 Emisiones Netas 2030» del Servicio Canario de la Salud. *Gac Sanit.* 2023; 37:102282.
17. Balkenhol M, Castillo A, Soto M, Feijo M, Merino W. Measurement of the carbon footprint at a regional hospital. *Rev Med Chile.* 2018; 146(12).
18. Alatrística CB, Alatrística-Gutiérrez MS. Huella de carbono en cinco establecimientos de salud del tercer nivel de atención de Perú, 2013. *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 2016; 33(2):274-7.
19. Gil Morales JA, Guayan Ardila IC, Polania Sánchez LH, Restrepo HF. Análisis situacional de los hospitales verdes colombianos pertenecientes a la red global. *Rev Salud Ambient.* 2019; 19(1):12-22.
20. Woolen SA, Kim CJ, Hernandez AM, Becker A, Martin AJ, Kuoy E, et al. Radiology Environmental Impact: What Is Known and How Can We Improve? *Acad Radiol.* 2023; 30:625-30.
21. Tomson C. Reducing the carbon footprint of hospital-based care. *Future Hosp J.* 2015; 2(1):57-62.
22. Anudjo MNK, Vitale C, Elshami W, Hancock A, Adeleke S, Franklin JM, et al. Considerations for environmental sustainability in clinical radiology and radiotherapy practice: A systematic literature review and recommendations for a greener practice. *Radiography (Lond).* 2023;29(6):1077-92.
23. Thiel CL, Woods NC, Bilec MM. Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Laparoscopic Surgery. *Am J Public Health.* 2018; 108:S158-S164.
24. Alshqaqeeq F, Esmaeili MA, Overcash M, Twomey J. Quantifying Hospital Services by Carbon Footprint: A Systematic Literature Review of Patient Care Alternatives. *Resour Conserv Recycl.* 2020; 154:104560.
25. Strasburg VJ, Dergazarián S, Nacaratto S, Suárez C. Impactos Ambientales de Los Patrones Del Menú de Un Hospital Universitario En Uruguay. *Revista Contexto & Saúde.* 2024; 21(41):e13456.
26. Gallegos-Pasco P, Pineda-Chaiña H. Implementación de Un Sistema de Gestión Ambiental En Función de Los Factores Ambientales En Hospitales. *Rev Investig Altoandin.* 2022; 24(3):145-52.
27. Jiménez-Lacarra V, Martínez-Cámara E, Santamaría-Peña J, Jiménez-Macías E, Blanco-Fernández J. Healthcare in the Time of COVID-19: An Environmental Perspective on the Pandemic's Impact on Hospitals. *Appl Sci.* 2024; 14(2):678.
28. Robinson P, Surendran K, Lim SJ, Robinson M. The Carbon Footprint of Surgical Operations: A Systematic Review Update. *Ann R Coll Surg Engl.* 2023; 105(7):456-63.
29. de'Angelis N, Conso C, Bianchi G, Rodríguez AGB, Marchegiani F, Carra M, et al. Systematic Review of Carbon Footprint of Surgical Procedures. *J Visc Surg.* 2023; 160(4):267-78.
30. Lutterbeck C, Colares G, Dell'Osbel N, Silva FP, Kist LT, Machado EL. Hospital Laundry Wastewaters: A Review on Treatment Alternatives, Life Cycle Assessment and Prognosis Scenarios. *J Clean Prod.* 2020; 273:123041.
31. Rodríguez-Jiménez L, Romero-Martín M, Gómez-Salgado J. Impacto Medioambiental de Los Servicios de Urgencias En La Salud Pública: Una Herramienta de Valoración. *Rev Esp Salud Publica.* 2023; 97:e202304036.
32. Jiménez-Lacarra V, Martínez-Cámara E, Santamaría-Peña J, Jiménez-Macías E, Bruzzone A, Blanco-Fernández J. Environmental Efficiency Indices in the Public Hospital Sector: A Proposal. *Appl Sci.* 2022; 12(19):9642.
33. Schmidt L, Bohnet-Joschko S. Planetary Health and Hospitals' Contribution—A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19(3):1830.
34. Rodríguez JP, García CA, García MC. Gestión ambiental en hospitales públicos: aspectos del manejo ambiental en Colombia. *Rev Fac Med.* 2016; 64(4):621-4.