

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



LIFE-CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF PRIMARY BEVERAGE CONTAINERS: GLASS VERSUS PLASTIC BOTTLES

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Diego Bonilla Toribio

Código 20173106

Rodrigo David Noriega Beltrán

Código 20171062

Asesor

Jorge Carlos Sanabria Villanueva

Lima – Perú

Julio de 2024

Propuesta Carrera Ingeniería Industrial
Título <i>LIFE-CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF PRIMARY BEVERAGE CONTAINERS: GLASS VERSUS PLASTIC BOTTLES</i>
Autor(es) 20173106@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima 20171062@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p>Resumen: La contaminación procedente del ciclo de vida de los envases está aumentando y puede tener consecuencias potencialmente irreversibles para el medio ambiente. En la industria de bebidas, los materiales más utilizados para la producción de envases primarios son el vidrio y el plástico. El objetivo de este estudio fue comparar los impactos ambientales del tereftalato de polietileno (PET) y las botellas de plástico de vidrio. Se aplicó la Matriz de Leopold para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de ambos contenedores, teniendo como fuente secundaria de información el resultado del análisis de la revisión sistemática de la literatura. Los resultados demostraron que ambos contenedores generan impactos ambientales negativos a lo largo de su ciclo de vida, teniendo en cuenta en la evaluación los componentes abióticos, bióticos y antrópicos, generando consecuencias negativas a los ecosistemas, la salud humana, así como a la fauna y la flora. Esto se evidencia en los resultados de la matriz, donde los valores totales simbolizan -712 y -690 para vidrio y plástico, respectivamente.</p> <p>Palabras Clave: Evaluación del ciclo de vida, Impactos ambientales, Botella de vidrio, Matriz de Leopold, Gestión de residuos sólidos, Botella de plástico.</p> <p>Abstract: Pollution originating from the life cycle of packaging is increasing and can have potentially irreversible consequences for the environment. In the beverage industry, the most common materials used for the production of primary packaging are glass and plastic. The objective of this study was to compare the environmental impacts of polyethylene terephthalate and glass bottles. The Leopold Matrix was applied to evaluate the environmental impact of the life cycle of both bottles, using information from a wide range of scientific articles and peer-reviewed indexed journals. The evaluation took into account the abiotic, biotic, and anthropic components generating negative consequences for ecosystems, human health, and fauna and flora. The study found that both containers generate negative environmental impacts throughout their life cycle. This was evidenced in the results of the matrix, where the total values symbolize -712 and -690 for glass and plastic, respectively.</p> <p>Keywords: Life-Cycle Assessment, Environmental Impacts, Glass Bottle, Leopold Matrix, Solid Waste Management, Plastic Bottle.</p>
Línea de investigación IDIC – ULIMA Operations Engineering and management
Área y Sub-áreas de Investigación: Operations Engineering and management <ul style="list-style-type: none"> ○ Ciclo de vida ○ Impactos ambientales
Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionado (s) al tema de investigación. <ul style="list-style-type: none"> - ODS 9 Industria, Innovación e Infraestructura. - ODS 12 Producción y Consumo Responsable.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación derivada del ciclo de vida de los envases va en aumento y puede tener consecuencias potencialmente irreversibles para el medio ambiente. Los empaques desempeñan un papel importante en toda la cadena de producción y suministro de alimentos y bebidas, pero son una de las principales fuentes de contaminación creciente. Esto se debe a que su producción y uso han aumentado, ya que están presentes en la mayoría de los ámbitos de la vida humana, independientemente del material del que estén hechos (Ferrara et al. 2022; Varun, Sharma y Nautiyal 2016; Żołek-Tryznowska y Holica 2020). Estos impactos ambientales pueden generarse a lo largo del ciclo de vida de los productos, desde el consumo de recursos en la extracción de materias primas, pasando por la fabricación, el transporte y la gestión de residuos, destacando que pueden acabar en incineradoras, ecosistemas o vertederos cuando no pueden utilizarse (Šerešová y Kočí 2020).

La decisión de considerar el plástico PET y las botellas de vidrio se basó en el hecho de que ambos materiales tenían la mayor cuota del volumen mundial de envases en 2022. En la industria mundial de envasado de bebidas, hay pruebas de una preferencia por el uso de botellas de PET y vidrio, que representan el 30,7% y el 23,4%, respectivamente (Statista Research Department 2023a).

En 2022, el consumo mundial de plástico ascendió a 400,3 toneladas, concentrándose casi la mitad en Norteamérica y China (17% y 32%, respectivamente). Esto supone un aumento de casi 30 toneladas con respecto a 2018 (Plastics Europe AISBL 2023). Para 2050, se prevé que la producción mundial de plásticos se acerque a las 600 toneladas anuales (Statista Research Department 2024a).

Por otro lado, la producción mundial de envases y botellas de vidrio ascendió a casi 743.000 millones de unidades en 2023, y se prevé que aumente a alrededor de 916 billones de unidades en 2028 (Statista Research Department 2023c).

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es analizar cuantitativamente el impacto medioambiental de los empaques primarios utilizados en la industria de bebidas, comparando las botellas de vidrio y plástico de tereftalato de polietileno (PET), con la finalidad de identificar cuál de estos materiales simboliza la mejor opción desde la revisión sistemática de literatura y la matriz de Leopold.

- Identificar y comparar impactos ambientales considerando el componente abiótico para cada material de botella (atmósfera, agua, suelo y paisaje).
- Identificar y comparar impactos ambientales considerando el componente biótico para cada material de botella (flora y fauna).
- Identificar y comparar impactos ambientales considerando el componente antrópico para cada material de botella (salud).

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica:

Este estudio establece una base teórica para futuras investigaciones sobre la aplicación de la revisión sistemática de literatura para el análisis del ciclo de vida de determinados empaques en empresas de la industria de bebidas, centrándose en sus efectos positivos e impactos socio ambientales. La revisión de investigaciones contribuirá a la generación de conocimientos valiosos para el campo.

Justificación práctica:

Esta revisión sirve como fuente confiable para organizaciones y emprendedores interesados en la industria de consumo masivo y las implicaciones de los materiales usados en sus productos más comercializados.

Justificación metodológica:

La investigación se basa en una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) para analizar diversas fuentes sobre el ciclo de vida de dos tipos de empaque en la industria de consumo masivo y sus implicaciones. Este enfoque permite construir conocimientos sólidos sobre la mejora de recursos productivos, impactos ambientales y reputación empresarial.

HIPÓTESIS (Si aplica)

El estudio pondrá a prueba la siguiente hipótesis: Las botellas de plástico PET tienen un mayor impacto ambiental que las de vidrio a lo largo de su ciclo de vida en las etapas consideradas.

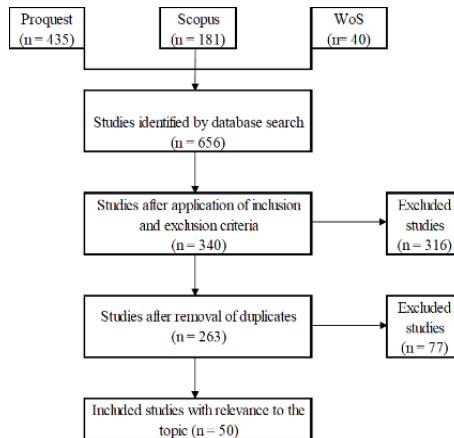
DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación consiste en una investigación de tipo aplicada (Revisión Sistemática de la Literatura), con enfoque mixto y un alcance exploratorio/descriptivo.

Se aplicó la Matriz de Leopold para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de ambas botellas, utilizando información procedente de una amplia gama de artículos científicos y revistas indexadas revisadas por pares.

La investigación consta de dos etapas:

- Fase 1 - Identificación de artículos, categorías y subcategorías: se recopilan y clasifican los artículos. Los pasos que componen esta fase son la definición de palabras clave, el escaneo y el mapeo. Esto permitirá construir las categorías y subcategorías en las cuales se clasificarán a los artículos. A continuación, se comparte un esquema que detalla el proceso de recolección de artículos llevado a cabo.



- Fase 2 – Matriz de Leopold: Una vez finalizada la revisión, se incluyeron y analizaron cincuenta artículos para elaborar la Matriz de Leopold. Esta metodología utiliza dos tipos de matrices en sucesivas etapas de análisis: (1) la matriz de identificación de impactos ambientales basada en la relación entre las fases del ACV y los factores a evaluar y (2) la matriz de importancia como primera valoración cualitativa de los impactos ambientales identificados sobre los diferentes factores ambientales. La Matriz de Leopold permite evaluar tanto la agresividad de la actividad como los factores ambientales que se ven afectados por la actividad (Coria 2008). Se utiliza para medir cuantitativamente el impacto ambiental de cada material, teniendo en cuenta los factores ambientales en etapas específicas del ciclo de vida de las botellas.

Esta matriz de doble entrada tiene los componentes con sus impactos ambientales en las filas y las etapas en las columnas (Coria 2008). Si existe una interacción entre fila y columna, la casilla se divide en dos mediante una línea diagonal. Para la parte superior, que representa la magnitud del impacto, se coloca un número entre 1 y 10, y el signo depende de si genera un efecto beneficioso (+) o perjudicial (-) para el medio ambiente. En la parte inferior, se asigna un valor positivo entre 1 y 10, que simboliza la importancia. La suma de las interacciones permite obtener el valor final para cada tipo de material, que se calcula mediante una fórmula aritmética (Garmendia et al. 2005).

NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

LIMITACIONES EN LA INVESTIGACIÓN.

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados. En primer lugar, el análisis se enfoca en tres etapas del ciclo de vida de los envases: extracción, producción y disposición final. Aunque estas etapas son cruciales para evaluar los impactos ambientales más significativos, no se incluyen otras etapas como la distribución, transporte y uso del producto. La exclusión de estas etapas limita la visión completa del ciclo de vida de los envases analizados.

En segundo lugar, el uso de la Matriz de Leopold para la evaluación de impactos ambientales implica un grado de subjetividad en la asignación de valores de magnitud e importancia. A pesar de que se han establecido criterios estandarizados para estas asignaciones, la interpretación depende del juicio de los evaluadores, lo que introduce una variabilidad que afecta la reproducibilidad del estudio en diferentes contextos, al no contar con una validación por expertos.

Considerando estas limitaciones, se recomienda que futuras investigaciones aborden las etapas no cubiertas y exploren métodos adicionales para reducir la subjetividad en la evaluación de impactos ambientales. Además, es importante señalar que los resultados de este estudio no deben generalizarse a otras industrias o tipos de envases, dado que el enfoque se centró específicamente en la industria de bebidas.

REFERENCIAS

- Al-Kindi, L. A. H., & Al-Baldawi, Z. (2021). Green packaging for durable engineering products in Iraqi markets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012004>
- Amienyo, D., & Azapagic, A. (2016). Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(4), 492–509. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1028-6>
- Amienyo, D., Camilleri, C., & Azapagic, A. (2014). Environmental impacts of consumption of Australian red wine in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 72, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.044>
- Badowska-Witos, P. (2020). Life cycle assessment of beverage bottles. *Journal of Physics: Conference Series*, 1426(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1426/1/012038>
- Balzarotti, S., Maviglia, B., Biassoni, F., & Ciceri, M. R. (2015). Glass vs. Plastic: Affective Judgments of Food Packages After Visual and Haptic Exploration. *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 2251–2258. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.369>
- Banar, M., & Cokaygil, Z. (2008). A comparative life cycle analysis of two different juice packages. *Environmental Engineering Science*, 25(4), 549–555. <https://doi.org/10.1089/ees.2007.0079>
- Bertolini, M., Bottani, E., Vignali, G., & Volpi, A. (2016). Comparative Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Extended Shelf Life Milk. *Packaging and Technology and Science*, 29(January), 399–412. <https://doi.org/10.1002/pts>
- Bittrich, N., Ruiz, M., & Larios-Francia, R. (2022). Environmental Impact Assessment of Flexible Food Packaging. *The International Journal of Environmental Sustainability*, 19(1), 39–61. <https://doi.org/10.18848/2325-1077/cgp/v19i01/39-61>
- Bonamente, E., Scrucca, F., Rinaldi, S., Merico, M. C., Asdrubali, F., & Lamastra, L. (2016). Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment. *Science of the Total Environment*, 560–561, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.026>
- Boutros, M., Saba, S., & Manneh, R. (2021). Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128289>
- Brock, A., & Williams, I. (2020). Life cycle assessment of beverage packaging. *Detritus*, 13, 47–61. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.14025>
- Casson, A., Giovenzana, V., Frigerio, V., Zambelli, M., Beghi, R., Pampuri, A., Tugnolo, A., Merlini, A., Colombo,

L., Limbo, S., & Guidetti, R. (2022). Beyond the eco-design of case-ready beef packaging: The relationship between food waste and shelf-life as a key element in life cycle assessment. *Food Packaging and Shelf Life*, 34(March), 100943. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100943>

Cleary, J. (2013). Life cycle assessments of wine and spirit packaging at the product and the municipal scale: A Toronto, Canada case study. *Journal of Cleaner Production*, 44, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.009>

Coria, I. (2008). *El estudio de impacto ambiental: características y metodologías [The Environmental Impact Assessment: Characteristics and Methodologies]* (Vol. 11, Issue 20). <https://doi.org/10.1145/3493425.3502750>

Debeaufort, F. (2021). Active biopackaging produced from by-products and waste from food and marine industries. *FEBS Open Bio*, 11(4), 984–998. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13121>

Ferrara, C., & De Feo, G. (2020). Comparative life cycle assessment of alternative systems for wine packaging in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120888>

Ferrara, C., & De Feo, G. (2023). Comparative Life Cycle Assessment of Two Different Packaging Systems for Extra-Virgin Olive Oil: Glass Bottle vs. 100% Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043665>

Ferrara, C., De Feo, G., & Picone, V. (2021). Lca of glass versus pet mineral water bottles: An italian case study. *Recycling*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/recycling6030050>

Ferrara, C., Migliaro, V., Ventura, F., & De Feo, G. (2022). An economic and environmental analysis of wine packaging systems in Italy: A life cycle (LC) approach. *Science of the Total Environment*, 857(July 2022), 159323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159323>

Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental [Environmental Impact Assessment]*. Pearson Prentice Hall.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 3–8. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Ghinea, C., & Leahu, A. (2017). Life cycle environmental impacts of Romanian beer production. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 17(43), 115–122. <https://www.sgem.org/index.php/jresearch-article?citekey=Ghinea201718115122>.

Golub, O., Sanzharovskii, A. Y., & Mikhailidi, D. K. (2022). Carbon Footprint of the Life Cycle of Glass Containers. *Glass and Ceramics (English Translation of Steklo i Keramika)*, 79(7–8), 306–311. <https://doi.org/10.1007/s10717-022-00505-1>.

Gracida-Alvarez, U. R., Xu, H., Benavides, P. T., Wang, M., & Hawkins, T. R. (2023). Circular Economy Sustainability Analysis Framework for Plastics: Application for Poly(ethylene Terephthalate) (PET). *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 11(2), 514–524. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c04626>

International Organization for Standardization. (2006a). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. ISO 14040:2006. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>

International Organization for Standardization. (2006b). *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. ISO 14044:2006. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>

International Organization for Standardization. (2016). *Perspectiva de ciclo de vida - lo que incluye la ISO 14001 [Life Cycle Perspective - What ISO 14001 Includes]*. ISO, 3.

Jahandari, A. (2023). Microplastics in the urban atmosphere: Sources, occurrences, distribution, and potential health implications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 12(July), 12. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100346>

Jin, K., Tang, Y., Liu, J., Wang, J., & Ye, C. (2020). Nanofibrillated cellulose as coating agent for food packaging paper. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.066>

Kim, C. H., Youn, H. J., & Lee, H. L. (2015). Preparation of cross-linked cellulose nanofibril aerogel with water absorbency and shape recovery. *Cellulose*, 22(6), 3715–3724. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0745-5>

- Kutralam-Muniasamy, G., Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., & Roy, P. D. (2023). Microplastic diagnostics in humans: “The 3Ps” Progress, problems, and prospects. *Science of the Total Environment*, 856, 159164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159164>
- Landi, D., Germani, M., & Marconi, M. (2019). Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium. *Procedia CIRP*, 80, 399–404. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.054>
- Lee, H., Kim, K., & Lee, H. (2023). The process development of cullet and recycled glass aggregate for improving waste glass bottles recycling rate. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(6), 11. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01725-5>
- Mahmoudi, M., & Parvizomran, I. (2020). Reusable packaging in supply chains: A review of environmental and economic impacts, logistics system designs, and operations management. In *International Journal of Production Economics* (Vol. 228). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107730>
- Mannheim, V. (2021). Life cycle assessment model of plastic products: Comparing environmental impacts for different scenarios in the production stage. *Polymers*, 13(5), 1–20. <https://doi.org/10.3390/polym13050777>
- Meneses, M., Pasqualino, J., & Castells, F. (2012). Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. *Journal of Environmental Management*, 107, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.019>
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2013. “Metodología para la estimación del riesgo ambiental” [Form to Estimate the Environmental Risk]. <https://www.oefa.gob.pe/metodologia-para-la-estimacion-del-riesgo-ambiental/>.
- Olatunbosun, A., Emeka, S., & James, O. (2016). Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete. *Cogent Engineering*, 3(1), 1–29. <https://doi.org/10.1080/23311916.2015.1133480>
- Plastics Europe AISBL. (2023). Plastics the fast facts 2023 : A review on plastic contributions to European economy. *Plastics Europe AISBL*, 2023. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>
- Pragati, P., & Yasunobu, M. (2022). Life cycle environmental impacts of consumer packaging products in Japan. *Risk Analysis*. <https://doi.org/10.1111/risa.14031>
- Rodrigues, C., König, J., & Freire, F. (2023). Prospective life cycle assessment of a novel building system with improved foam glass incorporating high recycled content. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.002>
- Roosen, M., Tonini, D., Albizzati, P. F., Caro, D., Cristóbal, J., Lase, I. S., Ragaert, K., Dumoulin, A., & De Meester, S. (2023). Operational Framework to Quantify “Quality of Recycling” across Different Material Types. *Environmental Science and Technology*, 57(36), 13669–13680. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c03023>
- Saibuatrong, W., Cheroennet, N., & Suwanmanee, U. (2017). Life cycle assessment focusing on the waste management of conventional and bio-based garbage bags. *Journal of Cleaner Production*, 158, 319–334. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.006>
- Saleh, Y. (2016). Comparative life cycle assessment of beverages packages in Palestine. *Journal of Cleaner Production*, 131, 28–42. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.080>
- Šerešová, M., & Kočí, V. (2020). Proposal of package-to-product indicator for carbon footprint assessment with focus on the Czech Republic. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12073034>
- Shin, R., & Searcy, C. (2018). Evaluating the greenhouse gas emissions in the craft beer industry: An assessment of challenges and benefits of greenhouse gas accounting. *Sustainability (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/su10114191>
- Statista Research Department. (2021a). Glass industry worldwide. In *Statista*. <https://www.statista.com/study/43866/glass-industry/>.
- Statista Research Department. (2021b). The Life Cycle of Plastics. *Statista*. <https://www.statista.com/study/83215/the-life-cycle-of-plastics/>.
- Statista Research Department. (2023a). *Global pack mix of beverages by packaging type 2022*. Statista.

<https://www.statista.com/statistics/232787/global-pack-mix-of-beverages-by-packaging-type/>

Statista Research Department. (2023b). Global Plastic Waste. Statista. <https://www.statista.com/study/65164/plastic-waste-worldwide/>.

Statista Research Department. (2023c). Production volume of glass containers and bottles worldwide in 2020 and 2023, with a forecast for 2028. Statista. <https://www.statista.com/statistics/700260/glass-bottles-and-containers-production-volume-worldwide/#:~:text=In2020%2Ctheglobalproduction,willbe922billionunits.>

Statista Research Department. (2024a). Plastic Production Forecast Worldwide 2025–2050. Statista. <https://www.statista.com/statistics/664906/plastics-production-volume-forecast-worldwide/>.

Statista Research Department. (2024b). Post-Consumer Recycled (PCR) Plastics Packaging Demand Worldwide in 2021, with a Forecast for 2026. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1342457/global-post-consumer-recycled-packaging-demand/>.

Stefanini, R., Borghesi, G., Ronzano, A., & Vignali, G. (2021). Plastic or glass: a new environmental assessment with a marine litter indicator for the comparison of pasteurized milk bottles. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(4), 767–784. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01804-x>

Thew, C. X. E., Lee, Z. Sen, Srinophakun, P., & Ooi, C. W. (2023). Recent advances and challenges in sustainable management of plastic waste using biodegradation approach. *Bioresource Technology*, 374(February), 128772. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128772>

Vargas, C., Posada, J. C., Jaramillo, L., & García, L. (2015). Energy consumption in plastic industry-review of studies developed. *Revista CEA*, 1(1), 93–107. <https://ssrn.com/abstract=3520287>

Varun, Sharma, A., & Nautiyal, H. (2016). Environmental Impacts of Packaging Materials. In *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes* (pp. 115–137). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-913-4_5

Vasilaki, V., Katsou, E., Ponsá, S., & Colón, J. (2016). Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *Journal of Cleaner Production*, 139, 504–516. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.032>

Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., Rivero, S., López, O., & García, M. A. (2023). Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review on Past and Current Design Innovations. *Foods*, 12, 43. <https://doi.org/10.3390/foods12051057>

Yu, L. P., Wu, F. Q., & Chen, G. Q. (2019). Next-Generation Industrial Biotechnology-Transforming the Current Industrial Biotechnology into Competitive Processes. *Biotechnology Journal*, 14(9), 1–9. <https://doi.org/10.1002/biot.201800437>

Zhang, R., Ma, X., Shen, X., Zhai, Y., Zhang, T., Ji, C., & Hong, J. (2020). PET bottles recycling in China: An LCA coupled with LCC case study of blanket production made of waste PET bottles. *Journal of Environmental Management*, 260(December 2019), 110062. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110062>

Zhou, Y., Shen, B., You, S., Yin, Q., Wang, M., Jiang, N., Su, R., & Qi, W. (2024). Development of a novel “4E” polyethylene terephthalate bio-recycling process with the potential for industrial application: Efficient, economical, energy-saving, and eco-friendly. *Bioresource Technology*, 391(PA), 7. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129913>

Żołek-Tryznowska, Z., & Holica, J. (2020). Starch films as an environmentally friendly packaging material: Printing performance. *Journal of Cleaner Production*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124265>

ANEXO.

Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Life Cycle Environmental Impact Assessment of Primary Beverage Containers: Glass vs. Plastic Bottles.
- **Autores:** Diego Bonilla Toribio, Rodrigo David Noriega Beltrán.
- **Co autor(es):** Rosa Patricia Larios-Francia.

Publicación en revista

- **Nombre de la revista:** The International Journal of Environmental Sustainability.
- **Volumen:** 20
- **Número:** 1
- **Año:** 2024
- **Pp:**
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://doi.org/10.18848/2325-1077/CGP/v20i01/1-21>



Revision final repositorio 2

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

docslib.org

Fuente de Internet

4%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo