

## Chapter 10 / Capítulo 10

*Health 4.0: management, technology, and transformation of the healthcare sector in Latin America (Spanish version)*

**ISBN:** 978-9915-704-08-1

**DOI:** 10.62486/978-9915-704-08-1.ch10

**Pages:** 150-162

©2025 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 License.

## **Hospital circular economy: clinical viability and ESG performance in reusable textiles and optimized sterilization**

### **Economía circular hospitalaria: viabilidad clínica y desempeño ESG en textiles reutilizables y esterilización optimizada**

Carelys Suescum Coelho<sup>1</sup>  , Car-Emyr Suescum Coelho<sup>2</sup>  , Carluys Suescum Coelho<sup>3</sup>  

<sup>1</sup>Centro de Estudios Gerenciales Avanzados (CEGA), Caracas, Venezuela.

<sup>2</sup>Universidad Metropolitana, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

<sup>3</sup>Centro de Estudios Gerenciales Avanzados (CEGA), Caracas, Venezuela.

**Autor de correspondencia:** Carelys Suescum Coelho 

#### **ABSTRACT**

This chapter examines the environmental paradox facing healthcare administration (5 % of global GHG emissions) and evaluates whether replacing disposables with reusable textiles through a redesign of C&E reduces impacts without compromising clinical safety. The objective was to synthesize recent evidence and propose management guidelines aligned with the SDGs, through a documentary review of post-pandemic literature on LCA, costs, care quality, and traceability. The results indicate that, compared to blue wrap, reusable rigid containers reduce waste by up to 88 % and emissions by a half; operationally, the rationalization of sets and instruments is the main driver of carbon and cost savings, above and beyond the mere replacement of packaging. Economically, OPEX savings exceed CAPEX under a total cost of ownership approach, and decisions must incorporate SROI to support investments. In clinical practice, there is no evidence of an increase in surgical site infections with reusable devices, but questions persist about the validity of barrier standards (ANSI/AAMI PB70) and degradation due to reprocessing; digital traceability (RFID) and cycle-based retirement protocols are required to ensure safety. Finally, an integrated evidence map and decision-making framework are offered to scale hospital circularity at the management level, migrating from linear purchasing to asset and risk management (TCO+SROI) and prioritizing set optimization as a high-impact, low-barrier action.

**Keywords:** Hospital Circular Economy; CE&E; Reusable PPE; SDGs; Sustainable Management.

#### **RESUMEN**

Este capítulo examina la paradoja ambiental a la que se enfrenta la administración de la atención sanitaria (5 % de las emisiones globales de GEI) y evalúa si sustituir desechables por textiles reutilizables con un rediseño de las CEyE reduce impactos sin comprometer la seguridad clínica. El objetivo fue sintetizar la evidencia reciente y proponer lineamientos de gestión alineados con los ODS, mediante una revisión documental de literatura postpandemia sobre LCA, costos, calidad asistencial y trazabilidad. Los resultados indican que, frente al blue wrap, los contenedores rígidos reutilizables reducen hasta 88 % los residuos y aproximadamente a la mitad las emisiones; operativamente, la racionalización de sets e instrumentales es el principal impulsor de ahorros de carbono y costos, por encima de la mera sustitución de empaques. Económicamente, los ahorros OPEX superan el CAPEX bajo un enfoque de costo total de propiedad, y las decisiones deben incorporar SROI para sustentar inversiones. En lo clínico, no se evidencia incremento de infecciones del sitio quirúrgico con reutilizables, pero persisten dudas

sobre la validez de los estándares de barrera (ANSI/AAMI PB70) y la degradación por reprocesos; se requiere trazabilidad digital (RFID) y protocolos de retiro por ciclos para garantizar seguridad. Finalmente se ofrece un mapa integrado de evidencia y un marco decisorio para escalar a nivel gerencial la circularidad hospitalaria, migrando de compras lineales a gestión de activos y riesgos (TCO+SROI) y priorizando la optimización de sets como acción de alto impacto y baja barrera.

**Palabras clave:** Economía Circular Hospitalaria; CEyE; EPP Reutilizable; ODS; Gestión Sostenible.

## INTRODUCCIÓN

El sector de la salud, el cual es considerado fundamental para el bienestar humano (ODS 3), se enfrenta a una profunda paradoja por cuanto su misión de curar genera simultáneamente un daño ambiental significativo. La huella climática de la atención sanitaria es responsable de aproximadamente el 5 % de las emisiones globales netas de gases de efecto invernadero (GEI), un volumen que, aunque no lo parezca, superaría al generado por la aviación comercial o el transporte marítimo.

Esta presión ambiental se vio exacerbada de manera exponencial durante la pandemia del COVID-19, que normalizó, en razón a las propias características de la emergencia sanitaria, un incremento masivo en el consumo de equipos de protección personal (EPP) desechables, saturando los vertederos y tensionando las cadenas de suministro globales.<sup>(1)</sup> Desde entonces, los sistemas sanitarios operan bajo una presión de costos postpandemia sin precedentes, donde la eficiencia operativa ya no es vista como una simple opción, sino como una condición de supervivencia financiera.<sup>(2)</sup>

Históricamente, la gestión del riesgo infeccioso en los hospitales ha fomentado una cultura de “un solo uso”, donde a menudo se equipará erróneamente el producto desechable con la esterilidad y la seguridad. Precisamente al partir de este modelo lineal (extraer - fabricar - usar y desechar), resulta insostenible. Es aquí donde la Economía Circular (EC) emerge como respuesta con un paradigma alternativo alineado con el ODS 12 (Producción y Consumo Responsable), que rediseña los sistemas para priorizar la reutilización, el reprocesamiento, la reparación y la eficiencia de los recursos.<sup>(3)</sup> En el contexto hospitalario, esto se materializa en dos intervenciones clave: primeramente, con la sustitución de textiles quirúrgicos (batas, campos) desechables por reutilizables y, en segundo lugar, con el rediseño de las Centrales de Esterilización y Equipamiento (CEyE) para optimizar el reprocesamiento de instrumental.<sup>(4)</sup>

Esto plantea un dilema central para la innovación en salud y gestión hospitalaria del siglo XXI: ¿cuál es el impacto ambiental (evaluado mediante Análisis de Ciclo de Vida o LCA), económico (costos por alta y Retorno Social de la Inversión, SROI) y, crucialmente, clínico (calidad asistencial y seguridad del paciente) de sustituir los EPP/textiles desechables por reutilizables y rediseñar las CEyE hacia un modelo circular, en comparación con el estándar actual de un solo uso? Por ello, el propósito de este capítulo es sintetizar y evaluar críticamente la evidencia empírica publicada en los años postpandemia sobre la viabilidad de esta transición.

La contribución es doble: en primer lugar, al mapear las sinergias evidentes (por ejemplo, la reducción simultánea de emisiones de CO<sub>2</sub> y los costos operativos), y en segundo lugar, al identificar los vacíos y las barreras críticas, como la validez de los estándares de barrera clínica y la resistencia organizacional que actualmente frenan la adopción de la circularidad a escala.

Al hacerlo, esta investigación busca proporcionar una base de evidencia para alinear la gestión hospitalaria con los ODS 3 (Salud y Bienestar), 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 12 (Producción y Consumo Responsable), 13 (Acción por el Clima) y 17 (Alianzas para lograr los Objetivos).

## **DESARROLLO**

### **Epp y textiles reutilizables vs. desechables: evaluación de ciclo de vida (lca)**

La base de la justificación ambiental para la transición a textiles reutilizables se fundamenta en una sólida evidencia de Evaluación de Ciclo de Vida (LCA). La inclusión de estudios anteriores a 2021, como el de Vozzola et al.<sup>(5)</sup>, es indispensable en este dominio, ya que establecieron la metodología y los puntos de referencia canónicos. En su estudio cradle-to-end-of-life (de la cuna al fin de la vida útil) de batas quirúrgicas, frecuentemente citado en la literatura reciente, demostraron que un sistema de batas reutilizables —asumiendo un número realista de ciclos de lavado— reduce el consumo de energía hasta en un 64 %, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 66 %, el consumo de agua potable en un 83 %, y la generación de residuos sólidos en un 84 %, en comparación con sus equivalentes desechables. Estos hallazgos han sido validados consistentemente, como en el estudio realizado por Chang et al.<sup>(6)</sup>

La investigación de Vela et al.<sup>(7)</sup> confirma y amplía estos resultados. Al aplicar un análisis de LCA sobre cubiertas de camas de quirófano (OR) y comparar un sistema reutilizable (lavado) con respecto a sistemas desechables (con destino a vertedero o incineración), los resultados cuantitativos mostraron que la huella de carbono total para 50 usos del reutilizable era de 19,83 kg de CO<sub>2</sub>, mientras que su equivalente desechable, enviado a un vertedero, generaba 64,99 kg de CO<sub>2</sub>. Como se puede apreciar, esta transición representa un ahorro neto de 45,16 kg de CO<sub>2</sub> por cada 50 usos, lo que equivale a las emisiones de conducir un vehículo de pasajeros promedio por 185 kilómetros.<sup>(6)</sup>

Ventura-Abreu et al.<sup>(8)</sup> sostienen que la superioridad ambiental de los reutilizables no es absoluta y depende de variables críticas del ciclo de vida. El factor más determinante es el número de ciclos de reutilización alcanzados; un producto reutilizable que se desecha prematuramente puede tener un impacto ambiental mayor que el desechable debido a su mayor masa y complejidad de fabricación.<sup>(9)</sup>

Además, el tipo de material es crucial. Un LCA comparativo de trajes quirúrgicos encontró que, si bien el reutilizable (a base de algodón) era superior en la mayoría de las categorías, su impacto en el agotamiento del agua era significativamente mayor que el desechable, atribuible a la fase de cultivo intensivo del algodón.<sup>(10)</sup> Esto sugiere que los textiles reutilizables basados en fibras sintéticas como poliéster u otras mezclas ofrecen un perfil de sostenibilidad mucho más equilibrado.

La evidencia LCA demuestra de manera abrumadora que los reutilizables superan a los desechables (polipropileno) en métricas clave alineadas con los ODS 12, en cuanto a generación de residuos, y con los ODS 13, en cuanto a emisiones de carbono. El análisis causal muestra que el mayor impacto de los desechables se concentra en dos fases: la extracción de materias primas (plásticos vírgenes) y la gestión de fin de vida, ya sea en vertedero o mediante incineración.<sup>(11)</sup>

Por el contrario, el impacto principal de los reutilizables se concentra en la fase de uso, es decir, en el proceso de lavandería industrial, intensivo tanto en energía (generalmente eléctrica) como en agua. Por ello, tal como sostienen Vozzola et al.<sup>(5)</sup>, el desarrollo de una gestión de

calidad sostenible en el ámbito sanitario no debe centrarse únicamente en si los reutilizables son ambientalmente preferibles, sino en cómo optimizar su fase de uso. Por ejemplo, mediante lavanderías alimentadas por energía renovable, optimización de la carga de agua y captura de microplásticos, a fin de maximizar sus beneficios netos.<sup>(12)</sup>

Tabla 10.1. Síntesis de Estudios LCA Comparativos (EPP y Textiles Quirúrgicos)						
Investigación	Producto	Unidad Funcional	Reducción GEI vs. Desechable	Ahorro de Agua vs. Desechable	Reducción Residuos vs. Desechable	Hallazgo Clave
Vozzola et al. <sup>(1)</sup> , (2020)	Batas quirúrgicas	1000 usos	66 %	83 %	84 %	Marcada superioridad sistémica del reutilizable en 4/5 de las categorías de impacto.
Eckelman et al. <sup>(7)</sup> , (2024)	Cubiertas cama OR	50 usos	69,5 % de ahorro neto 45,16 Kg CO <sub>2</sub>	No especificado	No especificado	La extracción de materia prima del desechable es 10 veces más intensiva en carbono que en el reutilizable.
Alshqaqeeq et al. <sup>(6)</sup> (2021)	Revisión (varios)	Varía	Dependiente del ciclo	Dependiente del ciclo	Dependiente del ciclo	El punto de equilibrio o (N.º de ciclos) es el factor determinante para el beneficio ambiental.
McQuerry et al. <sup>(8)</sup> , (2021)	Trajes quirúrgicos	1 uso	Superior el reutilizable	Superior el desechable	Superior el reutilizable	El material algodón puede generar un alto impacto hídrico, superando con creces al desechable en esa categoría.

**Rediseño CEyE/Esterilización y Empaques: Blue Wrap vs. Contenedores Rígidos**

La Central de Esterilización y Equipamiento (CEyE) es el corazón de la economía circular en cualquier centro hospitalario, pero también una fuente significativa de ineficiencia y residuos. El empaque estéril predominante, conocido como blue wrap, alusivo a esa envoltura azul de polipropileno, es un producto plástico de un solo uso que genera miles de toneladas de residuos en los centros sanitarios anualmente. Ante esta problemática, la sustitución de esta envoltura por contenedores rígidos reutilizables, generalmente de aluminio o metal, constituye una intervención central de la EC.<sup>(13)</sup>

Friedericy et al.<sup>(14)</sup> señalan en su investigación que la evidencia ambiental de esta sustitución es clara. Al realizar un análisis de ciclo de vida comparativo, se demostró que los contenedores rígidos pueden reducir los residuos sólidos asociados hasta en un 88 % y disminuir las emisiones de GEI aproximadamente a la mitad, en comparación con el blue wrap.

Desde una perspectiva económica, la transición requiere una inversión de capital inicial (CAPEX) más alta para la adquisición de los contenedores. Sin embargo, los análisis de costos operativos (OPEX) proyectan ahorros sustanciales a largo plazo. Un estudio de caso hospitalario realizado por el Hospital Metropolitano de Toronto en Canadá estimó ahorros de hasta 233 000,00 USD en un período de diez años, derivados exclusivamente de la eliminación de la compra recurrente de blue wrap. Además, estos contenedores ofrecen ventajas adicionales, como una protección superior para el instrumental delicado, lo que reduce los costos de reparación y reposición, aunque este beneficio sea más difícil de cuantificar.<sup>(15)</sup>

No obstante, es importante considerar algunas investigaciones como la de Ly et al.<sup>(16)</sup> quienes,

junto a sus colaboradores, introducen una variable de optimización que resulta más impactante que la mera elección del contenedor: la configuración del set quirúrgico. Rizan et al.<sup>(17)</sup> en su estudio, modelaron la huella de carbono y los costos financieros en una CEyE, revelando que el principal impulsor de la ineficiencia ambiental y económica es el empaquetado individual de instrumentos. Este estudio encontró que los instrumentos empaquetados individualmente tenían la huella más alta (189 kg de CO<sub>2</sub> y 7,35 € por instrumento). Sorprendentemente, el análisis arrojó un resultado contraintuitivo: los sets quirúrgicos empaquetados en blue wrap de un solo uso (66 g de CO<sub>2</sub> y 1,07 €) tenían una huella de carbono ligeramente menor y un costo similar a los sets en contenedores rígidos reutilizables (77 g de CO<sub>2</sub> y 1,05 €).

Es menester destacar que este hallazgo no invalida los beneficios de los contenedores, especialmente en lo referente a la reducción de residuos plásticos, pero sí redefine la estrategia de implementación. Demuestra que el principal impulsor de la ineficiencia ambiental y económica en las CEyE no es fundamentalmente la elección entre wrap o contenedor, sino la práctica generalizada de empaquetar instrumentos individualmente y el sobredimensionamiento de los sets quirúrgicos.<sup>(18)</sup>

Los hospitales que se centran exclusivamente en la adquisición de contenedores rígidos están abordando el ODS 12 (residuos), pero pueden estar perdiendo la oportunidad de alcanzar una eficiencia mucho más significativa (ODS 9 y 13). La optimización de sets bajo un enfoque de Lean Six Sigma reduce los ciclos innecesarios de lavado y esterilización, ahorrando metros cúbicos de agua y kilovatios hora de energía por ciclo, independientemente del sistema de empaque.<sup>(19)</sup>

La agenda de investigaciones futuras en el sector gerencial sanitario debe modelar el impacto combinado de sets optimizados dentro de contenedores rígidos, midiendo su efecto en métricas operativas críticas como los tiempos de giro de quirófano y la incidencia de wet packs (paquetes húmedos), un área donde el control estadístico de procesos está notablemente ausente en la literatura.

### **Compras sostenibles y cadena de suministro**

La transición hacia una economía circular (EC) funcional depende intrínsecamente de la transformación de los departamentos de compras y la gestión de la cadena de suministro en las organizaciones sanitarias. Este cambio requiere que las decisiones de adquisición evolucionen del criterio tradicional y fuertemente arraigado del menor precio unitario hacia una evaluación basada en el costo total de propiedad (Total Cost of Ownership, TCO) y la incorporación de cláusulas ESG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza) en los procesos licitatorios.<sup>(20)</sup> Las métricas clave del éxito de las compras sostenibles deben incluir, además, el porcentaje de desvío de residuos del vertedero, un KPI (Key Performance Indicator) que puede ser predicho y verificado utilizando los datos de LCA.<sup>(21)</sup>

La adopción de EPP y contenedores reutilizables genera un desafío logístico complejo al transformar un problema lineal de gestión de residuos en un problema circular de logística inversa. Este nuevo modelo requiere de una cadena de suministro robusta y confiable para la recolección de artículos usados, su transporte seguro a lavanderías industriales o la CEyE, y el retorno del inventario reprocesado a los puntos de uso clínico.<sup>(22)</sup>

Leyva et al.<sup>(23)</sup>, en su investigación, identificaron algunas barreras significativas para implementar la economía circular en las cadenas de suministro sanitarias, entre las que destacan la falta de infraestructura logística, la necesidad de formación del personal y la resistencia de

los proveedores establecidos.

El eslabón más débil en esta cadena de suministro circular es la trazabilidad. Un sistema reutilizable es un activo que se degrada con el tiempo. Como se ha documentado, los procesos repetidos de lavado y esterilización con vapor afectan la integridad de la barrera de los textiles reutilizables.<sup>(24)</sup>

El hospital debe tener la capacidad de rastrear el número exacto de ciclos de reprocesamiento de cada bata o campo individual. Sin un sistema de trazabilidad digital robusto —ya sea que emplee tecnología RFID o códigos de matriz de datos— la organización sanitaria no puede garantizar que un textil sea retirado del servicio antes de que su barrera protectora falle, comprometiendo así la seguridad y vida del paciente (ODS 3). Es importante prestar atención al desarrollo y viabilidad de modelos TCO y LCA integrados directamente en las herramientas de licitación y adquisición, pero, sobre todo, en el análisis de la viabilidad técnico-económica de la trazabilidad digital (ODS 9) como un habilitador no negociable de la reutilización clínica segura.

### **Calidad y seguridad del paciente: IAAS y la Crítica al Estándar PB70**

El obstáculo más significativo para la adopción de textiles reutilizables no es ambiental ni económico, sino clínico y cultural. Existe una barrera de percepción profundamente arraigada entre el personal de quirófano. Un estudio sobre las actitudes del personal quirúrgico hacia las batas reutilizables encontró que, aunque el 77,6 % de ellos las percibía como mejores para el medio ambiente, un 34,1 % estaba inseguro o creía activamente que el uso de batas reutilizables aumentaría la tasa de infección del sitio quirúrgico (SSI), percepción que, independientemente de su base empírica, constituye una barrera formidable para la implementación.<sup>(25)</sup>

Es importante señalar que la hipótesis de trabajo predominante sobre control de infecciones es la no-inferioridad clínica. Directrices de organizaciones como la AORN (Association of Operating Room Nurses) y el ACS (American College of Surgeons), junto con estudios seminales, generalmente apoyan la seguridad de los textiles reutilizables siempre que sean procesados, inspeccionados y mantenidos de acuerdo con estándares rigurosos.<sup>(26)</sup>

Sin embargo, investigaciones como la de Liu et al.<sup>(27)</sup> no revelan nuevos estudios clínicos multicéntricos a gran escala que reconfirmen la no-inferioridad de los textiles reutilizables modernos frente a los desechables en métricas clave de infecciones asociadas a la atención de la salud (IAAS), como CLABSI (infección del torrente sanguíneo asociada a catéter venoso central), CAUTI (infección del tracto urinario asociada a catéter) o SSI.

El núcleo del problema de seguridad reside en el propio estándar de validación: la norma ANSI/AAMI PB70: Liquid barrier performance and classification of protective apparel and drapes intended for use in health care facilities, método utilizado en los Estados Unidos y referenciado globalmente para clasificar los textiles tanto desechables como reutilizables en cuatro niveles de protección contra líquidos.<sup>(28,29)</sup>

Haberland et al.<sup>(30)</sup> han demostrado que los métodos de prueba del PB70 (basados en AATCC TM42 y TM127) son fundamentalmente defectuosos y no simulan adecuadamente las condiciones clínicas reales. Las críticas son específicas:

- El líquido de prueba es agua, con una tensión superficial mucho más alta que fluidos corporales como sangre, saliva u orina, los cuales penetran más fácilmente.



- La temperatura de prueba oscila entre 26 °C y 28 °C, significativamente menor que la temperatura corporal.
- La definición de fallo en la prueba de presión hidrostática es la aparición de tres gotas en la superficie interna, ignorando las dos primeras, que ya representarían contaminación clínica.
- El estándar permite reportar promedios de un conjunto de muestras, ocultando fallos individuales que en clínica representarían una evidente brecha de seguridad.<sup>(31)</sup>

Este problema con el estándar PB70 afecta tanto a desechables como a reutilizables; sin embargo, su implicación es más grave para los reutilizables debido a una razón clave: el reprocesamiento repetido degrada la barrera del tejido. Si el estándar utilizado para certificar esa barrera es defectuoso, y el producto se degrada con cada ciclo, es lógico que la confianza del personal clínico en la integridad del textil tras 25, 50 o incluso 75 ciclos de lavado sea baja.

El principal obstáculo para la adopción clínica no es la evidencia de que los reutilizables causen infecciones, sino la falta de confianza en un sistema de validación que, en ocasiones, puede considerarse obsoleto. La agenda de investigación más urgente (ODS 3 y ODS 9) no es realizar otro LCA, sino desarrollar una versión más evolucionada —una suerte de PB70 2.0— que utilice fluidos corporales simulados, temperaturas realistas y una definición de fallo desde la primera gota, para validar la integridad de la barrera de manera clínicamente relevante.<sup>(32)</sup>

Tabla 10.2. Evaluación Crítica del Estándar ANSI/AAMI PB70 vs Condiciones Clínicas Reales			
Parámetro de Prueba (PB70)	Especificación Estándar (ANSI/AAMI)	Condición Clínica Real	Brecha de Seguridad / Implicación
Líquido de Prueba	Agua (Tensión superficial alta)	Fluidos corporales (ej. sangre, orina; tensión superficial baja)	Los fluidos reales pueden penetrar la barrera a presiones más bajas que el agua de prueba.
Temperatura de Prueba	26 °C a 28 °C	Temperatura corporal aproximada de 37 °C	El calor del paciente o del ambiente reduce considerablemente la tensión superficial y puede alterar las propiedades del material, facilitando la penetración.
Definición de Fallo (Hidrostática)	Aparición de la tercera gota de líquido.	Contaminación con la primera gota.	Las primeras dos gotas, que en efecto son fallos reales aparecen a presiones que son significativamente más bajas que el umbral de fallo reportado, creando una falsa sensación de seguridad.
Reporte de Resultados	Se permite el reporte de promedios del set de muestras.	El fallo de una sola bata es un evento de contaminación 100 %.	El promedio puede sobrepasar el estándar, aunque varias muestras individuales hayan fallado, ocultando el riesgo real para el usuario.
Fuente: Elaboración propia con base a Yap et al. <sup>(16)</sup> ; Haberland et al. <sup>(21)</sup> ; Kilinc- Balci; CDC <sup>(20)</sup> y ANSI <sup>(19)</sup> .			

Gobernanza y escalamiento: sroi, barreras y alineación ods para la calidad sanitaria

La transición de un modelo lineal a uno circular es, en última instancia, un desafío de gobernanza. Las barreras identificadas en la literatura son consistentes e incluyen la alta inversión de capital inicial (CAPEX) para adquirir inventarios de textiles reutilizables o contenedores rígidos, la resistencia cultural, la percepción de riesgo del personal,<sup>(25)</sup> y la falta de formación e implementación de protocolos claros para la nueva logística inversa.<sup>(23)</sup> Para superar estas barreras, la alta dirección hospitalaria requiere un business case que justifique la inversión más



allá de los simples ahorros en la compra de blue wrap o de los costos por instrumento.

Los modelos económicos tradicionales, como el análisis costo-beneficio (CBA) o el retorno de la inversión (ROI) simple, son insuficientes para este propósito.<sup>(31)</sup> Estos modelos fallan en capturar el valor holístico (social y ambiental) generado por la circularidad. El marco metodológico del Retorno Social de la Inversión (SROI) está diseñado precisamente para abordar esta brecha.<sup>(33)</sup> El SROI va más allá del ROI financiero para medir y monetizar el valor social, económico y ambiental creado para múltiples partes interesadas.<sup>(34)</sup> Este enfoque se ha utilizado con éxito en otras intervenciones de salud pública,<sup>(35)</sup> demostrando en algunos casos retornos sociales masivos, como una ratio de 36,08:1, es decir, 36,08 \$ de valor social creado por cada dólar invertido en proyectos de tratamientos médicos.

El SROI es el marco metodológico más idóneo para justificar la economía circular hospitalaria, pero, según la evidencia, aún no se ha aplicado sistemáticamente a la comparación de EPP reutilizables o al rediseño de CEyE. Es por ello que un CBA simple podría mostrar un ahorro modesto. En cambio, un análisis SROI (alineado con el ODS 17) capturaría co-beneficios monetizables cruciales como:

- el valor ambiental de las emisiones de carbono evitadas (ODS 13);
- el valor social de la creación de empleos locales sostenibles, no solo en el área médica, sino también en áreas como lavandería, logística o mantenimiento;
- el valor de resiliencia de la cadena de suministro al reducir la dependencia de importaciones volátiles (ODS 9); y
- el valor de salud pública derivado de la reducción de microplásticos y contaminantes químicos en el medio ambiente (ODS 3).

La agenda futura de la administración e innovación en salud hospitalaria debe, por tanto, aplicar el SROI para construir modelos robustos que demuestren a los consejos de administración y a los financiadores e inversionistas que la circularidad (EC) no es un simple costo de sostenibilidad, sino una inversión estratégica en valor holístico y resiliencia a largo plazo en beneficio de la humanidad.

## CONCLUSIONES

El avance hacia un modelo de gestión hospitalaria circular de calidad y resiliente parte de la evidencia que demuestra que la transición hacia EPP/textiles reutilizables y la optimización circular de la CEyE es ambientalmente superior al status quo desechable.<sup>(5,6,7,8,13,14,16,17,22)</sup> Asimismo, es económicamente viable, especialmente cuando la intervención se enfoca estratégicamente en la optimización de procesos como la racionalización de sets quirúrgicos<sup>(18,19,32)</sup> y no solo en la sustitución tecnológica con la compra de contenedores;<sup>(13,14,15)</sup> la evidencia económica, social y ambiental es, por tanto, profundamente robusta y suficiente para justificar la acción.<sup>(33,34,35)</sup>

El principal obstáculo y brecha crítica para sortear y que frena el escalamiento radica en la viabilidad clínica.<sup>(26)</sup> Por ello, es fundamental comprender que este obstáculo no se debe a la existencia de evidencia que demuestre daño, es decir, mayores tasas de SSI con reutilizables, sino que por el contrario, el obstáculo es una crisis de confianza que se origina en dos fuentes: la primera de ellas, representada por la percepción negativa y el escepticismo arraigado del personal clínico,<sup>(25)</sup> y la segunda, por una profunda y justificada desconfianza en los estándares de certificación de barrera,<sup>(28,29,30)</sup> la cual se ve exacerbada por el conocimiento fáctico de que los textiles reutilizables se degradan con el reprocesamiento.<sup>(24)</sup>

Las implicaciones para la gestión hospitalaria del siglo XXI son profundas. La administración debe evolucionar de una gestión de compras lineal, enfocada en el costo unitario, a una gestión de activos y riesgos, es decir, una gestión circular, enfocada en el TCO y el SROI.<sup>(20,21,31,33)</sup> Este nuevo enfoque de gobernanza enmarcado en el ODS 17 requiere de una integración sin precedentes entre departamentos tradicionalmente aislados como lo son: Calidad y seguridad del paciente, CEyE, control de infecciones, sostenibilidad (ESG) y suministros.

Se propone entonces una hoja de ruta para el escalamiento responsable y la investigación futura, en donde las acciones inmediatas, orientadas a mejorar la eficiencia de procesos, implementen programas de optimización y racionalización de sets quirúrgicos.<sup>(18,19,32)</sup> Esta acción (alineada con ODS 9) tiene el mayor potencial de ahorro de carbono y costos con la menor inversión de capital posible y la menor barrera clínica.

Las acciones a mediano plazo se enfocan en la trazabilidad e implementación de proyectos piloto de textiles reutilizables en áreas controladas, pero condicionados a la implementación de tecnología de trazabilidad robusta (RFID) para monitorear el número efectivo de ciclos de lavado y la integridad de la barrera de cada activo individual.<sup>(24)</sup>

Por último, las acciones urgentes se enfocan en llenar esos vacíos críticos que deben priorizar el desarrollo y validación de un estándar de prueba de barrera post-PB70 que sea clínicamente relevante, usando fluidos y temperaturas realistas, y una definición de fallo de primera gota;<sup>(28,29,30)</sup> y, por último, en la ejecución de estudios de Retorno Social de la Inversión (SROI) aplicados a la transición de EPP y CEyE, con el fin de cuantificar el valor holístico sostenible en lo económico, social y ambiental (ESG) necesario para justificar las inversiones de capital a nivel de gobernanza para el mejoramiento de los estándares de calidad en la prestación del servicio sanitario.<sup>(33,34,35)</sup>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vozzola E, Overcash M, Griffing E. An environmental analysis of reusable and disposable surgical gowns. *AORN J.* 2020;111(3):315-25. <https://doi.org/10.1002/aorn.12885>
2. Chang JH, Woo KP, Silva de Souza Lima Cano N, Bilec MM, Camhi M, Melnyk AI, et al. Does reusable mean green? Comparison of the environmental impact of reusable operating room bed covers and lift sheets versus single-use. *Surgeon.* 2024;22(4):236-41. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2024.05.003>
3. Vela Saavedra R, Coronel Alarcón A, Palomino Alvarado GP. Disposición final de residuos sólidos hospitalarios. *Cienc Latina Rev Cient Multidiscip.* 2021;5(3):2622-46. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.478](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.478)
4. Ventura-Abreu RL, Ortiz-Gil MÁ. Manejo de desechos hospitalarios e implicaciones: revisión sistemática de estudios durante y pospandemia de COVID-19. *J Sci MQRInvestigar.* 2024;8(4):4040-61. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.4.2024.4040-4061>
5. Burguburu A, Tanné C, Bosc K, Laplaud J, Roth M, Czyrnek-Deletre M. Comparative life cycle assessment of reusable and disposable scrub suits used in hospital operating rooms. *Clean Environ Syst.* 2021;4:100068. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100068>
6. Alshqaqeeq F, Griffing E, Twomey J, Overcash M. Comparing reusable to disposable products:

life cycle analysis metrics. *J Adv Manuf Process*. 2020;2:e10065. <https://doi.org/10.1002/amp2.10065>

7. Eckelman MJ, Weisz U, Pichler PP, Sherman JD, Weisz H. Guiding principles for the next generation of health-care sustainability metrics. *Lancet Planet Health*. 2024;8(8):e603-9. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00159-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00159-1)

8. McQuerry M, Easter E, Cao A. Disposable versus reusable medical gowns: a performance comparison. *Am J Infect Control*. 2021;49(5). <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.10.013>

9. Toronto Metropolitan University. The hidden cost of hospital sterilization: finding a greener, smarter solution. 2025 Feb 18. <https://www.torontomu.ca/environmental-applied-science-management/news-events/2025/02/enscimanblog-gina-vaccaro/>

10. Friedericy HJ, Van Egmond CW, Vogtländer JG, Van der Eijk AC, Jansen FW. Reducing the environmental impact of sterilization packaging for surgical instruments in the operating room: a comparative life cycle assessment of disposable versus reusable systems. *Sustainability*. 2022;14(1):430. <https://doi.org/10.3390/su14010430>

11. Ly JA, Wang WL, Liss FE, Ilyas AM, Jones CM. Comparative cost analysis of single-use sterile versus reprocessed distal radius volar plate sets. *Arch Bone Jt Surg*. 2022;10(5):420-5. <https://doi.org/10.22038/ABJS.2021.57852.2872>

12. Rizan C, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF. Minimising carbon and financial costs of steam sterilisation and packaging of reusable surgical instruments. *Br J Surg*. 2022;109(2):200-10. <https://doi.org/10.1093/bjs/znab406>

13. Eussen MMM, Logghe E, Bluiminck S, Comes DJ, Kimman ML, Essers BAB, et al. Reducing surgical instrument usage: systematic review of approaches for tray optimization and its advantages on environmental impact, costs and efficiency. *BJS Open*. 2025;9(3):zraf030. <https://doi.org/10.1093/bjsopen/zraf030>

14. McDermott O, Antony J, Bhat S, Jayaraman R, Rosa A, Marolla G, et al. Lean Six Sigma in healthcare: a systematic literature review on motivations and benefits. *Processes*. 2022;10(10):1910. <https://doi.org/10.3390/pr10101910>

15. Rothrock J. Alexander's care of the patient in surgery. 17th ed. Elsevier; 2023.

16. Yap A, Wang K, Chen E, Melhado C, Ahmad T, O'Sullivan P, et al. A mixed-methods study on end-user perceptions of transitioning to reusable surgical gowns. *Surg Open Sci*. 2022;11:33-9. <https://doi.org/10.1016/j.sopen.2022.10.003>

17. Rezaei AR, Zienkiewicz D, Rezaei AR. Surgical site infections: a comprehensive review. *J Trauma Inj*. 2025;38(2):71-81. <https://doi.org/10.20408/jti.2025.0019>

18. Liu CQ, Ren HF, Wang C, Li J, Tang L, An JJ, et al. Novel designed surgical drapes reducing fluid permeability in the surgical critical area of a sterile operation interface: a randomized controlled trial. *J Nurs Manag*. 2023;2023:9295307. <https://doi.org/10.1155/2023/9295307>

19. American National Standards Institute; Association for the Advancement of Medical Instrumentation. ANSI/AAMI PB70:2022. Liquid barrier performance and classification of protective apparel and drapes intended for use in health care facilities. AAMI; 2022.
20. Centers for Disease Control and Prevention. NIOSH personal protective equipment information (PPE-Info). 2024 Feb 21. <https://wwwn.cdc.gov/PPEInfo/Standards/Info/ANSI/AAMIPB70>
21. Haberland K, Miller J, Davis J, Mutunga M, Suggs J. Evaluating disposable isolation gown liquid barrier test methods for relevance to healthcare. *Biomed Instrum Technol*. 2025. <https://doi.org/10.2345/0899-8205-59.1.108>
22. Killinc-Balci FS. Investigation of the barrier performance of disposable isolation gowns. *Am J Infect Control*. 2023;52(12). <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.09.003>
23. Džajić Uršić E, Fric U, Rončević B. The circular economy: recent debates and research trends. *J Infrastruct Policy Dev*. 2024;8(3):2855. <http://dx.doi.org/10.24294/jipd.v8i3.2855>
24. Leyva S, Pancorbo J. Implementación de la economía circular en la gestión de la cadena de suministro: un análisis bibliométrico. *Región Científica*. 2024;3(2):2024315. <https://doi.org/10.58763/rc2024315>
25. Saha K, Farhanj Z, Kumar V. A systematic review of circular economy literature in healthcare: transitioning from a post-waste approach to sustainability. *J Clean Prod*. 2025;505:145427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145427>
26. Barrutia J, Echebarria C. Effect of the COVID-19 pandemic on public managers' attitudes toward digital transformation. *Technol Soc*. 2021;67:101776. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101776>
27. Martínez Castuera-Gómez C. Reflexión y oportunidad: economía circular y salud en el sector público mexicano. *Rev Med IMSS*. 2025;63(3):e6654. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15178438>
28. Bahk MS. Smart sterilization container technology: blue wrap innovation. *J Orthop Exp Innov*. 2024;5(1). <https://doi.org/10.60118/001c.87966>
29. Agudelo Alzate SM, Díaz Cano MJ, Ocampo del Río C, Correa-García JA. Relación entre criterios ESG y el costo de capital en empresas latinoamericanas pertenecientes a los Dow Jones Sustainability Index. *Rev Univ Empresa*. 2024;27(48):1-33. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.14241>
30. El Haouat Z, Essalih S, Bennouna F, Amegouz D. Development of a global framework for an integrated life cycle assessment (LCA) model in quality, safety and environmental (QSE) management systems. *Sustainability*. 2025;17(8):3521. <https://doi.org/10.3390/su17083521>
31. Orellana K, Samsi K. Day centres resources hub. NIHR ARC South London; NIHR Policy Research Unit on Health and Social Care Workforce; 2024. <https://doi.org/10.18742/pub01-174>

32. Turner HC, Hori Y, Revill P, Rattanavipapong W, Arai K, Nonvignon J, et al. Analyses of the return on investment of public health interventions: a scoping review and recommendations for future studies. *BMJ Glob Health*. 2023;8(8):e012798. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2023-012798>

33. Jones L, Abdelgawad M, Bellis M. Identifying policy options to tackle health inequalities: policy analysis and opportunities for learning for Wales. Liverpool John Moores University; 2025. <https://phwwhocc.co.uk/adnoddau/identifying-policy-options-to-tackle-health-inequalities/>

34. Yoon S, Watts E, Constenla D, Brenzel D, Patenaude B. Return on investment from immunization against 10 pathogens in 94 low- and middle-income countries, 2011-2030. *Health Aff (Millwood)*. 2020;39(8). <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.00103>

35. Verdezoto Espinoza EM, Chiliquinga Guerra DA, Enriquez Illanes LI, Vallejo Tixi JF. Evaluación del impacto ambiental de los residuos de los equipos de protección industrial: revisión sistemática postpandemia. *Conciencia Digital*. 2024;7(2):91-107. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i2.2991>

## **FINANCIACIÓN**

Ninguna.

## **CONFLICTO DE INTERESES**

Ninguno.

## **CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA**

*Conceptualización:* Carelys Suescum Coelho, Car-Emyr Suescum Coelho, Carluys Suescum Coelho.

*Análisis formal:* Carelys Suescum Coelho, Car-Emyr Suescum Coelho, Carluys Suescum Coelho.

*Investigación:* Carelys Suescum Coelho, Car-Emyr Suescum Coelho, Carluys Suescum Coelho.

*Metodología:* Carelys Suescum Coelho, Car-Emyr Suescum Coelho, Carluys Suescum Coelho.

*Redacción - borrador original:* Carelys Suescum Coelho, Car-Emyr Suescum Coelho, Carluys Suescum Coelho.

*Redacción - revisión y edición:* Carelys Suescum Coelho, Car-Emyr Suescum Coelho, Carluys Suescum Coelho.