



EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE RECIPIENTES DE BASE POLIESTIRENO UTILIZADOS EN SERVICIOS DE COMIDA DE UNA CAFETERÍA

Ivonne Portillo¹, María Pocasangre¹, Raúl Ramos¹, Katherine Ramírez¹, Ana del Pilar Letona², Ronald Panameño²

¹Facultad de Ingeniería y Arquitectura,

²Departamento de Operaciones y Sistemas,

Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas (UCA)”; San Salvador, El Salvador;

00048414@uca.edu.sv

00019914@uca.edu.sv

00031013@uca.edu.sv

00003214@uca.edu.sv

aletona@uca.edu.sv

rpanameno@uca.edu.sv

Resumen — A nivel global se han desarrollado e implementado técnicas sofisticadas para el desarrollo sostenible utiliza procesos productivos y gestión de residuos limpios y eficientes. Sin embargo, en países con bajo nivel económico se pasa por alto el adecuado manejo y tratamiento de desechos. En El Salvador se generan grandes cantidades de desechos sólidos de lo cual, una parte se debe a desechos de papel y plástico generados en gran parte por el Sector Comercial y Mercantil que contempla al Sector de Alimentos. El presente estudio aborda la temática a través de un estudio de caso realizado en las instalaciones de una cafetería, dirigido a platos descartables de Poliestireno. La metodología científica seleccionada fue Análisis de Ciclo de Vida, utilizando el software SimaPro® 8.5.2.0. Los impactos ambientales se centraron en tres factores de caracterización: Huella de Carbono, Huella Hídrica y Huella Energética. Los primeros dos fueron calculados con el método ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.02, mientras que la huella energética se calculó usando Cumulative Energy Demand V1.10. Se presentan los resultados y estos a su vez, son comparados con literatura.

Palabras Clave—Análisis de ciclo de vida, Huella de carbono, Huella hídrica, Huella energética, Poliestireno, Recipientes de Comida.

Abstract— Globally sophisticated techniques for sustainable development have been implemented applying efficient production processes and waste management. However, countries with low economic level, overlooks an adequate waste management and treatment. El Salvador generates large quantities of solid waste, of which part is due to paper and plastic, generated largely by the Commercial and Services Sector that covers the Food Sector. This research addresses this subject through a case study conducted on a cafeteria, focused on disposable polystyrene dishes. The selected scientific methodology was Life Cycle Analysis, using SimaPro software® 8.5.2.0 Faculty License. The environmental impacts analysed were carbon footprint, water footprint, and energy footprint. The first two were calculated using the ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.02 method, while the energy footprint was calculated using Cumulative Energy Demand V1.10. The results were compare with data from literature.

Keywords —Life Cycle Assessment, Carbon Footprint, Energy Footprint, Food Containers, Polystyrene, Water Footprint

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global se ha experimentado un crecimiento poblacional constante, respaldado con una tasa media de natalidad del 22% anual y una disminución significativa del 10% anual en la tasa de mortalidad. Lo cual, impacta directamente al medioambiente, debido al uso y consumo excesivo de recursos. Si bien, durante la última década se ha trabajado en el desarrollo sostenible, los impactos al medio persisten; la sobreexplotación y contaminación de los recursos generará un daño irreversible. Por lo que se requiere adoptar metodologías que evalúen, identifiquen y definan estrategias que vuelvan los procesos productivos eficientes y con menor impacto ambiental.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que permite identificar, cuantificar y caracterizar diferentes impactos ambientales potenciales, generados en cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto[1].

Asimismo, consiste en una técnica de carácter iterativo con el cual, se pretende incrementar el nivel de exactitud del estudio a través de las interpretaciones, discusión y análisis de los resultados obtenidos en cada “corrida” o iteración.

Esta es la metodología utilizada para evaluar el impacto ambiental ocasionado por recipientes de Poliestireno, cartón y polipropileno utilizados en servicios de comida y la comparación de resultados que permita identificar el producto y sus etapas de ciclo de vida que, representa mayor grado de contaminación.

II. METODOLOGÍA

La metodología del Análisis del Ciclo de Vida ha sido estandarizada por la Organización de Estándares Internacionales. Según lo estipulado en la norma ISO 14040



el Análisis del Ciclo de Vida es una metodología iterativa con flujos de información bidireccionales, en la Fig. 1, se muestran las fases del Análisis de Ciclo de Vida.

Según [2] la norma ISO 14041 representa una guía para determinar el Objetivo y Alcance del análisis, así como el levantamiento y Análisis de Inventario. Por otro lado, la norma ISO 14042, explica la etapa de Análisis de Impactos y la norma ISO 14043 ratifica un marco guía para la interpretación de resultados.

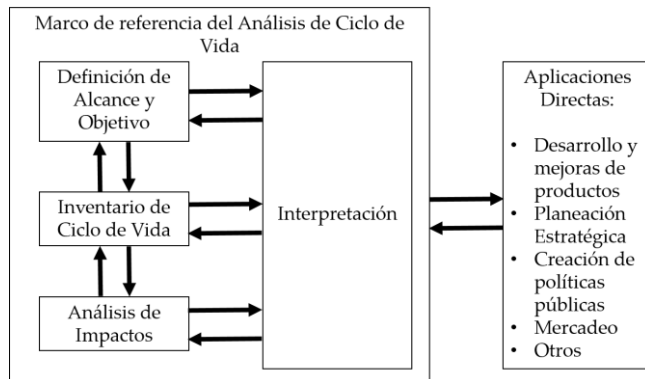


Figura 1 Fases del Análisis del Ciclo de Vida según ISO 14040.
Fuente: [3]

Objetivo y Alcance

Objetivo: realizar un análisis preliminar en un recipiente de comida fabricado en Poliestireno, de naturaleza descartable, caracterizado en tres factores midpoint: huella hídrica, huella carbónica y huella energética, para uso académicos.

Unidad Funcional: Para efectos de cuantificación de los inventarios de materia y energía, se estableció que se trabajará con un lote de 500 unidades de recipientes de comida elaborados en Poliestireno de 5.2g de masa por recipiente.

Características:



Figura 2. Recipiente de poliestireno.
Fuente: [4]

Tamaño del producto: 6 pulgadas de diámetro.

Masa: 5.2 gramos.

Material: Poliestireno (PS).

Presentación del Producto: Paquete de 25 unidades y fardo de 500 unidades.

Características:

- Producto apto para uso alimentario.
- Artículo para la disposición de alimentos fríos como calientes, sólidos o semilíquido.
- Uso preferente para hostelería, industria alimenticia, hospitales, residencias y uso doméstico.
- Desechables (un solo uso). Al finalizar su servicio pueden ser descartados en contenedores de generales o separados para disposición final.

El alcance del estudio define su sistema-producto como los procedimientos requeridos para la extracción y transformación de materia prima para la elaboración de los tres tipos de recipiente se encuentran fuera de los límites del modelo de ciclo de vida por analizar. Se incluye dentro del estudio, los procesos que ocurren desde el momento en que el proveedor recibe la materia prima y demás materiales secundarios hasta la disposición final del producto.

Inventario de Ciclo de Vida

El Equipo Investigador asignó flujos de materia y energía que entran y salen del sistema debidamente balanceados. La base de datos utilizada para el modelaje de los inventarios de masa y energía fue Ecoinvent® 3.3, disponible en el software SimaPro®.

Según [2], en esta etapa se incluye la Asignación que corresponde a la distribución de emisiones y uso de recursos de un proceso. Los resultados obtenidos en esta sección condicionan la fiabilidad de los resultados.

Se realizaron cálculos, para balances de masa y energía respectivos, con base a literatura y fichas técnicas de las máquinas y equipos requeridos en el proceso de fabricación. Se consideran igualmente los transportes necesarios para movilizar el producto terminado hacia el operador logístico correspondiente, desde este último hacia cafetería y luego hacia el relleno sanitario[5]

La Tabla 1 muestra el inventario para los recipientes de poliestireno a partir de la delimitación del ciclo de vida. Se enlistan los flujos de materia y energía identificados como Entradas (I), Salidas (O) y Emisiones para Tratamiento / Reciclaje (R).

Tabla 1. Inventario para recipientes de Poliestireno.



Flujo	Cantidad	Unidad	O/I/R
Fabricación de recipientes			
Resina Virgen	0.0155	kg	I
Scrap	0.0047	kg	R
Butano	0.0007	kg	I
Consumo de Energía	0.0091	kWh	I
Aceite Lubricante	3.10155E-06	kg	I
Agua Fría	1.70585E-05	L	I
Recipientes Poliestireno	0.0052	kg	O
Empaque de recipientes			
Lote de Recipientes Poliestireno	2.6	kg	I
Material de Empaque	1.00801E-01	kg	I
Lote de Recipientes Empacados	2.70080E+00	kg	O
Transporte 1			
consumo combustible 1	95.2	tkm	I
Transporte 2			
consumo combustible 2	56.8	tkm	I
Transporte 3			
consumo combustible 3	72.1114	kgkm	I
Destino final			
Relleno sanitario	100	%	

Fuente: [5]

Para analizar los resultados de la simulación, se seleccionaron los siguientes impactos ambientales que se cuantificarán a partir de la unidad funcional:

- **Huella de Carbono:** evalúa el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero asociados al sistema productivo del recipiente. Unidad de Medición [kgCO₂].
- **Huella Hídrica:** visualiza los impactos relacionados al consumo de agua. Es decir, agua que ya no está disponible para humanos o ecosistemas. Unidad de Medición [m³].
- **Huella Energética:** muestra el consumo de energía del sistema productivo del recipiente. Unidad de Medición [MJ].

III. RESULTADOS

Análisis de Impactos

Para cuantificar los tres impactos ambientales en estudio se utilizó el método de “ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.02” para Huella de Carbono y Huella Hídrica mientras que para Huella Energética se utilizó el método “Cumulative Energy Demand”. Ambos métodos disponibles en SimaPro ®.

Los resultados en dos formatos:

- Diagrama de Red
- Valores de Caracterización Midpoint.

Los diagramas de red se utilizan para identificar de forma gráfica la parte de los procesos productivos que representa el mayor contribuyente a Huella de Carbono, Huella Energética y Huella Hídrica. Los diagramas de red están compuestos por líneas de flujo que unen sus elementos las cuales pueden ser:

- **Líneas de flujo rojas:** representan un flujo de caracterización de impacto que se acumula. Para el presente estudio muestran que los recipientes generan una cantidad de kg de CO₂ equivalente liberados a la atmósfera y consumen una cantidad MJ de energía y m³ de agua.
- **Líneas de flujo verdes:** representan un impacto evitado, generalmente proveniente de procesos de reciclaje o reutilización de productos que son restados matemáticamente de los impactos acumulados.

El ancho de las líneas de flujo pretende reflejar la cuantificación de la contribución por factor de caracterización.

Las Figuras 3, 4 y 5 contienen los diagramas de red resultantes de la simulación para la evaluación de los impactos asociados al ciclo de vida de un lote compuesto de 500 unidades de recipientes de poliestireno, que es la cantidad necesaria para la elaboración de la unidad funcional definida para este tipo de recipiente.

El ciclo de vida de los recipientes de Poliestireno comprende los procesos de Extrusión, Termoformado, Generación de scrap, Empacado, Distribución y Disposición final de residuos (Relleno sanitario). Los diagramas de red evidencian los “créditos ambientales” expresados como flujos de impactos evitados, que representan los procesos de reciclaje o regeneración de poliestireno extruido haciendo uso de scrap.

La Figura 3 permite visualizar la Huella de Carbono que generan este tipo de recipientes; donde los procesos de obtención y transformación de materia prima y los procesos de transporte representan impactos acumulados. De acuerdo con los límites definidos para el análisis del modelo, el proceso con aporte a la Huella de Carbono corresponde a “Fabricación de Recipientes” el cual, se representa en el

diagrama de red por “TG – UCA – 2019 – Plato poliestireno”.

Para la modelización de los sistemas-producto, se utilizó la matriz energética de Costa Rica, debido a que únicamente ese país de la región cuenta con bases de datos en Ecoinvent.

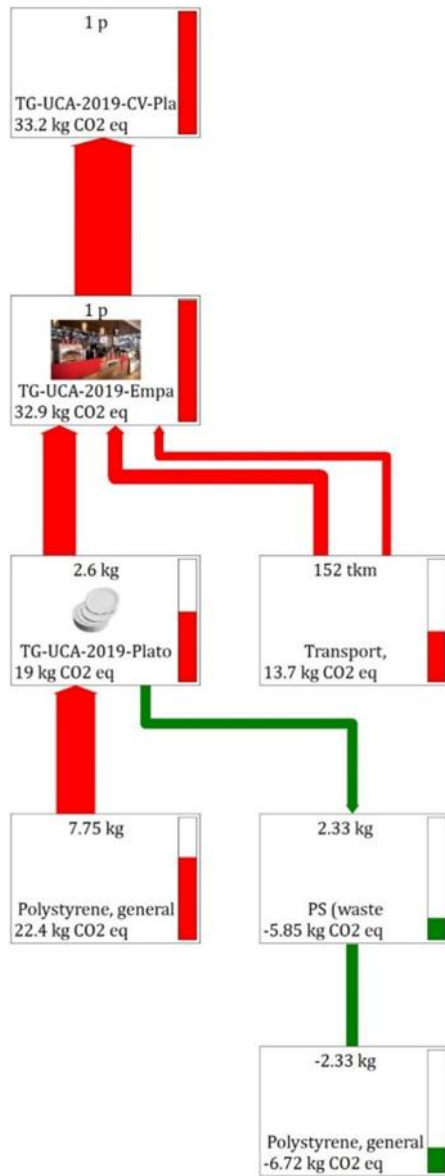


Figura 3 Diagrama de Red: Huella de Carbono para un recipiente de Poliestireno.
Fuente: [5]

La Figura 4, hace ver un impacto significativo en la Huella Energética cuyo mayor contribuyente corresponde nuevamente a los procesos de obtención y transformación de materia prima.

Es importante hacer mención que este elevado consumo es consecuencia de los métodos de extracción de petróleo utilizado para la fabricación de la materia prima.

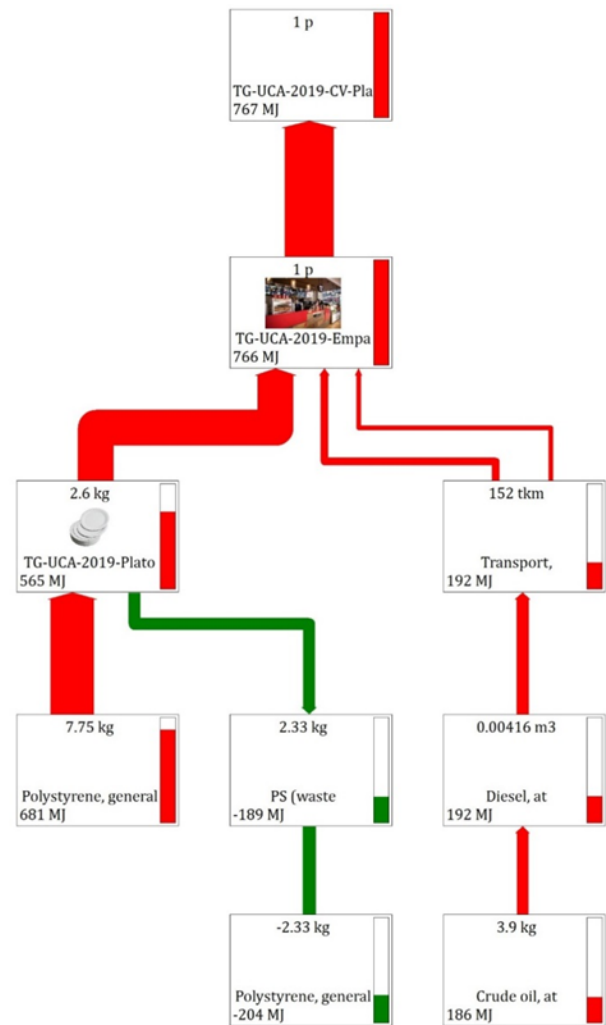


Figura 4 Diagrama de Red: Huella Energética para un recipiente de poliestireno.
Fuente: [5]

Finalmente, la Figura 5 permite observar un notorio impacto en la Huella Hídrica, debido a los procesos de elaboración del Poliestireno.

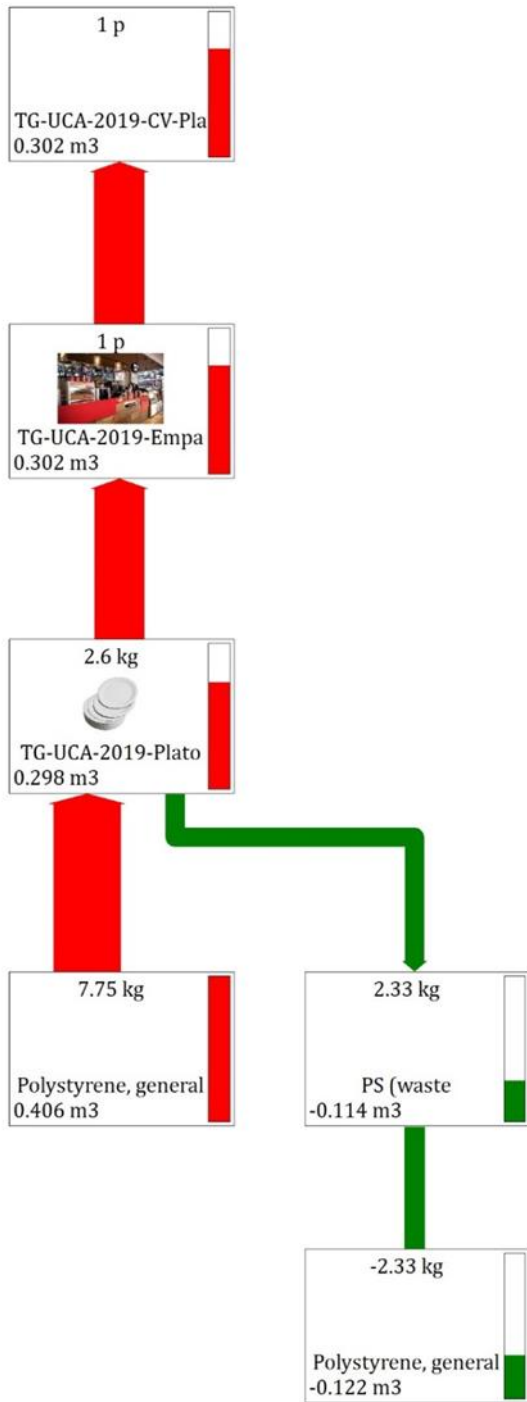


Figura 5 Diagrama de Red: Huella Hídrica para un recipiente de Poliestireno.
Fuente: [5]

La Tabla 2, muestra los resultados cuantitativos obtenidos para los factores de caracterización de impactos midpoint en los recipientes de poliestireno. Se detallan los resultados obtenidos para la simulación del ciclo de vida de la unidad funcional definida para los recipientes de poliestireno (lote compuesto de 500 unidades), indicando el aporte por etapas; Fabricación, Empaque y Disposición Final.

Tabla 2. Caracterización de impactos para 500 unidades funcionales de recipiente de poliestireno.

Impacto	Unidad	Total	Fabricación y Empacado	Disposición Final
Huella de Carbono	kg CO ₂ eq	33.2382	32.9244	0.3138
Huella Hídrica	m ³	0.3021	0.3020	0.0001
Huella Energética	MJ	766.8025	766.4420	0.3605

Fuente: [5]

Para validar los resultados, se calculó la fracción del aporte equivalente a la elaboración de una unidad y esta es comparada con el valor esperado que indica la literatura.

Se realizó la comparación de los resultados obtenidos con los datos encontrados en literatura a modo de validación y control de calidad del proceso.

El cálculo de la variación entre los resultados obtenidos y los resultados esperados se refleja en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación entre datos de literatura y datos de simulación para unidad funcional de recipientes de poliestireno.

	Huella de Carbono	Huella Hídrica	Huella Energética
Literatura	0.0374 kg CO ₂ eq	0.0001 m ³	1.2353 MJ
Resultado	0.0666 kg CO ₂ eq	0.0006 m ³	1.5366 MJ
Variación	78.30 %	544 %	24.39 %

Fuentes: [6], [4] y [5]

IV. DISCUSIÓN

Interpretación de los Resultados

Los tres factores de caracterización indican que la mayor parte de los impactos están contenidos en la materia prima que constituye la base del producto. En el caso de la huella carbónica, el material base acumula 67% de las emisiones de CO₂ Eq que contabilizan un total de 33.2 kg de CO₂Eq. Similar situación se tiene con la huella energética cuyo impacto contenido en el material (681 MJ) representa 89% del valor final reportado 766.8 MJ.

En el caso de la huella hídrica el valor del impacto acumulado sólo por el material base representa 0.406m³ correspondiente a 128% de las emisiones finales del ciclo de vida de la unidad funciona que reporta 0.3021 m³. En todos los casos el valor final del ciclo de vida en los factores de caracterización analizados se ve reducido gracias al descuento por impactos evitados durante el reciclaje de los excedentes del proceso productivo.



Respecto a los resultados individuales medidos por recipiente que fueron comparados con valores de la literatura, las desviaciones presentadas son explicadas principalmente por las condiciones particulares del modelo estudiado, ya que en El Salvador no hay producción ni de petróleo ni de sus derivados incluida la resina de Poliestireno. El modelo del caso de estudio incluyó los impactos ambientales de su proceso productivo acumulados para producir la materia prima expresados en los valores de la base de datos, y de ahí se incluyeron en el resto del sistema-producto.

Otro factor que incrementa los resultados son las distancias recorridas desde la fabricación, uso de los platos y destino final en el relleno sanitario. Estas condiciones incluidas en el modelo incrementan los impactos finales de su ciclo de vida. Todos los resultados de este caso de estudio fueron superiores a los resultados de literatura, sin embargo, el resultado de la huella hídrica es significativamente mayor debido al diseño del sistema de lavado del recipiente que no considera sistemas automatizados de limpieza.

Respecto a los valores de la huella energética [3] esta puede ser relacionada a la Huella de Carbono de un producto” pero incluye toda la energía utilizada en materiales adicionales, transporte, uso y disposición final de la unidad funcional.

La Figura 6. Presenta el detalle dividido por sus fuentes renovables y no renovables. A pesar del uso de una matriz energética costarricense, la cantidad que es usada de la red es significativamente pequeña en comparación con la energía contenida en el material y su proceso extractivo (resina de Poliestireno) la cuál es de fuente no renovable. Similar situación sucede con la energía acumulada por los procesos de transporte que también es de origen no renovable. Estos valores finales son los que constituyen el resultado expresado en la figura 6, donde se observa que a pesar de producirse en un país con un modelo de energía que incluye fuentes renovables, la materia prima, transportes y disposición final aportan la mayor parte del impacto energético y prácticamente utilizan energía de origen no renovable.

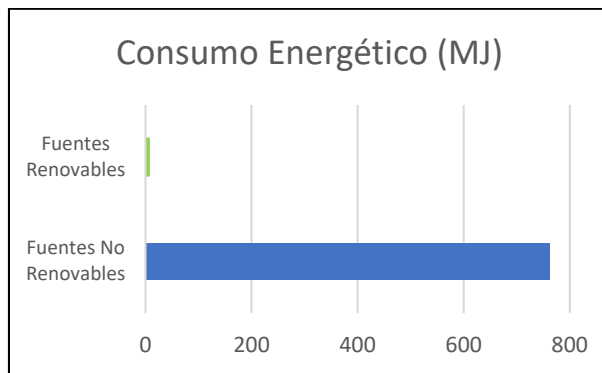


Figura 6 Evaluación de Consumo Energético por Categoría

Fuente: [5]

Es importante rescatar en la interpretación de los resultados las limitaciones inherentes al alcance del estudio y al software utilizado, ya que, por tratarse de un estudio preliminar, sus resultados deben corroborarse a través de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida más profundo que corrobore los resultados y permita un análisis de sensibilidad para poder establecer rangos de validez sobre los resultados. Debido a las limitaciones de la licencia Faculty utilizada, no fue posible generar ese análisis de sensibilidad, sin embargo, los resultados son compatibles con el alcance del caso de estudio y para el fin académico declarado.

V. CONCLUSIONES

El estudio de caso presentado utilizando la herramienta de Análisis de Ciclo de vida permitió cuantificar los valores caracterizados de los impactos en unidades midpoint para las huellas hídricas, carbónicas y energéticas, señalizando a la vez la etapa de su ciclo de vida donde se generan la mayor parte de los impactos caracterizados. Las fuentes bibliográficas consultadas describen que los procesos de extracción y transformación de materia prima para la elaboración de los recipientes de poliestireno requieren petróleo, combustibles, suministro de agua y energía en grandes cantidades. Es por esta razón que la obtención de la materia prima es la principal etapa del ciclo de vida donde se acumulan los impactos ambientales caracterizados como Huella de Carbono, Huella Energética y Huella Hídrica.

La caracterización de resultados permitió analizar los impactos ambientales de los recipientes en estudio por medio de la estimación de su magnitud para cada factor seleccionado. Como una forma de poder comparar externamente esos resultados, se puede concluir que la huella de carbono de la unidad funcional equivale a 8.5 teléfonos celulares cargados “Suponiendo una batería de 14.17 Watt-horas”[8]. Esta referencia hace más fácil al lector interpretar la importancia de ese impacto con una referencia más cotidiana.

Los métodos de análisis de impactos utilizados: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.02 para Huella de Carbono y Huella Hídrica así como el método “Cumulative Energy Demand”. Resultaron útiles no solo por su facilidad de comprensión y valores expresados en unidades midpoint comunes en la literatura académica, sino que permiten su comparación rápida con valores de otros estudios y publicaciones que permitan una revisión de los resultados. La naturaleza iterativa del análisis de ciclo de vida también fue de utilidad para la revisión y mejora del sistema-producto analizado y la depuración de errores hasta la presentación de los resultados incluidos en este caso de estudio. Los resultados, sin embargo, evidencian que el uso de platos de Poliestireno implican impactos mayores que los documentados en literatura internacional para el caso de estudio desarrollado en El Salvador, por lo que esta investigación da la pauta para la búsqueda de alternativas menos impactantes.



Para futuras investigaciones que permitan comparar los impactos caracterizados en este estudio con otras propuestas de productos o materiales alternativos, se sugiere diseñar un modelo que contemple una unidad funcional equivalente a diferentes sistemas-producto o alternativas, un análisis de sensibilidad de resultados que permita la identificación de márgenes de validez y finalmente la construcción de tablas de escenarios de disposición final de residuos con el objeto de orientar el estudio a la identificación de una metodología de tratamiento y/o manejo de desechos que permita comparar y tomar decisiones que reduzcan las emisiones de Energía, Agua y CO₂ equivalente.

VI. REFERENCIAS

- [1] B. I. Romero Rodríguez, "El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental," *Tendencias Tecnológicas, Boletín IIE*, pp. 91-97, 2003.
- [2] UNEP, "Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment," Paris, 2000.
- [3] ISO, "ISO 14040: 1997 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework," 1997. [Online]. Available: <https://web.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf>. [Accessed 2019].
- [4] Frankin Associates, LTD, "Life Cycle Inventory of Polystyrene Foam, Bleached Paperboard and Corrugated Paperboard Foodservice Products," Kansas, 2006.
- [5] I. Portillo, M. E. Pocasangre, K. Ramírez and R. Ramos, "Estudio comparativo entre recipientes de base poliestireno, cartón y plástico utilizados en los servicios de comida en una cafetería. Un enfoque de evaluación de impactos ambientales aplicando Life Cycle Assessment (LCA)," Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, 2019.
- [6] Franklin Associates, A Division of Eastern Research Group Inc. (ERG), "Life Cycle Assessment of Hefty Polystyrene Foam Plates and Two Coated Paperboard Disposable Plates," 2015.
- [7] M. Giraldi, L. de Medina, E. Castillo and R. León, "Environmental Impact Associated with the Supply Chain and Production of Grinding and Roasting Coffee through Life Cycle Analysis," *MDPI*, 2018.
- [8] Banco Mundial, "Emisiones de CO₂ (kt)," [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>.
- [9] MARN, "Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales," 2014. [Online]. Available: <http://www.marn.gob.sv/marn-presenta-diagnostico-de-la-situacion-actual-del-recurso-hidrico/>.
- [10] FONAES, "Fondo Ambiental de El Salvador," [Online]. Available: <http://fonaes.gob.sv/index.php/temas/recurso-hidrico/>.
- [11] EPA, "United States Environmental Protection Agency," 2018. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>. [Accessed 2019].