GRHTA
Glob Reg Health Technol Assess 2025; 10: 29-33
ISSN 2283-5733 | DOI: 10.33393/grhta.2025.3399
POINT OF VIEW

Verso un Green Health Technology Assessment: il ruolo del Life Cycle Assessment per scelte sanitarie più sostenibili

Michela Bobini[1,2], **Eugenio Di Brino**[1,3], **Americo Cicchetti**[4,5]

[1]ALTEMS, Alta Scuola di Economia e Management dei Servizi Sanitari, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma - Italy
[2]CeRGAS, Centre for Research on Health and Social Care Management, SDA Bocconi, Milano - Italy
[3]ALTEMS Advisory Spin-off, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma - Italy
[4]Dipartimento di scienze dell'economia e della gestione aziendale, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma - Italy
[5]Direzione generale della programmazione sanitaria, Ministero della Salute - Italy

Towards a Green Health Technology Assessment: embedding Life Cycle Assessment for sustainable choices

The healthcare sector significantly contributes to global greenhouse gas emissions. Among the various strategies available, exploring the integration of environmental sustainability into Health Technology Assessment (HTA) presents a potential avenue for addressing these impacts. The HTA Core Model, widely utilized by European HTA agencies, evaluates healthcare technologies across nine domains; however, environmental considerations remain peripheral and are primarily confined to certain safety-related aspects. This paper examines the potential role of Life Cycle Assessment (LCA) in complementing HTA to better address environmental impacts. LCA offers a systematic methodology to evaluate environmental effects across the full lifecycle of a product, from raw material extraction to disposal. Through the analysis of pharmaceuticals, telemedicine, and surgical practices, the study identifies critical environmental impacts at various lifecycle stages, illustrating how LCA could support more informed and sustainable decision-making in healthcare. These findings underscore the diverse environmental impacts associated with healthcare technologies and highlight the need for tailored strategies to mitigate them. This point of view emphasizes the importance of initiating discussions on developing a framework to incorporate environmental impacts into HTA systematically, promoting healthcare decisions that prioritize both human and environmental healths.

Keywords: Environmental sustainability, Health Technology Assessment (HTA), HTA Core Model, Life Cycle Assessment (LCA)

Introduzione

Il concetto di sostenibilità si riferisce alla capacità di mantenere e preservare le risorse naturali, sociali ed economiche per garantire il benessere delle generazioni presenti e future. La sostenibilità implica un equilibrio tra la crescita economica, la tutela dell'ambiente e la giustizia sociale. Storicamente si è a lungo trascurata la sostenibilità ambientale, che si concentra sulla protezione degli ecosistemi e delle risorse naturali (1,2). A oggi, il cambiamento climatico destabilizza le fondamenta della salute umana e dei sistemi sanitari, sia direttamente, attraverso eventi meteorologici estremi, insicurezza alimentare e malattie infettive, sia indirettamente, con l'innalzamento del mare, migrazioni forzate e conflitti (3). Questo fenomeno aumenta la domanda sanitaria, minaccia infrastrutture e catene di approvvigionamento e mette a rischio il personale sanitario. I danni, gravi e distribuiti in modo diseguale, richiedono risposte urgenti focalizzate su adattamento, mitigazione e gestione delle perdite per proteggere la salute e i sistemi sanitari (4). In questo contesto, la sostenibilità dei sistemi sanitari rappresenta un obiettivo rilevante poiché essi sono considerati responsabili del 4-5% delle emissioni di gas serra a livello mondiale (5). Tra le varie leve a disposizione, il settore sanitario fa ampio ricorso all'*Health Technology Assessment* (HTA), di recente divenuto Regolamento (UE) 2021/2282 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 15 dicembre 2021 relativo alla valutazione delle tecnologie sanitarie, per assicurarsi che gli investimenti economici in nuovi farmaci, dispositivi medici o modelli di assistenza siano giustificati rispetto ai benefici attesi per la salute dei pazienti (6). Già in precedenza, *EUnetHTA* (*European Network for Health Technology Assessment*) aveva elaborato l'*HTA Core Model*, un *framework* che fornisce alle agenzie europee e internazionali una metodologia uniforme per la

Received: November 25, 2024
Accepted: January 23, 2025
Published online: February 14, 2025

Indirizzo per la corrispondenza:
Michela Bobini
email: michela.bobini@unicatt.it

© 2025 The Authors. This article is published by AboutScience and licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).
Commercial use is not permitted and is subject to Publisher's permissions. Full information is available at www.aboutscience.eu

valutazione delle tecnologie sanitarie, migliorando la qualità e la comparabilità delle analisi condotte nei vari Stati Membri. Tale *framework* valuta l'innovazione secondo 9 diverse prospettive (o domini): efficacia clinica, sicurezza e aspetti economici, etici, organizzativi, sociali, legali e legati al paziente e all'uso della tecnologia. Tra questi, i primi 4 corrispondono alla dimensione clinica mentre gli ultimi 5 alla dimensione non clinica. È plausibile che la dimensione ambientale non sia stata inclusa nel *Core Model* di *EUnetHTA* (2006-2008) poiché, all'epoca, le questioni ambientali non erano ancora centrali nel dibattito pubblico e politico, né considerate prioritarie rispetto ai benefici clinici e agli impatti economici. A oggi, estendere il numero di fattori presi in considerazione nell'HTA consentirebbe di ottimizzare i risultati in termini non solo di salute ma anche di benessere sociale, migliorando in modo significativo il valore complessivo offerto dai sistemi sanitari (6-8). Le evidenze attualmente disponibili sugli approcci per integrare gli impatti ambientali nei modelli di valutazione dell'*Health Technology Assessment* (HTA) risultano ancora limitate (9, 10). Tuttavia, la prospettiva offerta dal *Life Cycle Assessment* (LCA) per la misurazione degli impatti ambientali si presenta come una metodologia consolidata, emergendo con rilevanza nel dibattito accademico, incluso quello sanitario (6,8,9). Il presente *point of view* si focalizza sull'approccio LCA, per aprire una riflessione rispetto alla considerazione degli aspetti ambientale all'interno dei processi HTA.

Lo stato dell'arte

HTA Core Model

I modelli di HTA sono spesso strutturati in base a diversi domini, che a loro volta sono articolati in specifici *topic* e *issue*. L'*HTA Core Model* è un *framework* metodologico sviluppato per armonizzare e rendere più sistematico il processo di HTA in Europa, permettendo la valutazione delle tecnologie sanitarie in modo strutturato e multidimensionale e integrando i vari aspetti che ne influenzano l'adozione e l'implementazione nei sistemi sanitari. Come anticipato, il modello è organizzato in 9 domini principali e ognuno di questi è costituito da una serie di questioni chiave, che guidano gli esperti nella raccolta e nella valutazione delle evidenze disponibili. Questo approccio favorisce una valutazione comprensiva e standardizzata, capace di informare decisioni basate sull'evidenza a livello locale, nazionale e transnazionale, facilitando il confronto tra tecnologie sanitarie in diversi contesti e promuovendo la trasparenza e la replicabilità delle valutazioni. In questo *framework*, gli impatti ambientali sono solo accennati in due temi relativi al dominio della sicurezza, nello specifico: "*Quali rischi per il pubblico e per l'ambiente possono derivare dall'uso della tecnologia?*" e "*Come è possibile ridurre i rischi per la sicurezza dell'ambiente?*". Alla luce di ciò, si pone il tema di come sia più opportuno integrare gli impatti ambientali nei processi di HTA, per esempio sviluppando un dominio separato dedicato oppure integrando tali impatti trasversalmente nei diversi domini, attraverso la creazione di temi specifici. Sicuramente la prima prospettiva, per la natura della classificazione dei domini, rientrerebbe tra i domini non clinici, che, in conformità con il Regolamento Europeo sull'HTA, ricadono sotto la competenza dei singoli Stati Membri.

Il Life Cycle Assessment e gli impatti ambientali

Come sottolineato nell'introduzione, l'approccio fornito dal *Life Cycle Assessment* (LCA) prevale nel dibattito accademico, per la misurazione degli impatti ambientali. Le emissioni di anidride carbonica (CO_2) rappresentano l'aspetto ambientale più frequentemente discusso, costituendo circa il 75% dei gas serra (GHG) a livello globale. Di conseguenza, la CO_2 viene spesso utilizzata come unità di misura equivalente (CO_2e), che consente di confrontare le emissioni di diversi GHG in base al loro potenziale di riscaldamento globale (11-13). In ambito sanitario, emergono due principali tecniche (8,6). La prima, l'*Environmentally Extended Input-Output Analysis* (EEIOA), o analisi *input-output* estesa ambientalmente, è una metodologia consolidata utilizzata in vari settori. Questo approccio *top-down* si basa su tabelle *input-output* economiche specifiche di un Paese per stimare le emissioni di carbonio medie per unità di *output* prodotto in un determinato settore, offrendo stime aggregate e sistematiche (8). La seconda tecnica, *Process-based Life Cycle Assessment* (P-LCA), o analisi del ciclo di vita basata sui processi, adotta un approccio *bottom-up* più granulare (6). Questa metodologia consente di stimare le emissioni a un livello dettagliato, considerando ciascuna attività svolta all'interno dei processi interconnessi lungo la catena del valore, inclusi le fasi di utilizzo delle materie prime e il consumo energetico. Sebbene la tecnica P-LCA sia più precisa, presenta come limite la necessità di disporre di una grande quantità di dati. In generale, il LCA è uno strumento utilizzato in molti settori e sebbene sia considerato un approccio esaustivo per analizzare gli impatti ambientali (14,15), la sua applicazione completa è spesso limitata dalla carenza di dati granulari. Questo porta a concentrare l'analisi solo su fasi specifiche del ciclo di vita per le quali sono disponibili dati sufficienti. L'interesse per il LCA è aumentato rapidamente negli anni '90, periodo in cui apparvero le prime pubblicazioni scientifiche rilevanti (16). Da quel momento, si è assistito a un notevole progresso e a un'armonizzazione della metodologia, culminati nella creazione di uno standard internazionale (ISO, 2006 a, b) (15), che fornisce Linee Guida dettagliate per l'analisi del ciclo di vita, definendo i principi, i requisiti e la struttura generale per valutare gli impatti ambientali di un prodotto, di un processo o di un servizio. Diverse iniziative internazionali sono state avviate con l'obiettivo di promuovere un consenso e di fornire raccomandazioni, tra cui quelle promosse dalla Commissione Europea che ha proposto il metodo *Product Environmental Footprint* (PEF) come approccio comune per misurare le prestazioni ambientali (Raccomandazione della Commissione Europea 2021/2279). Il PEF è un metodo basato sul LCA per quantificare gli impatti ambientali di prodotti (beni o servizi). L'obiettivo principale delle informazioni fornite dal PEF è ridurre gli impatti ambientali di beni e servizi, tenendo conto delle attività lungo l'intera catena di approvvigionamento.

© 2025 The Authors. Global & Regional Health Technology Assessment - ISSN 2283-5733 - www.aboutscience.eu/grhta

Applicazione della metodologia del LCA a una tecnologia sanitaria

Si propone una riflessione circa l'applicazione del *Life Cycle Assessment* (LCA) alle tecnologie sanitarie, con l'intento di alimentare il dibattito circa l'integrazione degli aspetti ambientali in aggiunta a quelli già previsti nell'*HTA Core Model*. In particolare, gli Autori hanno costruito una matrice di analisi, mettendo in riga le fasi minime del ciclo di vita identificate dal PEF e in colonna alcune tecnologie sanitare tipicamente valutate nell'ambito di un processo di HTA. Nello specifico, le fasi del ciclo di vita includono: i) acquisizione delle materie prime e pre-lavorazione, comprendente la produzione di parti e componenti; ii) fabbricazione del prodotto principale; iii) distribuzione, che include distribuzione e stoccaggio dei prodotti; iv) uso del prodotto; v) fine vita, che contempla la dismissione o il riciclaggio dei prodotti. Le tecnologie considerate in colonna invece sono: farmaci, telemedicina e *device* medici. Sulla base di questa matrice, sono stati esaminati e comparati alcuni articoli pubblicati nel *repository Healthcare* LCA (17), che raccoglie studi relativi alla misurazione degli impatti ambientali delle tecnologie sanitarie. Gli articoli selezionati dagli Autori dovevano concentrarsi sugli impatti ambientali di tecnologie sanitarie specifiche (farmaci, telemedicina e *device* medici) e includere analisi dettagliate sulle fasi del ciclo di vita (per esempio, fabbricazione, distribuzione, uso, fine vita). Lo scopo è quello di stimolare una riflessione sui momenti chiave del ciclo di vita da considerare e sugli specifici impatti ambientali.

La Tabella 1 evidenzia come le diverse fasi del PEF siano più o meno rilevanti, in termini di impatti ambientali, rispetto alla tecnologia oggetto di analisi. La rilevanza delle diverse fasi del ciclo di vita delle tecnologie analizzate è stata determinata in base all'entità degli impatti ambientali, positivi o negativi, come documentato nei *paper* selezionati. Le categorie di valutazione, "molto rilevante", "moderatamente rilevante" e "poco rilevante", riflettono il grado di impatto attribuito a ciascuna fase, calcolato mediante indicatori quali le emissioni di CO_2 equivalente, il consumo energetico e l'utilizzo di risorse. In altre parole, una fase caratterizzata da un impatto ambientale più significativo, sia esso migliorativo o peggiorativo, viene considerata più rilevante nella valutazione complessiva. Nella fase di acquisizione delle materie prime e pre-lavorazione, i farmaci risultano particolarmente impattanti a causa dell'uso intensivo di materie prime e di solventi durante la sintesi chimica dei principi attivi. Parvatker (18) e Cespi (19) dimostrano come questa fase comporti un significativo consumo energetico e alti livelli di emissioni di CO_2. Al contrario, nella telemedicina, questa fase è meno rilevante, poiché l'impatto ambientale deriva principalmente dalla produzione di dispositivi elettronici, un processo comunque importante ma secondario rispetto all'utilizzo (20,21). Nei *device*, la fase di estrazione dei materiali per gli strumenti monouso, come evidenziato da Chang (22) e Donahue (23), è cruciale, in quanto comporta elevati costi energetici e una maggiore impronta di carbonio.

TABELLA 1 - La rilevanza in termini ambientali delle fasi del *life cycle assessment* rispetto alle diverse tipologie di tecnologie oggetto di analisi

Fasi del PEF	Farmaci	Telemedicina	*Device* medici
1. Acquisizione delle materie prime e pre-lavorazione	**Molto rilevante**: L'estrazione di solventi e materiali sintetici, così come la produzione chimica complessa, generano alte emissioni di CO_2 (18,19,24).	**Moderatamente rilevante**: I dispositivi elettronici per la telemedicina richiedono un utilizzo di risorse limitate, durante la loro produzione (20,21).	**Molto rilevante**: L'estrazione e la produzione di materiali per strumenti chirurgici monouso comportano elevati impatti ambientali (22,23).
2. Fabbricazione del prodotto principale	**Molto rilevante**: La fabbricazione di farmaci richiede molta energia. Gli inalatori, per esempio, utilizzano gas HFC, contribuendo al riscaldamento globale (18,25).	**Rilevante**: La produzione di infrastrutture di rete e di dispositivi elettronici per la telemedicina comporta degli impatti ambientali (20,21).	**Rilevante**: La fabbricazione di strumenti chirurgici comporta elevate emissioni, specialmente per i prodotti monouso (22,23).
3. Distribuzione e stoccaggio dei prodotti	**Moderatamente rilevante**: Il trasporto e lo stoccaggio dei farmaci richiedono risorse significative e generano emissioni (18,19).	**Poco rilevante**: La fase di distribuzione e fornitura dei dispositivi elettronici è considerata meno impattante rispetto ad altre fasi (26).	**Moderatamente rilevante**: La distribuzione di strumenti chirurgici contribuisce all'impatto ambientale in funzione del peso e della distanza percorsa (23).
4. Uso del prodotto	**Moderatamente rilevante**: L'uso di farmaci come gli inalatori comporta emissioni di gas serra (HFC). Gli impatti variano a seconda del tipo di farmaco (13,25).	**Molto rilevante**: La telemedicina riduce drasticamente le emissioni legate agli spostamenti dei pazienti. L'impatto è misurato nei Km risparmiati (20,21,26).	**Rilevante**: L'uso di gas anestetici e l'energia necessaria in sala operatoria, per l'impianto dei *device* medici, contribuiscono in modo significativo (27,28).
5. Fine vita (recupero o riciclaggio)	**Molto rilevante**: Lo smaltimento degli imballaggi dei farmaci, specialmente PVC e alluminio, rappresenta una sfida ambientale (13,24).	**Moderatamente rilevante**: I dispositivi elettronici usati per la telemedicina rappresentano una sfida per il riciclaggio (20,26).	**Molto rilevante**: Lo smaltimento di strumenti monouso tramite incenerimento o discarica genera elevate emissioni. Gli strumenti riutilizzabili riducono i rifiuti ma richiedono energia per la sterilizzazione (22,23).

© 2025 The Authors. Published by AboutScience - www.aboutscience.eu

Durante la fabbricazione del prodotto principale, i farmaci, in particolare gli inalatori e gli anestetici, continuano a essere una fonte significativa di impatti ambientali. Alcuni studi (18,25) mostrano come la produzione e il confezionamento dei farmaci generino elevate emissioni di CO_2, soprattutto per i prodotti che utilizzano propellenti ad alto potenziale di riscaldamento globale. Nella telemedicina, la produzione di dispositivi elettronici è una fase rilevante dal punto di vista ambientale, in quanto i processi di assemblaggio richiedono materiali energivori e generano emissioni considerevoli (20). Nel contesto dei *device* medici, Donahue (23) e Yang (28) evidenziano che la fabbricazione di strumenti chirurgici monouso, in particolare quelli realizzati in plastica, rappresenta una fase ad alto impatto ambientale, soprattutto in termini di emissioni di CO_2, rispetto agli strumenti riutilizzabili. In particolare, vengono analizzati gli impatti associati alle cuffie utilizzate dall'equipe chirurgica, che possono essere monouso o riutilizzabili, e ai dispositivi per la gestione delle vie aeree, come maschere e tubi endotracheali.

La fase di distribuzione e stoccaggio ha un impatto moderato per i farmaci, poiché il trasporto, anche se rilevante, contribuisce in misura inferiore rispetto alla produzione (18,19). Nei *device*, sebbene la distribuzione degli strumenti abbia un impatto, esso risulta inferiore rispetto ad altre fasi, come sottolineato da Donahue (23). Lo stesso vale per la telemedicina.

La fase di uso del prodotto assume un'importanza centrale per la telemedicina, poiché l'assenza di viaggi fisici dei pazienti riduce drasticamente le emissioni legate al trasporto; il consumo di energia durante le visite virtuali rappresenta una fonte di emissioni che rimane tuttavia limitata (20,21). Nei farmaci, l'uso è particolarmente rilevante per gli inalatori, che rilasciano gas serra durante l'uso (13,25). Nei *device* medici, i gas anestetici e il consumo energetico nelle sale operatorie sono i principali responsabili delle emissioni (27,28).

Infine, nella fase di fine vita, i farmaci, in particolare gli imballaggi in PVC e alluminio, rappresentano una sfida significativa in termini di smaltimento e riciclaggio (13,24). I dispositivi elettronici utilizzati per la telemedicina presentano difficoltà per il riciclaggio e lo smaltimento, ma con un impatto inferiore rispetto agli strumenti monouso chirurgici (20). Per i *device* medici, il fine vita degli strumenti monouso è una fase altamente impattante, in quanto lo smaltimento tramite incenerimento genera emissioni notevoli, mentre gli strumenti riutilizzabili riducono la quantità di rifiuti ma richiedono risorse per la sterilizzazione (22,23).

In sintesi, i risultati fanno emergere come gli impatti ambientali varino significativamente a seconda della tecnologia sanitaria analizzata, con ciascuna fase del ciclo di vita che presenta sfide e opportunità specifiche per la riduzione delle emissioni e degli impatti ambientali complessivi.

Conclusioni

Le analisi evidenziano come ogni tecnologia sanitaria presenti determinanti ambientali unici, che richiedono approcci mirati per la riduzione dell'impatto ambientale. I farmaci, specialmente quelli che utilizzano processi chimici complessi e materiali di confezionamento ad alta intensità, mostrano un'impronta significativa nelle fasi di acquisizione delle materie prime, di fabbricazione e di smaltimento. Al contrario, la telemedicina rappresenta un'opportunità per ridurre drasticamente le emissioni legate al trasporto. Per i *device* medici, il principale contributo alle emissioni proviene dalla produzione e dallo smaltimento di strumenti monouso, con notevoli impatti anche nell'uso di gas anestetici e nel mantenimento delle condizioni operative. Queste differenze sottolineano l'importanza di un approccio specifico e settoriale nell'adozione di strategie di mitigazione degli impatti ambientali, integrando strumenti come il PEF nelle valutazioni di tecnologie sanitarie per promuovere pratiche più sostenibili nel settore sanitario. Tuttavia, due delle principali sfide emerse riguardano la limitata disponibilità di dati e la difficoltà di ricondurre gli impatti ambientali a specifiche tecnologie, problematiche che ostacolano una valutazione completa e accurata. Alla luce di queste riflessioni, partire dall'*HTA Core Model* appare auspicabile per ampliare una metodologia condivisa che possa evolvere al fine di integrare la valutazione dell'impatto ambientale, offrendo un processo trasparente e comprensibile. Questo approccio è particolarmente rilevante in un contesto in cui i sistemi sanitari sono sempre più chiamati ad adottare nuove tecnologie, spesso associate a costi elevati, e a prendere decisioni rapide. Sebbene il *framework* delineato in questo lavoro consideri solo alcuni aspetti, il dibattito sull'integrazione della prospettiva ambientale nell'HTA continuerà sicuramente nei prossimi anni, data la complessità delle connessioni e dei criteri di misurazione da includere nel processo di valutazione.

Disclosures

Conflict of interest: The Authors declare no conflict of interest.

Financial support: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Bibliografia

1. Goodland R. The Concept of Environmental Sustainability. Annu Rev Ecol Syst. 1995;26(1):1-24. CrossRef
2. Goodland R, Daly H. Environmental Sustainability: universal and Non-Negotiable. Ecol Appl. 1996;6(4):1002-1017. CrossRef
3. WHO. Countries commit to develop climate-smart health care at COP26 UN climate conference. In 2021. Online (Accessed November 2024)
4. Howard C, MacNeill AJ, Hughes F, et al. Learning to treat the climate emergency together: social tipping interventions by the health community. Lancet Planet Health. 2023;7(3): e251-e264. CrossRef PubMed
5. Pichler PP, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H. International comparison of health care carbon footprints. Environ Res Lett. 2019;14(6):064004. CrossRef
6. McAlister S, Morton RL, Barratt A. Incorporating carbon into health care: adding carbon emissions to health technology assessments. Lancet Planet Health. 2022;6(12):e993-e999. CrossRef PubMed
7. Schuitmaker-Warnaar TJ, Fruytier S, Gunn C. OP80 'Green Metrics' – Incorporating Environmental Dimensions In Health Technology Assessment. Int J Technol Assess Health Care. 2022;38(S1):S30-S30. CrossRef

© 2025 The Authors. Global & Regional Health Technology Assessment - ISSN 2283-5733 - www.aboutscience.eu/grhta

8. Marsh K, Ganz M, Nørtoft E, Lund N, Graff-Zivin J. Incorporating Environmental Outcomes into a Health Economic Model. Int J Technol Assess Health Care. 2016;32(6):400-406. CrossRef PubMed
9. Polisena J, De Angelis G, Kaunelis D, Gutierrez-Ibarluzea I. Environmental Impact Assessment of a Health Technology: A Scoping Review. Int J Technol Assess Health Care. 2018;34(3):317-326. CrossRef PubMed
10. Bobini M, Cicchetti A. Integrating environmental sustainability into health technology assessment: an international survey of HTA stakeholders. Int J Technol Assess Health Care. 2024;40(1):e64. CrossRef PubMed
11. Desterbecq C, Tubeuf S. Inclusion of environmental spillovers in applied economic evaluations of healthcare products: A scoping review. Value Health. 2023;26(8):1270-1281. CrossRef
12. Pekarsky BAK. The inclusion of comparative environmental impact in health technology assessment: practical barriers and unintended consequences. Appl Health Econ Health Policy. 2020;18(5):597-599. CrossRef PubMed
13. Ortsäter G, Borgström F, Baldwin M, Miltenburger C. Incorporating the environmental impact into a budget impact analysis: the example of adopting RESPIMAT® re-usable inhaler. Appl Health Econ Health Policy. 2020;18(3):433-442. CrossRef PubMed
14. Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. J Environ Manage. 2009;91(1):1-21. CrossRef PubMed
15. ISO International Organization for Standardization. ISO 14040: 2006 Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. Online (Accessed November 2024)
16. Guinée J, Heijungs R. A proposal for the classification of toxic substances within the framework of life cycle assessment of products. Chemosphere. 1993;26(10):1925-1944. CrossRef
17. Drew J, Christie SD, Rainham D, Rizan C. HealthcareLCA: an open-access living database of health-care environmental impact assessments. Lancet Planet Health. 2022;6(12): e1000-e1012. CrossRef PubMed
18. Parvatker AG, Tunceroglu H, Sherman JD, et al. Cradle-to-Gate Greenhouse Gas Emissions for Twenty Anesthetic Active Pharmaceutical Ingredients Based on Process Scale-Up and Process Design Calculations. ACS Sustain Chem& Eng. 2019;7(7):6580-6591. CrossRef
19. Cespi D, Beach ES, Swarr TE, et al. Life cycle inventory improvement in the pharmaceutical sector: assessment of the sustainability combining PMI and LCA tools. Green Chem. 2015;17(6):3390-3400. CrossRef
20. Lokmic-Tomkins Z, Davies S, Block LJ, et al. Assessing the carbon footprint of digital health interventions: a scoping review. J Am Med Inform Assoc. 2022;29(12):2128-2139. CrossRef PubMed
21. Savoldelli A, Landi D, Rizzi C. Exploring the Environmental Impact of Telemedicine: A Life Cycle Assessment. In: Hayn D, Pfeifer B, Schreier G, Baumgartner M, eds. Studies in Health Technology and Informatics. [Internet] IOS Press; 2024. Online (Accessed November 2024)
22. Chang JH, Woo KP, Silva de Souza Lima Cano N, 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):236-241. CrossRef PubMed
23. Donahue LM, Petit HJ, Thiel CL, Sullivan GA, Gulack BC, Shah AN. A Life Cycle Assessment of Reusable and Disposable Surgical Caps. J Surg Res. 2024;299:112-119. CrossRef PubMed
24. Sharma RK, Sarkar P, Singh H. Assessing the sustainability of a manufacturing process using life cycle assessment technique—a case of an Indian pharmaceutical company. Clean Technol Environ Policy. 2020;22(6):1269-1284. CrossRef
25. Janson C, Henderson R, Löfdahl M, Hedberg M, Sharma R, Wilkinson AJK. Carbon footprint impact of the choice of inhalers for asthma and COPD. Thorax. 2020;75(1):82-84. CrossRef PubMed
26. Sillcox R, Gitonga B, Meiklejohn DA, et al. The environmental impact of surgical telemedicine: life cycle assessment of virtual vs. in-person preoperative evaluations for benign foregut disease. Surg Endosc. 2023;37(7):5696-5702. CrossRef PubMed
27. Nakarai H, Kwas C, Mai E, et al. What Is the Carbon Footprint of Adult Spinal Deformity Surgery? J Clin Med. 2024;13(13):3731. CrossRef PubMed
28. Yang L, Hubert J, Gitundu S, Brovman E, Cobey F. Carbon Footprint of Total Intravenous and Inhalation Anesthesia in the Transcatheter Aortic Valve Replacement Procedure. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2024;38(6):1314-1321. CrossRef PubMed

© 2025 The Authors. Published by AboutScience - www.aboutscience.eu