NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA: CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
13 - 16 DE SEPTIEMBRE 2022 CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA
Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI

Modelo logístico integral para envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá

Julián David Silva Rodríguez

Universidad Santo Tomás
Tunja, Colombia

Resumen

Actualmente en el departamento de Boyacá se presenta un problema de no devolución y manejo inadecuado de los residuos de plaguicidas por parte de los agricultores y aplicadores de los agroquímicos. Debido a lo anterior, con el trabajo doctoral a desarrollar se pretende plantear un modelo para el funcionamiento de la red de logística inversa utilizada actualmente para la recolección y acopio de los residuos de plaguicidas, la cual se desarrollará por medio de un estudio de caso en el departamento de Boyacá y se seguirá una metodología donde en primera instancia se llevará a cabo una revisión literaria sobre los procesos que se están llevando a cabo a nivel mundial y nacional, seguido de un diagnóstico de cómo se está llevando a cabo actualmente el proceso de recolección y acopio de estos residuos agrícola, para posteriormente proponer una alternativa de mejora al proceso actual, teniendo en cuenta todos los actores que participan en dicho proceso. Igualmente, con el estudio se pretende crear un modelo referencial frente a la logística inversa de envases y empaques vacíos de plaguicidas, el cual pueda sirva como base para procesos de recolección y disposición final de estos residuos, debido a que hay una ausencia de estos modelos en la literatura específicamente para este tipo de residuos.

Palabras clave: logística inversa; plaguicidas; retorno de envases

Abstract

Currently in the department of Boyacá there is a problem of non-return and inadequate management of pesticide residues by farmers and applicators of agrochemicals. Due to the above, with the

doctoral work to be developed, it is intended to propose a model for the operation of the reverse logistics network currently used for the collection and storage of pesticide residues, which will be developed through a case study in the department of Boyacá and a methodology will be followed where in the first instance a literary review will be carried out on the processes that are being carried out at a global and national level, followed by a diagnosis of how the process of collection and storage of these agricultural residues, to subsequently propose an alternative to improve the current process, taking into account all the actors involved in said process. Likewise, the study aims to create a reference model against the reverse logistics of empty pesticide containers, which can serve as a basis for collection processes and final disposal of these residues, due to the absence of these models. in the literature specifically for this type of waste

***Keywords**: reverse logistics; pesticides; return of packaging*

1. Introducción

Según Rogers, et al. (2012), durante los últimos años, se ha evidenciado un crecimiento significativo en el desarrollo de investigaciones relacionadas con Logística Inversa (LI). En consecuencia, las empresas se han venido incentivando en diseñar e implementar sistemas de LI (Diabat, et al., 2013); según Gallo, et al. (2010) las principales razones por las cuales las empresas realizan LI son: beneficios económicos, presiones legales y la creciente cultura ciudadana respecto al tema de devolución de productos, razones que coinciden con lo expuesto por Rogers & Tibben-Lembke (1999) y Álvarez-Gil et al. (2007), quienes afirman que al practicar LI se obtiene enormes beneficios económicos para la empresa.

Muchos autores han realizado sus investigaciones con el fin de lograr una definición de LI, Stock (1992) define LI como el papel de la logística en la devolución de productos, el reciclaje, la sustitución de materiales, reutilización de materiales, eliminación de residuos, así como la renovación, reparación y re fabricación. La definición más utilizada de LI es la propuesta por Rogers (2007) en el Reverse Logistics Executive Council, la cual es definida como "El proceso de planificación, ejecución y control eficiente y rentable del flujo de materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar valor o realizar una correcta eliminación". Fleischmann, et al. (1997) clasificaron tres dimensiones de LI: la red de distribución inversa, sistemas de control de inventario con los flujos de retorno, y la planificación de la producción con la reutilización de piezas y materiales.

LI ha sido un tema que ha crecido poco a poco y ha dado origen a muchas investigaciones sobre el tema (Carter, et al., 1998; Stock, et al., 2009). Debido a lo anterior, varios autores como Carter, et al. (1998), Rogers, et al. (1999), Dowlatshahi (2000), Stock, et al. (2009), y Guide, et al. (2009), han descrito una extensa lista de sistemas de LI y sus estructuras, analizando la variedad de los problemas que surgen a raíz de esta. En consecuencia, los investigadores empezaron a centrar sus esfuerzos en diseñar sistemas de LI, con el fin de atacar los problemas relacionados con el mal manejo y tratamiento de los productos fuera de uso. Autores como Hu, et al. (2002), Sheu (2007), Zografos, et al. (2008), Bianco, Caramia, et al. (2009) y Verma, et al. (2012), han adelantado investigaciones con el fin de diseñar modelos de LI, para el control y buen manejo de

materiales peligrosos. De igual forma Lee, et al. (2009), Liu, et al. (2011), Srivastava (2008), Che, et al. (2012) y Hosseinzadeh, et al. (2012), han llevado a cabo investigaciones con el fin de diseñar sistemas de LI para la gestión y recuperación de productos fuera de uso en diferentes industrias como la informática, automotriz, entre otras.

Por otra parte, al momento de aplicar LI, las empresas buscan generar beneficios, logísticos, financieros y ambientales (Guide, et al., 2009). De esta forma, una manera correcta de lograr estos beneficios, es a través de la mejora ambiental de productos y procesos por medio de la aplicación de sistemas de LI, como por ejemplo la aplicación en los procesos de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas. Autores como Elfvendahl, et al. (2004), Sivanesan, et al. (2004) y Buczyńska, et al. (2005), han adelantado investigaciones sobre el tema, donde afirman que ha aumentado la preocupación por los riesgos que pueden generar, tanto en los seres humanos como en el medio ambiente, la eliminación inadecuada o el tratamiento indebido de los residuos de plaguicidas, convirtiéndose en un riesgo para la salud humana, debido a que los agricultores reutilizan estos envases para uso doméstico.

Debido a lo anterior varios autores han empezado a centrar sus esfuerzos por realizar estudios cuyo objetivo se enfoca en la evaluación e identificación de los factores que llevan a los agricultores a realizar la devolución de envases y empaques de plaguicidas, al igual que la descripción de prácticas más comunes frente al manejo de estos residuos (Haylamicheal, et al., 2009 y Ladeira, et al., 2012). Por otra parte, Contreras, et al. (2013), combinan LI con la recolección y disposición de envases de plaguicidas, desarrollando una investigación con el objetivo de diseñar un sistema de LI para la recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas en una unidad de riego del departamento de Boyacá – Colombia, bajo los requerimientos de la norma ISO 9001:2008.

Dadas las consideraciones anteriores, el presente documento muestra los resultados parciales de un proyecto de investigación desarrollado como trabajo de grado en el Doctorado de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAN.

2. Revisión de literatura

2.1. Investigaciones en Logística Inversa

Muchos autores han realizado sus investigaciones con el fin de lograr una definición de LI, Stock (1992) define LI como el papel de la logística en la devolución de productos, el reciclaje, la sustitución de materiales, reutilización de materiales, eliminación de residuos, así como la renovación, reparación y re fabricación. La definición más utilizada de LI es la propuesta por Rogers (2007) en el Reverse Logistics Executive Council, la cual es definida como "El proceso de planificación, ejecución y control eficiente y rentable del flujo de materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar valor o realizar una correcta eliminación". Fleischmann et al. (1997) clasificaron tres dimensiones de LI: la red de distribución inversa, sistemas de control de inventario con los flujos de retorno, y la planificación de la producción con la reutilización de piezas y materiales.

En consecuencia, los investigadores empezaron a centrar sus esfuerzos en diseñar sistemas de LI, con el fin de atacar los problemas relacionados con el mal manejo y tratamiento de los productos fuera de uso. Una de las primeras aplicaciones de diseño de sistemas de LI, fue en lo concerniente al control y buen manejo de materiales peligrosos, es así que autores como Wang, Cevik, Amin & Parsaee (2021) llevaron a cabo una investigación con e fin de estudiar una red de logística inversa específica para residuos domésticos peligrosos y examinar su diferencia con una red de residuos industriales y no peligrosos, donde desarrollaron un modelo de Programación Lineal Entero Mixto (MILP) Estocástico para residuos de pintura, cuya función objetivo es de tipo estocástica, representado por el valor esperado.

Igualmente, teniendo un enfoque estocástico, Yu, Sun, Solvang, Laporte & Lee (2020) proponen un modelo MILP bi-objetivo estocástico para realizar la gestión de residuos en hospitales de grado A de tercer nivel en Wuhan – China, con el fin de respaldar estas decisiones y así reducir la exposición de la población al riesgo y al mismo tiempo mantener un alto costo eficiencia del transporte y tratamiento de residuos peligrosos. El modelo incluye dos funciones objetivo para minimizar tanto el costo y el riesgo relacionado con la recogida, transporte, tratamiento y eliminación de residuos peligrosos.

De la misma forma en el ámbito de gestión de residuos hospitalarios, Eren & Tuzkaya (2021) y Govindan, Nasr, Mostafazadeh & Mina (2021) desarrollan investigaciones con el objetivo de modelar redes de LI para la disposición correcta de residuos médicos durante la pandemia del COVID-19, para ellos realizan modelos MILP multiobjetivo con el fin de determinar las cantidades a transportar y las rutas optimas que deben generarse para la gestión de dichos residuos.

Por otra parte, Yükseltürk, Wewer, Bilge & Dietrich (2021), desarrollaron un modelo MILP con el objetivo de ubicar varios centros de recolección de baterías de litios de vehículos electronicos en Alemania, donde se tiene en cuenta la capacidad de los centros de acopio actuales y la posibilidad de poder abrir nuevos centros y sus ubicaciones**.**

A raíz de los buenos resultados de las investigaciones desarrolladas en LI para residuos peligrosos, surgen otras investigaciones con el mismo propósito de diseñar redes de LI pero en este caso para diferentes productos fuera de uso. Uno de los sectores que ha tenido mayor atracción por los investigadores de LI, es la industria automotriz, es así que autores como Govindan & Gholizadeh (2021) realizaron una investigación con el objetivo de examinar una red de LI sustentable y resiliente para vehículos al final de su vida útil en Irán. La investigación propone un modelo matemático de MILP y haciendo uso para la solución del Algoritmo de Entropía Cruzada, considerando cómo tratar con diferentes decisiones con el uso de big data, de todas las áreas donde se presentan redes sostenibles de LI de vehículos al final de su vida útil, en un entorno de incertidumbre que implica toma de decisiones a largo plazo.

Así mismo para vehículos al final de su vida útil, Xiao, Sun, Shu & Wang (2019) construyeron un modelo de red de LI de cuatro niveles, que incluye fuentes de vehículos al final de su vida útil, centros de recolección, centros de remanufactura y desmanteladores en China. La investigación desarrolla un modelo MILP considerando las emisiones de carbono, con el objetivo de minimizar el costo total en la red de LI, que incluye los costos de transporte, los costos fijos del sitio para los

desmanteladores, los costos operativos para las actividades de desmantelamiento y desmontaje, el costo de la eliminación de desechos y los costos ambientales asociados con las emisiones de carbono

Por otra parte, existen autores que se dedican a diseñar y proponer modelos de LI que puedan ser aplicados a diferentes productos fuera de uso. Para electrodomésticos desechables de poliestireno, Gholizadeh, Goh, Fazlollahtabar & Mamashli (2022) modelaron un proceso de LI sustentable por medio de programación no lineal, con demanda y costo de recuperación inciertos de los productos usados.

En la tabla 1 se evidencia los diferentes tipos de residuos que han sido de interés para los investigadores, categorizado por materiales peligrosos y productos fuera de uso. Igualmente, en la tabla 2 se evidencian las diferentes herramientas matemáticas utilizadas por los investigadores con el fin de desarrollar sus estudios cuantitativos, donde se evidencia que la MILP es la herramienta más común dentro de los autores, debió a que esta herramienta ofrece la oportunidad de encontrar soluciones óptimas para los sistemas y tipos de residuos bajo estudio.

Tabla 1. Investigaciones en Logística Inversa

CATEGORIA	TIPO DE RESIDUO	INVESTIGADORES
MATERIALES PELIGROSOS	DOMESTICOS PELIGROSOS	Wang, Cevik, Amin & Parsaee (2021)
	HOSPITALARIOS	Yu, Sun, Solvang, Laporte & Lee (2020) Eren & Tuzkaya (2021) Govindan, Nasr, Mostafazadeh & Mina (2021)
	BATERIAS DE LITIO	Yükseltürk, Wewer, Bilge & Dietrich (2021)
PRODUCTOS FUERA DE USO	VEHICULOS	Kuşakcı, Ayvaz, Cin & Aydın (2019) Xiao, Sun, Shu & Wang (2019) Chaabane, Montecinos, Ouhimmou & Khabou (2021) Govindan & Gholizadeh (2021)
	ELECTRODOMESTICOS	Shuang, Diabat & Liao (2019) Gholizadeh, Goh, Fazlollahtabar & Mamashli (2022)
	CONSTRUCCIÓN	Trochu, Chaabane & Ouhimmou (2018) Aydin (2020) Yang & Chen (2020) Hu, Dong, & Xu. (2022)
	ELECTRONICOS	Lu, Zhu, Wang, Xie & Su (2020) Safdar, Khalid, Ahmed & Imran (2020) Jauhar, Amin & Zolfagharinia (2021)
	PRODUCTOS DEVUELTOS	Dutta, Mishra, Khandelwal & Katthawala (2020)
	RESIDUOS MUNICIPALES	Hashemi (2021)
	LLANTAS	Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas & Vásquez (2018)

Fuente: Autor

Tabla 2. Investigaciones en Logística Inversa

Autores	MILP	MINLP	PM	AEC	SP	AG	GP	FP	VRP
Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas & Vásquez (2018)	X								
Trochu, Chaabane & Ouhimmou (2018)	X								
Kuşakcı, Ayvaz, Cin & Aydın (2019)	X							X	
Xiao, Sun, Shu & Wang (2019)	X								
Shuang, Diabat & Liao (2019)	X				X				
Yu, Sun, Solvang, Laporte & Lee (2020)			X		X				
Aydin (2020)					X				
Yang & Chen (2020)	X				X				
Lu, Zhu, Wang, Xie & Su (2020)								X	
Safdar, Khalid, Ahmed & Imran (2020)			X						
Dutta, Mishra, Khandelwal & Katthawala (2020)			X				X		
Wang, Cevik, Amin & Parsaee (2021)								X	
Govindan, Nasr, Mostafazadeh & Mina (2021)			X						
Yükseltürk, Wewer, Bilge & Dietrich (2021)	X								
Chaabane, Montecinos, Ouhimmou & Khabou (2021)	X								X
Govindan & Gholizadeh (2021)			X						
Jauhar, Amin & Zolfagharinia (2021)			X						
Hashemi (2021)			X			X			
Gholizadeh, Goh, Fazlollahtabar & Mamashli (2022)		X				X			
Hu, Dong, & Xu. (2022)	X								

Fuente: Autor

2.2. Investigaciones en Residuos de Plaguicidas

Debido a las investigaciones anteriormente descritas, la recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, se puede considerar como un proceso de LI, con el fin de evitar el contacto directo de estos desechos con los seres vivos. Por esta razón, varios autores han adelantado investigaciones respecto al tratamiento y disposición de estos residuos de plaguicidas. Sharafi et al. (2018) investigaron la actitud y el comportamiento de los agricultores sobre el uso y los desechos de plaguicidas ubicado en la provincia de Kermanshah, en el oeste de Irán, donde los resultados demuestran que los agricultores no habían sido capacitados para el uso y disposición final de pesticidas. Igualmente, Bondori, Bagheri, Allahyari & Damalas (2019), adelantaron un estudio con el fin de investigar cómo los agricultores eliminan los desechos de pesticidas en el área de Moghan en Irán y los factores que influyen en su comportamiento, donde evidenciaron que la mayoría de los agricultores no utilizaba los envases vacíos de plaguicidas para uso doméstico (78,5%), ni enviaban los envases a centros de reciclaje o suministro de plaguicidas (84,1%). Casi la mitad de los agricultores (49. 2%) tenían poca conciencia de los riesgos de los pesticidas.

Otras investigaciones se enfocan en estudiar cómo se adelantan los programas de recolección. Por ejemplo, Jin, Bluemling & Mol (2018) presentan y analizan un programa exitoso de recolección de paquetes de pesticidas en una de las regiones más pobres de China (Guangxi), donde los autores afirman que si una compañía de pesticidas tomara la iniciativa para establecer un esquema de recolección de paquetes de pesticidas en otros contextos, el gobierno puede involucrar, en una etapa determinada, a otras empresas de plaguicidas en el establecimiento de tal esquema.

Finalmente, Marnasidis, Stamatelatou, Verikouki & Kazantzis (2018) y Garbounis & Komilis (2021), desarrollan modelos matemáticos para describir la tasa de generación de envases plásticos de pesticidas desechados en función de información proporcionada por los ingenieros agrónomos de tiendas de insumos agrícolas y cooperativas agrícolas (stakeholders) consultando a los agricultores.

3. Resultados

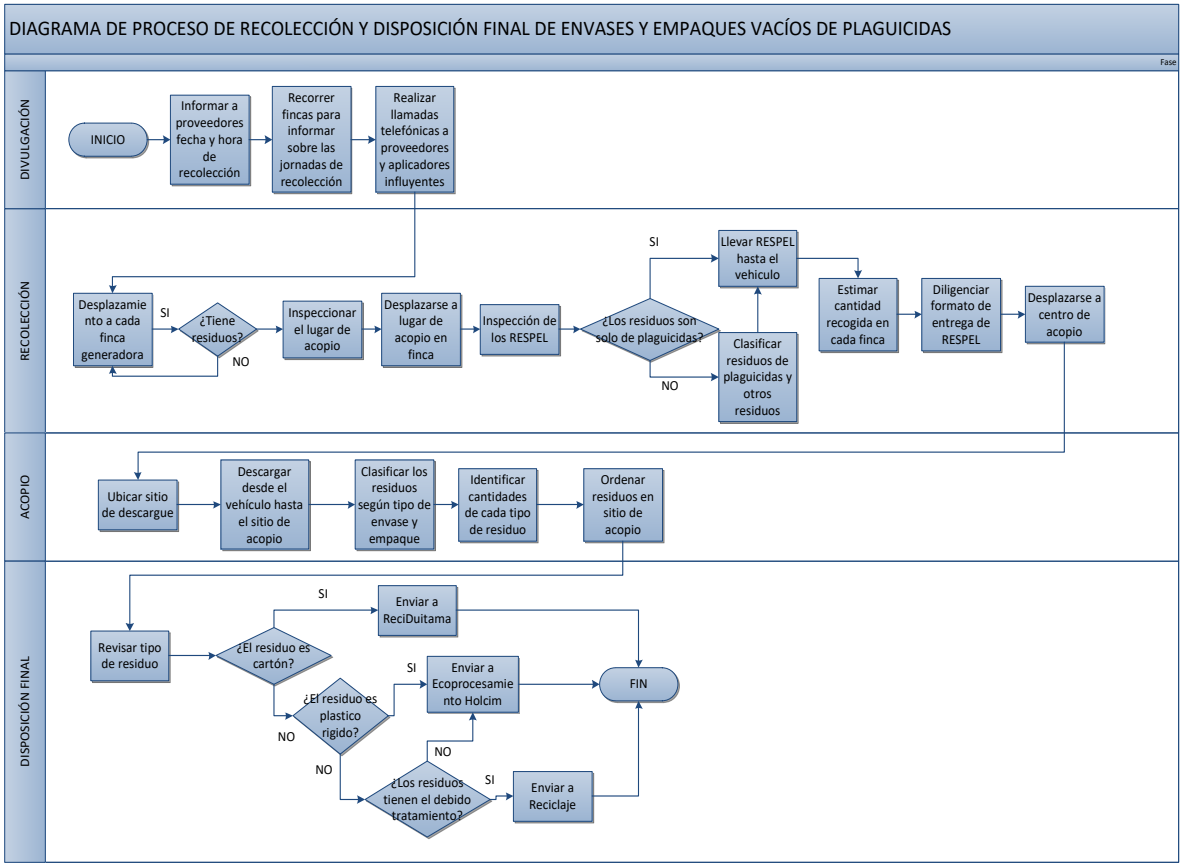
El proceso de recolección y acopio de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se desarrolla actualmente en el departamento de Boyacá es llevado a cabo de forma totalmente empírica, ya que no tiene en cuenta las actividades propias de la LI. Además, no se utiliza ninguna herramienta tecnológica o de ingeniería que aporte tanto en la planificación como en la ejecución de las jornadas de recolección. El proceso de logística inversa que se desarrolla actualmente comprende 4 etapas: Divulgación, Recolección, Acopio y Disposición final. En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso bajo estudio, el cual lista todas las actividades que comprenden las etapas anteriormente mencionadas.

- **Fase de Divulgación**. En esta etapa inicial, el distrito de riego con cooperación de la empresa recolectora y las empresas distribuidoras de los diferentes municipios que comprenden la zona bajo estudio, hace una propagación de información anticipada por medio de folletos o verbalmente donde se les comunica las fechas programadas para las jornadas. De igual forma, se realiza perifoneo, recorriendo los diferentes predios, donde se informa a los agricultores la fecha, el lugar de recolección y el tratamiento adecuado a los envases y empaques.

- **Fase de Recolección**. En esta etapa se traslada una volqueta, la cual recorre las fincas de cada unidad con el fin de que el generador haga entrega de los residuos de plaguicidas a la empresa encargada. En el trabajo de campo se evidenció que 2 de cada 11 fincas entregan sus envases clasificados y con el tratamiento adecuado, situación que ocasiona dificultad en el proceso de clasificación y procesamiento de los envases y además se incumple con el artículo 7 de la Resolución 693 (2007).

Posteriormente el operario recolector ubica el sitio donde se encuentran situados los residuos de plaguicidas para efectuar una pre inspección de los residuos y observar que sean exclusivamente residuos de plaguicidas, además de detallar el estado en que se encuentran estos residuos. En el momento de tener asegurado los desechos, se procede a trasladarlos hasta el vehículo, donde se verifica el tipo y cantidad de los residuos entregados, diligenciando un acta de entrega de Residuos Peligrosos (RESPEL) firmado por el agricultor que realiza la entrega.

Figura 1. Diagrama del proceso de logística inversa de envases y empaques vacíos de plaguicidas



- **Fase de Acopio**. Al finalizar el recorrido por la totalidad de las fincas, el vehículo se desplaza al centro de acopio correspondiente. En primera instancia en el centro de acopio, se ubica el sitio adecuado donde se realiza el descargue de los residuos recolectados. Posteriormente, el operario recolector procede a ordenar los residuos en el centro de acopio para apilarlos de forma segura.

- **Fase de Disposición Final**. Una vez almacenados los residuos de plaguicidas de forma segura, se realiza una revisión de los diferentes tipos de residuos recolectados. Según datos de la empresa recolectora, se estima que el 10% de los residuos recolectados, corresponden a cartón, el cual será enviado para reciclaje y el 90% restante de residuos que está compuesto por material plástico rígido, lonas y bolsas aluminizadas. Posteriormente se verifica las condiciones de los residuos de plástico rígido, donde los que tengan el debido tratamiento serán enviados para reciclaje, con el fin de utilizarlos para la fabricación de nuevos productos como madera plástica y los residuos que no posean el tratamiento adecuado serán enviados a la empresa Holcim para realizarles ecoprocesamiento.

4. Contribuciones originales

Con la investigación a desarrollar se espera aportar de forma práctica en el proceso de recolección y disposición de envases y empaques de plaguicidas en el departamento de Boyacá, ya que como se comentaba anteriormente, actualmente no se tiene una herramienta de planeación y gestión que garantice el correcto funcionamiento del proceso y la recolección total de los residuos, por ende con la propuesta a desarrollar se pretende obtener una metodología que tanto las empresas recolectoras como las entidades de control pueden adaptar y garantizar que los envases y empaques de plaguicidas no se conviertan en un foco de contaminación ambiental o llegue a ser causa de impactos a la salud de los agricultores.

Por otra parte, se pretende dar un aporte de nuevo conocimiento a nivel de teoría, ya que actualmente no existe un modelo o metodología especifica que reúna los conceptos de logística inversa aplicado a la recolección y disposición de envases y empaques de plaguicidas.

Igualmente se realiza un aporte significativo en términos de modelos de logística inversa, ya que el modelo a desarrollar es un modelo que pretende medir la eficiencia de los procesos de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas y a partir de ellos generar diversos escenarios de mejora.

5. Conclusiones

Por otra parte, el proceso bajo estudio se compone de 4 etapas: divulgación de las jornadas, recolección de los residuos generados en cada finca, acopio del total de los residuos recolectados en la jornada y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, pero dicho proceso no se puede considerar como LI, debido a que no aplica actividades propias de la misma y no se utiliza ninguna herramienta tecnológica o ingenieril para la planificación y ejecución de las jornadas de recolección.

Asimismo, el proceso presenta varias falencias en sus distintas fases. En la fase de divulgación se evidencia que no se está anunciando a la totalidad de los comercializadores influyentes en la zona objeto de estudio y, además, según los agricultores, falta mayor información y capacitación sobre las jornadas de recolección. Los agricultores sugieren mejorar los medios de comunicación para la divulgación. En la etapa de recolección se observa que la mayor parte de los agricultores no entrega sus residuos clasificados, incurriendo en el incumplimiento de la normativa vigente, por lo cual se deberían realizar capacitaciones y mayor supervisión sobre el manejo de residuos peligrosos.

6. Referencias

- Bondori, A., Bagheri, A., Allahyari, M. S., and Damalas, C. A. (2019). Pesticide waste disposal among farmers of Moghan region of Iran: current trends and determinants of behavior. Environmental monitoring and assessment, Vol. 191, No. 1, pp. 1-9.

- Carter, C. R. and Ellram, L. M. (1998). Reverse logistics–a review of the literature and framework for future investigation. Journal of business logistics. Vol. 19, No. 1, pp. 85-102.
- Diabat, A., Kannan, D., Kaliyan, M. and Svetinovic, D. (2013). An optimization model for product returns using genetic algorithms and artificial immune system. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 74, pp. 156-169.
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. Interfaces, Vol. 30, No. 3, pp. 143-155.
- Eren, E., and Tuzkaya, U. R. (2021). Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic. Computers & Industrial Engineering, Vol. 157.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A. and Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. European journal of operational research, Vol. 103, No. 1, pp. 1-17.
- Gallo, M., Murino, T. and Romano, E. (2010). The Simulation of Hybrid Logic in Reverse Logistics Network. Selected Topics in System Science and Simulation Engineering, pp. 378-384.
- Gholizadeh, H., Goh, M., Fazlollahtabar, H., and Mamashli, Z. (2022). Modelling uncertainty in sustainable-green integrated reverse logistics network using metaheuristics optimization. Computers & Industrial Engineering, Vol. 163.
- Govindan, K., and Gholizadeh, H. (2021). Robust network design for sustainable-resilient reverse logistics network using big data: A case study of end-of-life vehicles. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 149.
- Guide Jr, V. D. R. and Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM-the evolution of closed-loop supply chain research. Operations Research, Vol. 57, No. 1, pp. 10-18.
- Jin, S., Bluemling, B., and Mol, A. P. (2018). Mitigating land pollution through pesticide packages–The case of a collection scheme in Rural China. Science of the Total Environment, Vol. 622, pp. 502-509.
- Marnasidis, S., Stamatelatou, K., Verikouki, E., and Kazantzis, K. (2018). Assessment of the generation of empty pesticide containers in agricultural areas. Journal of environmental management, Vol. 224, pp. 37-48.
- Sharafi, K., Pirsaheb, M., Maleki, S., Arfaeinia, H., Karimyan, K., Moradi, M., and Safari, Y. (2018). Knowledge, attitude and practices of farmers about pesticide use, risks, and wastes; a cross-sectional study (Kermanshah, Iran). Science of the total environment, Vol. 645, No. 509-517.
- Stock, J.R. (1992). Reverse Logistics. Council of Logistics Management: Oak Brook, IL.
- Rogers, D.S. & Tibben-Lembke, R.S. (1999). Going Backwards. Reverse Logistics Trends and Practice. Council of Logistics Management, Pittsburgh, PA.
- Rogers, D. S., Melamed, B., Lembke, R. S. (2012). Modeling and analysis of reverse logistics. Journal of Business Logistics, Vol. 33, No. 2, pp. 107-117.
- Rogers, D. (2007, marzo). Glossary. Consultado el 11 de febrero de 2022 en http://www.rlec.org/glossary.html.
- Wang, J., Cevik, M., Amin, S. H., and Parsaee, A. A. (2021). Mixed-integer linear programming models for the paint waste management problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 151, pp. 102343.
- Xiao, Z., Sun, J., Shu, W., & Wang, T. (2019). Location-allocation problem of reverse logistics for end-of-life vehicles based on the measurement of carbon emissions. Computers & Industrial Engineering, Vol. 127, pp. 169-181.
- Yu, H., Sun, X., Solvang, W. D., Laporte, G., and Lee, C. K. M. (2020). A stochastic network design problem for hazardous waste management. Journal of cleaner production, Vol. 277.
- Yükseltürk, A., Wewer, A., Bilge, P., and Dietrich, F. (2021). Recollection center location for end-of-life electric vehicle batteries using fleet size forecast: Scenario analysis for Germany. Procedia CIRP, Vol. 96, pp. 260-265.

Sobre los autores

- **Julián David Silva Rodríguez**: Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Estudiante de Doctorado de la Universidad EAN. Docente de Tiempo Completo de la Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja. Investigador del Grupo de Investigación GISPA (Gestión Integral de los Servicios y la Producción Agroindustrial. julian.silva@usantoto.edu.co, jsilvar29925@universidadean.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)