

Evaluación del ciclo de vida “life cycle assessment (LCA)” de los empaques sostenibles en la industria alimentaria

Luis David Jarquín^{1*}, Saúl Jarquín²

RESUMEN

Antecedentes: Life Cycle Assessment (LCA) es una herramienta crucial para medir y reducir el impacto ambiental de los empaques utilizados en alimentos. LCA permite evaluar la fase completa de estos empaques, desde la fabricación hasta su disposición final, ayudando a las empresas a optar por materiales más sostenibles que reduzcan la huella ecológica. Los empaques sostenibles, elaborados con materiales como el almidón de plantas, ofrecen una alternativa menos contaminante frente a los convencionales, que derivan principalmente de combustibles fósiles. No obstante, los empaques convencionales pueden minimizar su impacto ambiental si se reutilizan en un modelo de economía circular. **Reflexión:** la adopción de empaques sostenibles es fundamental en la industria alimentaria, ya que estos pueden reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en sectores de alto impacto como el de las carnes. Sin embargo, el LCA enfrenta limitaciones, como la falta de consideración de la biodiversidad y el comportamiento de los consumidores. **Conclusión:** LCA permite identificar oportunidades de mejora que impulsan la sostenibilidad en los empaques alimentarios. Al integrar principios de economía circular y educar a los consumidores, la industria alimentaria puede contribuir a prácticas más responsables y sostenibles en el manejo de sus empaques.

Palabras clave: Evaluación del ciclo de vida, industria alimentaria, empaque sostenible, consumidor, conservación de alimentos.

^{1*} **Autor de correspondencia:** Máster en Agricultura Tropical Sostenible. Profesor de Ciencias Naturales. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. luis.ldji1998@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0001-9970-8548>. celular: +50497639484

² Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Danlí, El Paraíso, Honduras. saulldji17@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-3819-099X> celular: + 50499211377

Life cycle assessment (LCA) of sustainable packaging in the food industry

ABSTRACT

Background: Life Cycle Assessment (LCA) is a crucial tool for measuring and reducing the environmental impact of packaging used in food. LCA assesses the entire packaging phase, from manufacturing to final disposal, helping companies to choose more sustainable materials that reduce their environmental footprint. Sustainable packaging, made from materials such as plant starch, offers a cleaner alternative to conventional packaging, which is mainly derived from fossil fuels. However, conventional packaging can minimize its environmental impact if reused in a circular economy model. **Reflection:** the adoption of sustainable packaging is critical in the food industry, as it can significantly reduce greenhouse gas emissions, especially in high-impact sectors such as meat. However, LCA faces limitations, such as the lack of consideration of biodiversity and consumer behavior. **Conclusion:** LCA identifies opportunities for improvement that drive sustainability in food packaging. By integrating circular economy principles and educating consumers, the food industry can contribute to more responsible and sustainable practices in the management of its packaging.

Keywords: Life cycle assessment, food industry, sustainable packaging, consumer, food preservation.

INTRODUCCIÓN

Los empaques sostenibles requieren una evaluación de la vida útil que compruebe el beneficio de su uso y motive a los consumidores a la utilización de estos, con el objetivo de reducir la huella ambiental global. El LCA de los empaques es un concepto cada vez más utilizado en las industrias, organizaciones ambientales y la comunidad científica, es definido como un método para evaluar la carga medioambiental (1) y estimar la proporción del impacto que tienen los productos y sistemas en su producción, uso y eliminación de forma global, a través de balance de masa y energía en una escala temporal (2). Dentro de las características clave de la metodología de LCA se encuentran, primero, la consideración desde inicio de fabricación hasta la disposición final de los empaques; segundo, un panorama completo de todas las entradas, residuos y emisiones al ambiente, para incluirlas dentro del balance de energía; tercero, realizar el cálculo por unidad funcional a todo el sistema (1). En el 2019, la producción de plásticos a nivel mundial fue de 368 Mt (3). Asimismo, se produjeron 1.95 Mt de bioplástico, esto representa cerca del 0,6% de toda la producción de plástico a nivel mundial (4). La tendencia histórica del crecimiento de la producción de plásticos alcanzará los 1,100 Mt en 2050 (5).

Wikström et al., (6) indicaron que la mejor alternativa para los sistemas de empaque de las grandes industrias es generar menor impacto ambiental, aunque que estos puedan provocar mayores desperdicios. Por lo anterior, la selección de los materiales para la base del diseño y elaboración de empaques sostenibles y convencionales para los alimentos es determinante para reducir la contaminación ambiental y disminuir los desperdicios de alimentos, adicionalmente, obtener un mejor ciclo de vida de los empaques. Las materias primas para la producción de empaques convencionales, en su mayoría, son provenientes de combustibles fósiles (7), esto genera materiales altamente contaminantes y difícil eliminación dentro del LCA. Por otra parte, el almidón es el insumo principal para la elaboración de empaques biodegradables, resultado de la transformación de recursos renovables como son el maíz, caña de azúcar y soja (8).

REFLEXIÓN

Papel del LCA y los empaques sostenibles en la reducción del impacto ambiental

El desarrollo de la industria del plástico ha permitido satisfacer las necesidades crecientes de la población mundial, especialmente en la industria alimentaria, donde el empaque plástico garantiza la protección, conservación y transporte de los productos. Sin embargo, la producción de plástico no cuenta con leyes que regulen su uso de forma general (9). Por lo tanto, su producción genera grandes cantidades de residuos y desechos que afectan el medio ambiente (10). De este modo, los bioplásticos se presentan como una alternativa viable para la industria alimentaria, ya que no solo cumplen funciones de empaque similares a las de los plásticos convencionales, sino que también reducen la huella de carbono, incrementan la eficiencia energética y minimizan el impacto ambiental (11).

La importancia del LCA radica en la oportunidad para tomar decisiones que impulsen el mejoramiento de los procesos y del sistema para crear nuevos productos amigables con el medio ambiente que sean sostenibles en el tiempo. Debido a esto, la diversidad metodológica del LCA requiere una evolución constante que considere modelos dinámicos y avanzados (2), con el apoyo de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial.

¿El LCA de los empaques sostenibles marcan la diferencia con respecto a un empaque convencionales en los alimentos?

Los estudios de evaluación de vida útil de los empaques se han centrado en la comparación entre los diferentes materiales utilizados para la fabricación. Inicialmente, surgen por la necesidad de mejorar la eficiencia en la vida útil de los productos alimenticios, sin embargo, en la actualidad, va más allá en el contexto sostenible (12). Existe un creciente interés de implementar sistemas de empaques sostenibles en la industria alimentaria, por lo tanto, se han creado métricas e indicadores que faciliten el cálculo de los balances de energías, a su vez, precisen cada etapa dentro del ciclo de vida. El LCA incluye cuatro principios normativos, como son, la definición del objetivo, análisis de inventario, evaluación de impactos e interpretación del ciclo (13). De este modo, las entradas y salidas del ciclo siguen un esquema organizado y estándar, no obstante, el uso de materias primas, ya sean bióticas, abióticas o provenientes de recursos energéticos (12), pueden transformar a procesos más complejos dentro del balance energético. De esta manera, las salidas de emisiones al aire, agua y residuos sólidos pueden ser menor o mayormente contaminantes. Por lo anterior, se discuten los impactos positivos y negativos dentro del contexto de LCA en los empaques sostenibles y las diferencias entre los sistemas de empaques convencionales en la industria alimentaria.

Del total de desechos plásticos generados hasta el 2020, se estimó que el 10% fueron reciclados, el 14% fue incinerado y el 76% se encuentran en rellenos sanitarios o en un medio natural (14). Es decir, que la mayor parte de estos productos no tuvieron un uso extra, generándose una pérdida de recursos. Además, los desechos mal administrados originan un desastre ambiental cada vez mayor (9), estos conducen a contaminación a largo plazo en suelos, aguas subterráneas y océanos, convirtiéndose así en una de las principales preocupaciones a nivel mundial (15).

Sin embargo, los empaques convencionales han transformado el mundo moderno, estos cuentan con una gama de propiedades excepcionales con mayor aplicabilidad en el empaque de alimentos, por la estructura de economía lineal esto se identifica como el principal factor negativo. Una respuesta a la problemática es la utilización de la economía circular para mantener el uso de los plásticos por el mayor tiempo posible (9). Entre los métodos utilizados para disminuir los impactos negativos se encuentran el reciclaje y los tratamientos termoquímicos, como la gasificación, la incineración o pirólisis. El tratamiento de pirólisis ofrece la ventaja de la producción de biocombustibles y carbón de alto poder calorífico, que pueden ser utilizados como sustitutos de los combustibles fósiles (15).

Por otra parte, muchas empresas de empaques convencionales han decidido continuar su negocio y acoplarse a las nuevas cadenas como el marketing verde, cambiando la cadena de suministro de alimentos en general. Estos logran aplicar los principios de economía circular donde los residuos se convierten en un nuevo recurso y circuito cerrado; de este modo, los empaques convencionales se han convertido en el material clave para impulsar la transición hacia modelos de economía circular con el fin de cambiar los patrones insostenibles, evitando así las externalidades ambientales producidas por la fabricación y eliminación de productos de origen fósil (16).

Aspectos positivos del LCA de empaques sostenible en la industria alimentaria y en el ambiente

Un aspecto positivo en la producción de empaques sostenibles implica el bajo consumo de energía y reducción en las emisiones de carbono. Asimismo, su fabricación involucra el empleo de sustancias naturales que disminuye el uso de sustancias tóxicas que se utilizan habitualmente en los empaques convencionales (17). Además, los empaques sostenibles son más saludables para los consumidores de alimentos empacados, estos están libres de alérgenos y toxinas. El LCA de los empaques sostenibles reducen el potencial del calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) por unidad de alimento consumido; por lo tanto, esto puede favorecer a la industria de alimentos empacados que son de alto impacto, como la industria de las carnes rojas. Por otra parte, el uso de esta alternativa reduciría la crisis climática, debido a la disminución de emisiones de gases de gases de efecto invernadero (6). De hecho, las materias primas utilizadas para la elaboración de empaques sostenibles, son en su mayoría provenientes de plantas, estas pueden capturar el dióxido de carbono emitido en el proceso de transformación de los empaques, esto no es posible en los empaques convencionales (17).

Con base en las nuevas tendencias del uso de empaques sostenibles, algunos estudios indican que los consumidores consideran algunos elementos, tales como la preocupación ambiental, las creencias, las emociones, la vida útil y el precio del producto. También, la reutilización se está volviendo más popular, especialmente en mercados especializados, y las marcas que pueden ofrecer sistemas de empaque reutilizables atraen a consumidores conscientes del medio ambiente (18). En efecto, hay un interés mayor por parte de los consumidores de conocer el ciclo de vida de los productos que están consumiendo (19).

Aspectos negativos del LCA de empaques sostenible en la industria alimentaria

Dentro de los aspectos negativos del LCA de empaques se encuentra la complejidad de la evaluación por la cantidad de productos y servicios que se siguen generando en los mercados e industrias con entradas y salidas multicriterio (12). Adicionalmente, otro aspecto negativo involucra que el análisis de LCA no incluye las pérdidas de alimentos (20) aunque estas sean una consecuencia, en muchas ocasiones, del mal empaque. Por otra parte, el papel de los consumidores dentro del LCA puede influir de forma negativa, un ejemplo de ello, es el diseño de los empaques que deberían contener atributos que se ajusten a la necesidad del consumidor, sin embargo, al no considerarse

a los consumidores en el ciclo de vida, no hay una ampliación de las mejoras del producto final (6).

Existen críticas hacia la propuesta del LCA de las organizaciones por carecer de rigor científico, y poseer grandes limitantes, como la falta de experiencia de los mercados sostenibles, los datos y acceso a la información, especialmente en los países en desarrollo; además, los altos costos de la operación para analizar cada parte del proceso y la falta de medición de impactos en temas de biodiversidad (21). Estas debilidades se encuentran en ambos tipos de empaques, convencionales y sostenibles.

CONCLUSIONES

Por último, los argumentos expuestos anteriormente brindan un panorama general de la evaluación del ciclo de vida de los diferentes tipos de empaques, concluyendo que, el uso de la metodología de LCA es una excelente herramienta para identificar las posibles oportunidades de mejora en cada etapa del ciclo. Adicionalmente, se puede observar que los empaques sostenibles son una excelente alternativa, sin embargo, no se condena el uso los empaques convencionales en la industria de alimentos, ya que al tener un mejor manejo pueden ser eficientes, en un contexto de economía circular. Para reducir los impactos negativos de los empaques convencionales y a su vez contribuir a la economía circular de estos, es importante generar enlaces que permitan trabajar de forma sincronizada entre los productores, consumidores, recicladores y otros actores que participen en la cadena de sumistros de alimentos. De igual modo, el manejo es fundamental en la disposición final de los empaques, debido a que en esta etapa los usuarios o consumidores pueden contribuir realizando una mejor y utilización de estos, aplicando los conceptos de reciclaje y recirculación.

Se determina que el LCA debe tener una mayor gobernanza por parte de la industria de alimentos permitiendo asegurar unos procesos más controlados en la fabricación y distribución de los empaques en sus productos. Una externalidad importante para considerar en los ciclos de vida de empaques es la referente a la biodiversidad, puesto que, en las metodologías propuestas por la norma ISO, no miden los impactos negativos y las pérdidas del capital natural.

Finalmente, se debe considerar a los consumidores en el ciclo de vida del empaque, para ajustar el diseño y los atributos a sus necesidades, y así ampliar las mejoras del producto final. Igualmente, fortalecer la educación y conciencia sobre el impacto ambiental, con el objetivo de fomentar la adopción de hábitos de consumo sostenible. Contribuyendo de esta forma al fomento de sistemas alimentarios sostenibles.

Conflictos de intereses

El autor declara no presentar conflictos de interés para este artículo.

Referencias

1. Bohlmann GM. Biodegradable packaging life-cycle assessment. *Environmental Progress*. 2004;23(4). doi: 10.1002/ep.1005.
2. Kousemaker TM, Jonker GH, Vakis AI. LCA Practices of Plastics and Their Recycling: A Critical Review. *Applied Sciences*. 2021;11(8):3305. doi: 10.3390/app11083305.
3. Nanda S, Patra BR, Patel R, Bakos J, Dalai AK. Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review. *Environ Chem Lett*. 2021;20(1):379–95. doi: 10.1007/s10311-021-01334-4. PubMed PMID: 34867134. Publicación electrónica 29 nov. 2021.
4. Costa A, Encarnação T, Tavares R, Todo Bom T, Mateus A. Bioplastics: Innovation for Green Transition. *Polymers (Basel)*. 2023;15(3). doi: 10.3390/polym15030517. PubMed PMID: 36771817. Publicación electrónica 18 ene. 2023.
5. Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017;3(7):e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782. PubMed PMID: 28776036. Publicación electrónica 19 jul. 2017.
6. Wikström F, Williams H, Verghese K, Clune S. The influence of packaging attributes on consumer behaviour in food-packaging life cycle assessment studies - a neglected topic. *Journal of Cleaner Production*. 2014;73:100–8. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.042.
7. Russell DA. Sustainable (food) packaging – an overview. *Food Additives & Contaminants*. 2014;396–401. doi: 10.1080/19440049.2013.856521.
8. Folino A, Karageorgiou A, Calabró PS, Komilis D. Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *Sustainability [Internet]*. 2020;12(15). Disponible en: www.mdpi.com/journal/sustainability.
9. Bucknall DG. Plastics as a materials system in a circular economy. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2020;378(2176):20190268. doi: 10.1098/rsta.2019.0268. PubMed PMID: 32623994. Publicación electrónica 6 jul. 2020.
10. Kumar R, Verma A, Shome A, Sinha R, Sinha S, Jha PK, et al. Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions. *Sustainability*. 2021;13(17):9963. doi: 10.3390/su13179963.
11. Aponte G, Soledad B. Bioplásticos: sustentabilidad ambiental y principales tendencias. *Tekhné*. 2022;25(3):45–60.
12. Verghese K, Lockrey S, Clune S, Sivaraman D. Life cycle assessment (LCA) of food and beverage packaging. *Emerging Food Packaging Technologies*. 2012:380–408. doi: 10.1533/9780857095664.4.380.
13. Internacional Organization for Standardization (ISO). Norma ISO 14040 [Internet]; 2006. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
14. Geyer R. Production, use, and fate of synthetic polymers. En: Letcher TM, editor. *Plastic waste and recycling: Environmental impact, societal issues, prevention, and solutions*. London, [Amsterdam]: Academic Press; 2020. p. 13–32.
15. Antelava A, Damilos S, Hafeez S, Manos G, Al-Salem SM, Sharma BK, et al. Plastic Solid Waste (PSW) in the Context of Life Cycle Assessment (LCA) and Sustainable Management. *Environ Manage*. 2019;64(2):230–44. doi: 10.1007/s00267-019-01178-3. PubMed PMID: 31230103. Publicación electrónica 22 jun. 2019.

16. Foschi E, Bonoli A. The Commitment of Packaging Industry in the Framework of the European Strategy for Plastics in a Circular Economy. *Administrative Sciences*. 2019;9(1):18. doi: 10.3390/admsci9010018.
17. Filho WL, Barbir J, Abubakar IR, Paço A, Stasiskiene Z, Hornbogen M, et al. Consumer attitudes and concerns with bioplastics use: An international study. *PLoS One*. 2022;17(4):e0266918. doi: 10.1371/journal.pone.0266918. PubMed PMID: 35476711. Publicación electrónica 27 abr. 2022.
18. Orzan G, Cruceru A, Bălăceanu C, Chivu R-G. Consumers' Behavior Concerning Sustainable Packaging: An Exploratory Study on Romanian Consumers. *Sustainability*. 2018;10(6):1787. doi: 10.3390/su10061787.
19. Martinho G, Pires A, Portela G, Fonseca M. Factors affecting consumers' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015; 103:58–68. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.07.012.
20. Wikström F, Williams H. Potential Environmental Gains from Reducing Food Losses Through Development of New Packaging – A Life-Cycle Model. *Packaging Technology and Science*. 2010; 23:403–11. doi: 10.1002/pts.906.
21. Mungkung RT, Haes H, Clift R. Potentials and Limitations of Life Cycle Assessment in Setting Ecolabelling Criteria: A Case Study of Thai Shrimp Aquaculture Product. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2006; 11:55–9. doi: 10.1065/lca2006.01.238.