

**Artículo de Revisión**

**METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL IMPACTO AMBIENTAL  
DE LA LOGÍSTICA FARMACÉUTICA EN CUBA**

**METHODOLOGY FOR ENVIRONMENTAL IMPACT CALCULATION OF  
PHARMACEUTICAL LOGISTICS IN CUBA**

José Andrés Hernández Rech<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6052-328X>

Elena R. Rosa Domínguez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5371-0976>

René Abreu Ledón<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0136-1022>

José Alberto Knudsen González<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6435-8728>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 30, 2023; Revisado: Febrero 5, 2023; Aceptado: Febrero 22, 2023

**RESUMEN**

**Introducción:**

El aumento del impacto ambiental en la logística farmacéutica, ha despertado el interés por el uso de herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para lograr operaciones menos agresivas con el medioambiente. A pesar de esto, su uso continua siendo fragmentario y existe poca evidencia de su aplicación en la logística de medicamentos en Cuba. Por lo tanto, es necesario diseñar una herramienta para el apoyo a la toma de decisiones con enfoque en el impacto ambiental de las operaciones logísticas.

**Objetivo:**

Diseñar una metodología para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas en la cadena de suministro de medicamentos en Cuba.

**Materiales y Métodos:**

A partir de la revisión de la literatura especializada, se diseñó una metodología con enfoque en el ACV y para el cálculo del impacto ambiental de la logística farmacéutica



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

\* Autor para la correspondencia: José A. Hernández, Email: [jandres@uclv.cu](mailto:jandres@uclv.cu)



en Cuba. Además, se caracterizó el funcionamiento logístico de la cadena de suministro de medicamentos para contextualizar la aplicación de la metodología y favorecer la toma de decisiones.

**Resultados y Discusión:**

Se diseñó una metodología adaptada a las características de la logística farmacéutica en Cuba. Esta constituye una guía para tomar decisiones enfocadas en las operaciones logísticas sostenibles. El diseño se llevó a cabo con enfoque en la mejora continua y la retroalimentación para asegurar la implementación efectiva.

**Conclusiones:**

La aplicación de la metodología permitirá el diseño de los procesos logísticos a lo largo de la cadena de suministro de medicamentos para la selección de alternativas más limpias.

**Palabras clave:** análisis de ciclo de vida; cadena de suministro; farmacéutica; impacto ambiental; logística sostenible.

**ABSTRACT**

**Introduction:**

The increasing environmental impact of pharmaceutical logistics has sparked interest in the use of tools such as Life Cycle Assessment (LCA) to achieve less environmentally aggressive operations. Despite this, its use remains fragmentary and there is little evidence of its application in the logistics of medicines in Cuba. Therefore, it is necessary to design a tool to support decision-making with a focus on the environmental impact of logistics operations.

**Objective:**

To design a tool to support decision-making with a focus on the environmental impact of logistics operations.

**Materials and Methods:**

Based on a review of the specialised literature, a methodology was designed with a focus on LCA and for calculating the environmental impact of pharmaceutical logistics in Cuba. In addition, the logistical functioning of the pharmaceutical supply chain was characterised in order to contextualise the application of the methodology and facilitate decision-making.

**Results and Discussion:**

A methodology adapted to the characteristics of pharmaceutical logistics in Cuba was designed. It constitutes a guideline for decision making focused on sustainable logistics operations. The design is carried out with a focus on continuous improvement and feedback to ensure effective implementation.

**Conclusions:**

The application of the methodology will enable the design of logistics processes along the medicines supply chain for the selection of cleaner alternatives.

**Keywords:** life cycle assessment; supply chain; pharmaceutical; environmental impact; sustainable logistics.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

La gestión efectiva de la logística farmacéutica se ha convertido en uno de los elementos claves para el desarrollo de las infraestructuras de atención médica a nivel global. En los últimos años se han incrementado los esfuerzos de las empresas para perfeccionar los sistemas logísticos, los cuales se vieron fuertemente afectados por la pandemia de COVID - 19. Por otro lado, debido al aumento de los problemas medioambientales a nivel mundial, las empresas se enfrentan a una presión cada vez mayor para reducir el impacto ecológico negativo de las actividades logísticas (Mohsin y col., 2022).

El aumento del consumo mundial de productos farmacéuticos ha incrementado proporcionalmente la contaminación ambiental (Taylor, 2016). Esto está dado no solo por el incremento en la demanda de la industria, sino por la explotación de la infraestructura logística, especialmente durante el período pandémico. Para esto es imprescindible la coordinación y la cooperación transversal, la eliminación ecológica de los productos al final de su vida útil, la gestión proactiva de la retirada de productos, los nuevos puntos de referencia y la medición del rendimiento sostenible y el diseño de nuevos sistemas de regulación (Ding, 2018).

Debido a esto, las decisiones deben tener una perspectiva de sistema, considerar el ciclo de vida y todos los impactos relevantes causados. Como respuesta a esta problemática, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que reúne estas características y ha tenido aplicación en el sector farmacéutico desde distintas aristas (Jimenez-Gonzalez, 2002; Rodríguez y col., 2016; Siegert y col., 2019, Lima y col., 2022; Martin y col., 2022).

A pesar de que algunas empresas farmacéuticas reconocen las ventajas de utilizar el Análisis del Ciclo de Vida para medir su progreso hacia una industria más sostenible, la herramienta sigue estando lejos de convertirse en una práctica común (Jiménez-González y Overcash, 2014; Emara y col., 2018). En este sector, el ACV poseen un alto grado de heterogeneidad en cuanto a las opciones metodológicas, la elección de la unidad funcional, de las categorías de impacto (Emara y col., 2018) o el uso de la energía (Jimenez-Gonzalez, 2002). Esto, a su vez, reduce la solidez de los resultados y dificulta el diseño de estrategias logísticas sostenibles. En este sentido, se han aplicado diversas metodologías como las propuestas por Croci y col., (2021); de Bortoli y Christoforou, (2020); Stiel y col., (2016), para el cálculo del impacto ambiental de operaciones logísticas, específicamente en la transportación. Otros estudios, como los desarrollados por Rocha y Penteado, (2021) y Weber y col., (2023) abarcan aspectos relacionados con la logística inversa. A pesar de que los autores analizan el impacto ambiental de las operaciones logísticas, no se tienen en cuenta todos los procesos a lo largo de una cadena de suministro, por lo cual se justifica la necesidad de la presente investigación.

La industria farmacéutica constituye uno de los principales eslabones de desarrollo de Cuba y se ha visto fortalecida en los últimos años durante el enfrentamiento a la pandemia de COVID - 19. La cadena de suministro de medicamento incentiva el desarrollo de buenas prácticas ambientales, especialmente en el tratamiento de la logística inversa y la disposición final de productos farmacéuticos. No obstante, son escasos los estudios de impacto ambiental y ACV realizados a lo largo de la cadena de

---

suministro, por lo que no existe un enfoque de sistema para el desarrollo de la logística sostenible. Los investigadores y especialistas no cuentan con una herramienta metodológica para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas con enfoque en el ACV de los productos farmacéuticos. Por lo tanto, el desarrollo de estrategias de gestión logística a lo largo de la cadena de suministro carece de factores que tengan en cuenta el impacto ambiental para la toma de decisiones, el desarrollo de futuras operaciones logísticas sostenibles y la disminución en las emisiones de desechos.

A partir de lo anterior, el objetivo general de la presente investigación fue diseñar una metodología para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas en la cadena de suministro de medicamentos en Cuba.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el diseño de una metodología con enfoque en ACV, aplicable al sector farmacéutico cubano y específicamente a las operaciones logísticas de la cadena de suministro, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura especializada procedente de fuentes nacionales e internacionales, consultándose información en las bases de datos: SCOPUS, Web of Science, Emerald, SciELO y DOAJ. La búsqueda de la información se realizó principalmente siguiendo los términos de: “análisis de ciclo de vida”, “logística verde”, “logística sostenible” e “impacto ambiental”. A partir de los resultados se diseñaron los pasos a seguir para el cálculo y se orientaron los principales elementos a tener en cuenta para la aplicación de la metodología. Mediante la consulta con directivos y especialistas de la cadena de suministro, se llevó a cabo una caracterización completa del funcionamiento logístico de las operaciones logísticas de la cadena de suministro de medicamentos en Cuba para contextualizar la aplicación de la metodología y favorecer la toma de decisiones.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A partir de la revisión de la literatura especializada en análisis de impacto ambiental, la caracterización de la logística farmacéutica en Cuba y la consulta con directivos y especialistas de la cadena de suministro, se propone una metodología específica para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas. El diseño se lleva a cabo con enfoque en la mejora continua de los procesos logísticos y abarca toda la cadena farmacéutica del país. Se realiza además un análisis crítico de sus principales ventajas y limitantes para la aplicabilidad en el sector.

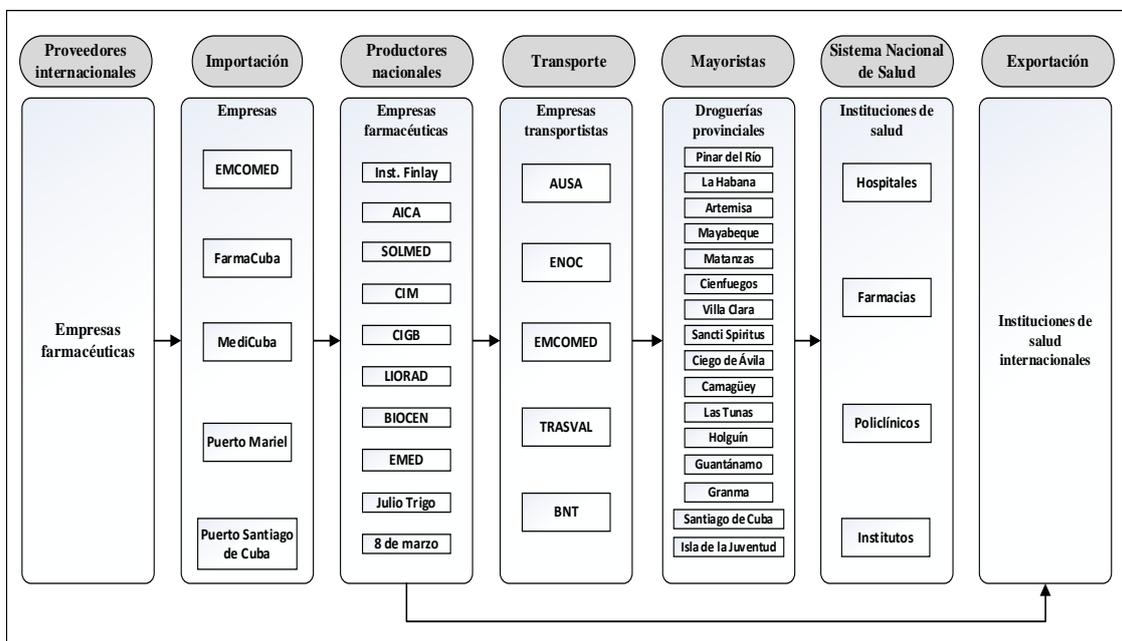
### ***3.1. Funcionamiento de la logística farmacéutica en Cuba***

A lo largo de la cadena de suministro (figura 1) son comercializados la mayor parte de los medicamentos y productos vinculados con el sector farmacéutico nacional, además de las materias primas para los productos ambulatorios, siendo EMCOMED la empresa comercializadora, encargada de la distribución primaria de medicamentos, material aséptico, reactivos químicos, medios de diagnóstico y otros. FarmaCuba como importadora y exportadora se encarga de la importación de las materias primas, material de envases, reactivos químicos, medios de diagnóstico e insumos farmacéuticos para la

---

producción nacional, y la exportación de los bienes obtenidos de la industria farmacéutica. MEDICUBA es otra importadora, pero en este caso perteneciente al Ministerio de Salud Pública (MINSAP), se encarga de la importación de suministros de insumos médicos, medicamentos, equipos y tecnologías requeridas por el sistema de salud en Cuba.

Los productos importados transitan directamente a las plataformas logísticas ubicadas en La Habana (Habana Vieja) y en Mayabeque (San José). Enviándose a San José los productos de temperatura no controlada y a la Habana Vieja los productos de temperatura controlada, los reactivos y otros, cuyos lotes son de baja cantidad o muy específicos. En las plataformas los productos importados se unen con los productos producidos en la industria nacional (según la categoría del producto como se explicó anteriormente), para luego pasar a las droguerías ubicadas en cada una de las provincias. Existen laboratorios cuyos productos son enviados directamente a las droguerías, es decir, no pasan por las plataformas logísticas; este es el caso de los productos de Mathisa, alcoholes, productos del Laboratorio Oriente y los productos de Medilip. Esta cadena incluye también los productos de los laboratorios cubanos para la exportación. En la cadena primaria intervienen 20 eslabones y aproximadamente 115 actores que conforman las entidades proveedoras, de transportación, encargadas de regular la entrada de mercancía, productoras nacionales, almacenes, plataformas y operadores logísticos, droguerías y entidades bancarias. Las droguerías son las principales encargadas de gestionar la logística inversa en la cadena de suministro. Estas participan en el proceso de reciclaje y disposición final de productos farmacéuticos que incluyen los medicamentos vencidos y otros desechos químicos.

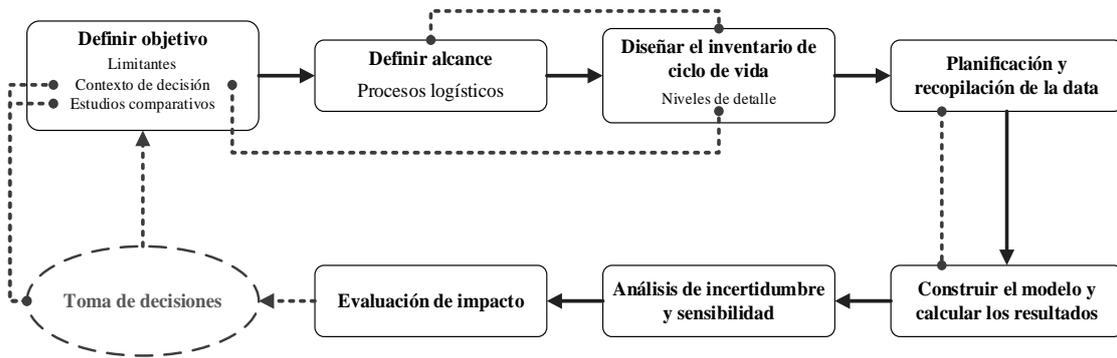


**Figura 1.** Cadena de suministro de medicamentos en Cuba

### 3.2. Metodología para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas

La metodología propuesta cuenta con siete etapas para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas (figura 2) en la cadena de suministro de medicamentos en Cuba. La misma posee carácter iterativo y de mejora continua para favorecer el proceso

de toma de decisiones con enfoque en el aumento de la sostenibilidad en la logística farmacéutica. Las líneas continuas representan el flujo de trabajo de una etapa a otra. Las líneas discontinuas representan las relaciones iterativas que existen entre las etapas.



**Figura 2.** Metodología para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas

### 3.2.1. Definición de objetivo

El objetivo del estudio de impacto ambiental constituye la primera etapa de la metodología propuesta. La misma pretende proporcionar una visión del ciclo de vida a través del desarrollo de los procesos logísticos en la cadena de suministros de medicamentos en Cuba. Los resultados del estudio facilitarán la evaluación, comparación y selección de alternativas de decisión estratégicas con enfoque en el impacto ambiental de las operaciones logísticas. Además, se pretende abarcar otras áreas de interés como el impacto ambiental de la cadena de suministro, la relación entre el rendimiento global y los residuos generados, la descripción de los procesos que intervienen y la comprensión general de la inclusión de los factores ambientales en la toma de decisiones.

El carácter iterativo y con enfoque en la mejora continua permite comparar el impacto ambiental de los procesos y las partes que más influyen, evaluar las potencialidades de mejora de los cambios en el diseño de la cadena de suministros (análisis y escenarios hipotéticos), documentar el comportamiento ambiental de los procesos y desarrollar políticas que tengan en cuenta los aspectos ambientales. La definición del objetivo puede estar condicionada por resultados obtenidos de un estudio o iteración anterior (Bjørn y col., 2017a).

### 3.2.2. Definir contexto de decisión

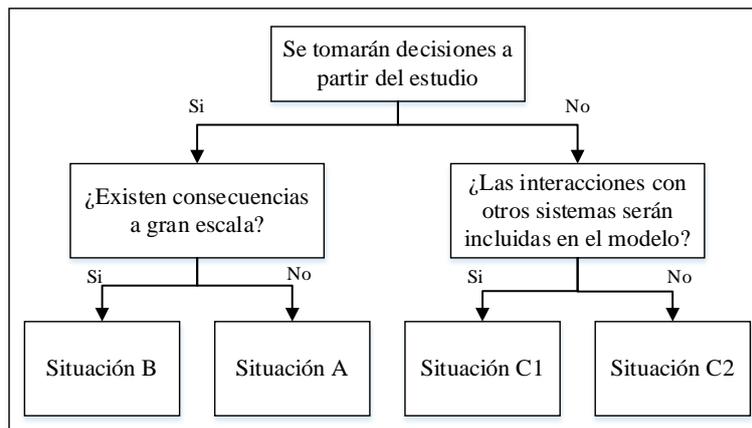
Este es un aspecto importante de la definición del objetivo e influye en la elaboración del inventario de ciclo de vida. Para eliminar la ambigüedad en la toma de decisiones y el objetivo de la investigación, Bjørn y col., (2017b) definen tres contextos de decisión: los niveles micro, macro y la contabilidad.

En el nivel micro los resultados del estudio se utilizan para apoyar una decisión que no provocará cambios estructurales en el sistema. Este puede conducir a cambios limitados en otros sistemas (ejemplo menor demanda de electricidad) pero los cambios no son de naturaleza estructural (ejemplo ningún equipo de producción de electricidad será retirado prematuramente del uso).

En el nivel macro los resultados del estudio se utilizan para apoyar una decisión que provoque cambios estructurales en uno o más procesos del sistema (ejemplo apoyar la decisión para la instalación de vehículos eléctricos para la transportación de mercancías). Una decisión de este tipo conllevará cambios estructurales ante el aumento sustancial del consumo eléctrico.

Los estudios enfocados en la contabilidad tienen un carácter puramente descriptivo y no están relacionados directamente con el proceso de toma de decisiones. Documenta lo que ya ha ocurrido, o lo que ocurrirá debido a una decisión que ya se ha tomado. Por lo tanto, la presencia del ACV no conducirá a cambios en el sistema. En este contexto, el investigador debe tener en cuenta dos aspectos, si la interacción con otros sistemas está incluida en el modelo (C1). Para ello se recomienda gestionar esta interacción mediante la ampliación del sistema para resolver procesos multifuncionales. Por otro lado, la situación C2 no tiene en cuenta las interacciones con otros sistemas. Esta se lleva a cabo cuando no es posible realizar la ampliación del sistema o cuando se encuentra en conflicto con la definición del objetivo.

La figura 3 muestra el tipo de contexto de decisión según el objetivo del estudio. La presente metodología es aplicable para cualquiera de los contextos seleccionados por el investigador.



**Figura 3.** Contextos de decisión para la definición de objetivos

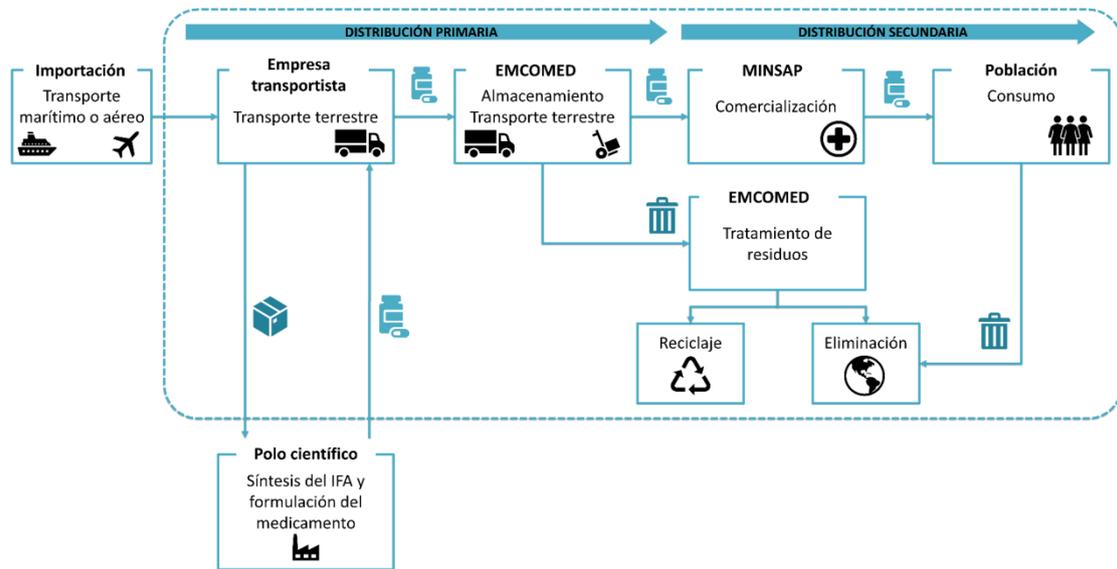
### 3.2.3. Definición de alcance

El estudio es una evaluación comparativa de diferentes alternativas de decisión logística en la cadena de suministro, utilizando el ACV como herramienta en un enfoque “De la cuna a la puerta”. La metodología está diseñada para el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas, por lo que se excluye del análisis los procesos de síntesis de principios activos (API por sus siglas en inglés) y formulación de medicamentos. Por lo tanto, el presente estudio abarca los procesos de transportación, almacenamiento, envase, embalaje y la logística inversa a lo largo de la cadena de suministro.

La figura 4 muestra los procesos generales, desde la importación de las materias primas para la formulación, hasta el almacenamiento y distribución de los medicamentos para el consumo y la logística inversa. El diseño se elabora a partir de la estructura actual de la cadena de suministro siguiendo el flujo material.

Un proceso unitario es el elemento más pequeño considerado en un modelo de inventario del ciclo de vida para el que se cuantifican los datos de entrada (materiales, energía, recursos) y salida (productos, residuos para tratamiento, emisiones) (Grimaud y

col., 2018). Para la aplicación de la metodología se tienen en cuenta los procesos logísticos que intervienen en el flujo material de la cadena, por lo que la definición de cada uno de ellos es fundamental para posteriormente elaborar el inventario del ciclo de vida. El alcance de la investigación puede variar dependiendo de factores prácticos en el diseño de inventario, como la accesibilidad a la información necesaria para ejecutar el estudio. En este punto el investigador debe evaluar el alcance inicial propuesto y balancearlo con el diseño de modelo de inventario de ciclo de vida en la etapa siguiente.



**Figura 4.** Procesos logísticos que interviene en la cadena de suministro

### 3.2.4. Unidad funcional

Una unidad funcional define los aspectos cualitativos y cuantitativos de la función, lo que generalmente implica responder a las preguntas “¿qué?”, “¿cuánto?”, “¿durante cuánto tiempo/cuántas veces?”, “¿dónde?” y “¿qué tan bien?” (Recchia y col., 2011). Para el presente estudio, el investigador debe enfocarse en el fármaco o grupo de fármacos que intervendrán en el flujo material de los procesos en cuestión. Es recomendable seleccionar un grupo de fármacos cuyos procesos sean homogéneos a lo largo de la cadena de suministro. De esta manera se evita ambigüedad en los resultados y se generalizan los cálculos.

Estudiar el impacto ambiental del consumo de medicamentos en el país afectaría la fiabilidad de los resultados al incrementar la aleatoriedad en un gran número de procesos. Sin embargo, realizar el estudio para fármacos individuales o grupos de fármacos favorece la recopilación de los datos y por lo tanto la veracidad de los resultados.

### 3.2.5. Diseñar el inventario de ciclo de vida

El inventario de ciclo de vida debe ajustarse al objetivo de la investigación y cumplir los requisitos derivados de la definición del alcance. Además, la información que el investigador obtiene al realizar el análisis de inventario también suele utilizarse para ajustar dichos requisitos. Esto ocurre sobre todo cuando las limitaciones imprevistas en la adquisición de los datos hacen necesaria una modificación en el alcance del estudio

(Hösel y col., 2019). El análisis de inventario de la presente metodología cuenta con cinco pasos:

- (i) identificación de procesos para el modelo de inventario;
- (ii) planificación y recogida de datos;
- (iii) construir y comprobar la calidad de los procesos unitarios;
- (iv) construcción del modelo y cálculo de los resultados;
- (v) preparación de las bases para la gestión de la incertidumbre y el análisis de sensibilidad.

### ***3.2.6. Niveles de detalle***

Conformar el modelo de inventario requiere detallar cada uno de los procesos logísticos que intervienen en la cadena de suministro. Este proceso se divide en tres niveles: (i) nivel uno donde se identifica el proceso unitario que tiene el flujo de referencia, como salida del producto (o los procesos unitarios, en el caso de más de un flujo de referencia); (ii) en el nivel dos se identifican los procesos necesarios para suministrar los flujos que realiza una función de apoyo al proceso de nivel uno, es decir, que no se incorporan físicamente a su producción (ejemplo el suministro de electricidad utilizado en el almacenamiento o el aceite utilizado en el proceso de transporte); (iii) en el nivel tres se identifican los procesos necesarios para producir y mantener la infraestructura que permite el proceso de nivel uno (ejemplo mantenimiento (engrase, sustitución y reparación de piezas de los vehículos).

### ***3.2.7. Planificación y recopilación de la data***

Esta etapa posee carácter iterativo junto con la construcción de modelo y cálculo de los resultados. La primera iteración puede orientar al investigador sobre qué datos son especialmente relevantes para centrarse en una segunda iteración (Bjørn y col., 2017b). La planificación tiene como objetivo equilibrar la recogida de datos con la relevancia de los mismos.

La recolección de los datos debe planificarse según el grado de especificidad requerido. Se recomienda listar cada uno de los procesos involucrados y declarar el tipo de dato en cuestión (ejemplo unidad de medida), el nivel de detalle requerido para el modelo diseñado (alto, medio, bajo), la fuente (ejemplo departamento de logística, artículos científicos, bases de datos especializadas) y la forma (ejemplo búsqueda online, cuestionario, consulta a sistemas de información de las empresas).

### ***3.2.8. Construir el modelo y calcular los resultados***

Cuando todos los procesos unitarios han sido construidos, el investigador puede construir el modelo. Cada proceso unitario puede verse como un “bloque de construcción”, cuyo tamaño se decide en última instancia por el flujo de referencia del estudio derivado de la unidad funcional. Esto se debe a que el flujo de referencia decide la cantidad necesaria de cada flujo de referencia específico del proceso. En otras palabras, cada proceso unitario debe ser escalado para ajustarse al modelo (Bjørn y col., 2017b).

---

### **3.2.9. Análisis de incertidumbre y sensibilidad**

El análisis de incertidumbre y sensibilidad es importante para la interpretación de los resultados del estudio, ya que puede informar al investigador sobre la solidez de las conclusiones del estudio y sobre los aspectos en los que deberían centrarse los estudios futuros para que los resultados sean aún más sólidos. Para poder realizar un análisis de incertidumbre, se debe recopilar información sobre la distribución estadística de los procesos (ejemplo: normal, log-normal o uniforme) y los correspondientes valores estadísticos de los parámetros (ejemplo: la media y la desviación estándar para los parámetros con distribución normal) (Rosenbaum y col., 2017; Recchia y col., 2011).

El análisis de sensibilidad permite identificar sistemáticamente los parámetros que tienen mayor influencia en los resultados del estudio de impacto ambiental. Para los parámetros cuantitativos del sistema, el profesional debe tratar de recopilar los valores mínimos y máximos. A menudo se necesita más tiempo para recopilar datos de sensibilidad e incertidumbre para algunos parámetros del sistema. Puede que no sea necesario recopilar datos para todos los procesos, dependiendo de las variables que se estén estudiando. Un ejemplo clave para los procesos logísticos es la variación de la demanda de medicamentos, que impacta directamente en el volumen de residuos generados en el consumo. Otro caso está dado por las emisiones de CO<sub>2</sub> que pudieran reducirse en el proceso de transportación, mediante la optimización de rutas de distribución. El análisis de sensibilidad constituye la base para la mejora de los procesos logísticos fundamentados en su impacto ambiental.

### **3.2.10. Evaluación de impacto**

La evaluación del impacto del ciclo de vida es una fase del ACV que tiene por objeto evaluar la magnitud de la contribución de cada flujo elemental (es decir, las emisiones o el uso de recursos de un sistema de productos) a un impacto en el medio ambiente. Su objetivo es examinar el sistema de productos desde una perspectiva ambiental utilizando categorías de impacto e indicadores de categoría junto con los resultados del análisis del inventario.

Las normas ISO 14040/14044 distinguen pasos obligatorios y opcionales para esta fase (ISO 14040, 2006; ISO 14044; 2006) que son la selección de las categorías de impacto, de los indicadores de categoría y de los modelos de caracterización; la asignación de los resultados a las categorías de impacto según sus efectos potenciales conocidos; y el cálculo de los resultados de los indicadores de categoría que cuantifican las contribuciones de los flujos del inventario a las diferentes categorías de impacto.

El objetivo de la selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización es encontrar los más útiles y necesarios para un objetivo determinado. Para ayudar a orientar la recopilación de información sobre los flujos elementales relevantes en el análisis del inventario, la selección de las categorías de impacto debe estar en consonancia con el objetivo del estudio y se realiza en la fase de definición del alcance, antes de la recopilación de los datos del inventario, para garantizar que esta última se oriente hacia lo que se va a evaluar.

### **3.3. Comparación con otras metodologías existentes**

Una de las principales ventajas de la metodología es que está orientada específicamente

---

para la aplicación en la logística farmacéutica en Cuba. Varios autores como Hauschild y col., (2017) proponen pasos generales que deben ser adaptados para aplicarse en sectores específicos. Por otro lado, existe amplia evidencia de ACV con enfoque en productos Hadinoto y col., (2022); Hernández-de-Anda y col., (2023), incluso varios estudios específicos para procesos de transporte Croci y col., (2021); de Bortoli y Christoforou (2020); Stiel y col., (2016), sin embargo, estos métodos no están enfocados en el impacto ambiental de todos los procesos logísticos que intervienen a lo largo de una cadena de suministro. Por último, otros estudios se centran en los sistemas de logística inversa (Rocha y Penteadó, 2021; Weber y col., 2023) mientras la presente investigación abarca la logística farmacéutica en Cuba de inicio a fin.

### **3.4. Limitantes en la aplicación de la metodología**

La metodología ha sido diseñada para guiar a los investigadores y especialistas en el cálculo del impacto ambiental de las operaciones logísticas, por lo que los procesos de síntesis del ingrediente activo y la formulación del fármaco no se incluyen en el modelo previsto. El nivel de detalle en la inclusión de otros procesos como el aprovisionamiento a proveedores nacionales, que a su vez abastecen a la industria (envases, embalaje, etiquetas), depende del acceso a los datos y el objetivo planteado por el investigador. La distribución primaria de la cadena de suministro de medicamentos en Cuba comienza con la entrada de la materia prima e insumos para la industria, además de los medicamentos importados, debido a esto, el alcance del modelo no abarca los procesos de transporte marítimo y aéreo para la importación.

## **4. CONCLUSIONES**

1. El ACV constituye la guía para la implementación de operaciones logísticas sostenibles en el sector farmacéutico cubano, mediante un enfoque de impacto ambiental adaptado a las necesidades y especificidades de la cadena de suministro de medicamentos.
2. La inclusión de los aspectos ambientales en la logística farmacéutica en Cuba se logra con un enfoque sistémico e integrado entre los procesos de la cadena de suministro y su impacto ambiental.
3. El cumplimiento de los pasos propuestos por la presente metodología facilita la selección de alternativas más limpias en las primeras etapas del diseño de los procesos logísticos farmacéuticos en Cuba.

## **REFERENCIAS**

- Bjørn, A., Laurent, A., Owsianiak, M., & Olsen, S.I., Chapter 7: Goal Definition., Life Cycle Assessment, Springer, 2017a, pp. 67-74. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Bjørn, A., Moltesen, A., Laurent, A., Owsianiak, M., Corona, A., Birkved, M., & Hauschild, M.Z., Chapter 9: Life Cycle Inventory Analysis, Life Cycle Assessment, Springer, 2017b, pp. 117-166. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Croci, E., Donelli, M., & Colelli, F., An LCA comparison of last-mile distribution logistics scenarios in Milan and Turin municipalities., Case Studies on Transport
-

- Policy, Vol. 9, No. 1, 2021, pp. 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.12.001>
- de Bortoli, A., & Christoforou, Z., Consequential LCA for territorial and multimodal transportation policies: method and application to the free-floating e-scooter disruption in Paris., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 273, 2020, 122898. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122898>
- Ding, B., Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains., *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 119, 2018, pp. 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.031>
- Emara, Y., Siegert, M.-W., Lehmann, A., & Finkbeiner, M., Life Cycle Management in the Pharmaceutical Industry Using an Applicable and Robust LCA-Based Environmental Sustainability Assessment Approach., *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies: From Science to Innovation*, Springer International Publishing, 2018, pp. 79-88. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6_9)
- Grimaud, G., Perry, N., & Laratte, B., Sustainability Performance Evaluation for Selecting the Best Recycling Pathway During Its Design Phase, *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*, Springer, 2018, pp. 11-19. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6>
- Hadinoto, K., Tran, T.-T., Chua, A., y Cheow, W. S., Comparing environmental impacts of direct compaction versus wet granulation tableting methods for drugs with poor flowability by life cycle assessment., *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 183, 2022, pp. 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.05.029>
- Hauschild, M., Rosenbaum, R., & Olsen, S., *Life Cycle Assessment: Theory and Practice.*, Springer, 2017, pp. 59-425. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Hernández-de-Anda, M.T., Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., Velarde-Sánchez, M., & Márquez-Benavides, L., Environmental impacts of a Mexican hemodialysis unit through LCA., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 384, 2023, 135480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135480>
- Hösel, C., Hesse, C., & Pestinger, R., Social Sustainability as a Target Figure in Life Cycle Assessment: Development of a Catalogue of Criteria for Measuring the Social Dimension., *Progress in Life Cycle Assessment*, Springer, 2019, pp. 33-44. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12266-9>
- ISO 14040., *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework.*, Geneva, 2006, pp. 1-20. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- ISO 14044., *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines.*, Geneva, 2006, pp. 1-46. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- Jimenez-Gonzalez, C., *Life Cycle Assessment in Pharmaceutical Applications.*, Dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering, 2002, pp. 76-90. <http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/5635>
- Jiménez-González, C., & Overcash, M.R., The evolution of life cycle assessment in
-

- pharmaceutical and chemical applications – a perspective., *Green Chemistry*, Vol. 16, No. 7, 2014, pp. 33-92. <https://doi.org/10.1039/C4GC00790E>
- Lima, P.A.B., Delgado, F.C.M., dos Santos, T.L., & Florentino, A.P., Medications reverse logistics: A systematic literature review and a method for improving the Brazilian case., *Cleaner Logistics and Supply Chain*, Vol. 3, 2022, 100024. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100024>
- Martin, N.L., Kononova, N., Cerdas, F., & Herrmann, C., LCA-based framework to support planning of centralized vs. decentralized production of solid pharmaceuticals., *Procedia CIRP*, Vol. 105, 2022, pp. 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.022>
- Mohsin, A.K.M., Tushar, H., Abid, S.F., Shams, K.K., Masum, M., Kamruzzaman, M., & Rahman, S., Green logistics and environment, economic growth in the context of the Belt and Road Initiative., *Heliyon*, Vol. 8, No. 6, 2022, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09641>
- Recchia, L., Boncinelli, P., Cini, E., Vieri, M., Pegna, F.G., & Sarri, D., *Multicriteria Analysis and LCA Techniques With Applications to Agro-Engineering Problems.*, Springer, 2011, pp. 5-26. <https://10.1007/978-0-85729-704-4>
- Rocha, T.B., & Penteadó, C.S.G., Life cycle assessment of a small WEEE reverse logistics system: Case study in the Campinas Area, Brazil., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 314, 2021, 128092. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128092>
- Rodríguez, R., Espada, J.J., Pariente, M.I., Melero, J.A., Martínez, F., & Molina, R., Comparative life cycle assessment (LCA) study of heterogeneous and homogenous Fenton processes for the treatment of pharmaceutical wastewater., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 124, 2016, pp. 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.064>
- Rosenbaum, R.K., Georgiadis, S., & Fantke P., *Uncertainty Management and Sensitivity Analysis.*, *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*, Springer, 2017, pp. 271-322. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Siegert, M.-W., Lehmann, A., Emara, Y., & Finkbeiner, M., Harmonized rules for future LCAs on pharmaceutical products and processes., *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 24, No. 6, 2019, pp. 1040-1057. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1549-2>
- Stiel, F., Michel, T., & Teuteberg, F., Enhancing manufacturing and transportation decision support systems with LCA add-ins., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 110, 2016, pp. 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.140>
- Taylor, D., *The Pharmaceutical Industry and the Future of Drug Development.*, *Pharmaceuticals in the Environment* Editors, The Royal Society of Chemistry, 2016, pp. 1-33. <https://doi.org/10.1039/9781782622345>
- Weber, L., Bartek, L., Brancoli, P., Sjölund, A., & Eriksson, M., Climate change impact of food distribution: The case of reverse logistics for bread in Sweden., *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 36, 2023, pp. 386-396. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.018>

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

---

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Ing. José Andrés Hernández Rech. Análisis formal, conceptualización, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición, investigación, metodología, visualización.
  - Dra.C. Elena R. Rosa Domínguez. Análisis formal, conceptualización, revisión y edición, investigación, metodología, supervisión, visualización.
  - Dr.C. René Abreu Ledón. Análisis formal, revisión y edición, investigación, metodología, supervisión.
  - Dr.C. José Alberto Knudsen González. Análisis formal, revisión y edición, investigación, supervisión.
-