

El uso de plaguicidas en México y el enfoque de logística inversa: una revisión de literatura

Julio Vilaboa-Arróniz^{1,§}

Jorge Aguilar-Ávila¹

Enrique Genaro Martínez-González¹

Diego Esteban Platas-Rosado²

Erika María Gasperín-García³

Arturo Heribia-Virués⁴

1 Centro de Estudios Económicos, Sociales y Tecnológicos de la Agroindustria y la Agricultura Mundial-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, El Cooperativo, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56227. (jaguilar@ciestaam.edu.mx; enriquemartinez@ciestaam.edu.mx).

2 Colegio de Postgraduados- Campus Veracruz. Carretera Xalapa 140, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México. CP. 91400. (dplatas@colpos.mx).

3 Universidad Politécnica de Huatusco. Predio Axol, Reserva Territorial, Huatusco, Veracruz, México. CP. 94106. (mtra.erika.gasperin104@uphuatusco.edu.mx).

4 Tecnológico Nacional de México- Campus Cosamaloapan. Av. Tecnológico S/N, Colonia Los Ángeles, Cosamaloapan, Veracruz, México. CP. 95400. (arturo.hv@cosamaloapan.tecnm.mx).

Autor para correspondencia: julio.vilaboa@ciestaam.edu.mx.

Resumen

Se realizó una revisión de literatura sobre el uso de plaguicidas en la agricultura en México y el enfoque de logística inversa, para conocer su uso actual y el potencial de aplicación de este enfoque en el sector. Se utilizó análisis de contenido en buscadores académicos, inteligencia artificial y estadísticas oficiales. La industria de plaguicidas en México representa un mercado de gran importancia económica; sin embargo, la información sobre su utilización y características de uso es limitada. Los plaguicidas han contribuido a la productividad agrícola pero también han generado externalidades negativas en salud y medioambiente. La logística inversa tiene pocos trabajos en la agricultura ya que la mayoría de los estudios son simulaciones o casos específicos, sin métodos estandarizados aplicables lo que representa un área de oportunidad económica y de investigación académica.

Palabras clave:

envases, inteligencia artificial, reutilización.



Introducción

Con la revolución verde, se intensificó el uso de agroquímicos y plaguicidas, lo que generó un crecimiento en la producción y la economía; sin embargo, en la década de los setenta no se consideraban los impactos negativos en el medioambiente y en la salud de las personas (Dias *et al.*, 2017) ni se cuestionaba sobre el destino de los envases de los plaguicidas (Marques y Vieira, 2015), éstos, según la FAO (2014) son sustancias destinadas a controlar plagas y el crecimiento de malezas en los cultivos. El manejo de envases de plaguicidas (EP) debe estar considerado de interés entre los temas de estudio de la logística inversa (LI), para su reutilización o eliminación lo que influye en la salud pública en el medio rural y el medio ambiente (Ballesteros y Ballesteros, 2007; Contreras y Silva, 2014).

Existe una relación entre la LI y la responsabilidad social empresarial (ESR) en cuanto a la implementación de prácticas amigables con el medio ambiente y beneficios a la sociedad (Gómez *et al.*, 2012), pues representa una ventaja competitiva (Reyes *et al.*, 2008). La LI se ha enfocado más en el sector industrial que en la agricultura (Contreras y Silva, 2014), por tanto, es importante la creación y el diseño de metodologías de colecta, tratamiento y destino de los EP.

En México, la estadística sobre el uso de plaguicidas es limitada ya que los datos disponibles provienen de censos y encuestas nacionales del sector agrícola e industrial que, si bien son de utilidad, no ofrecen información regionalizada ni específica por cultivo (Silveira-Gramont *et al.*, 2018; OCDE, 2021). El objetivo fue realizar una revisión de literatura sobre el uso de plaguicidas en México y de la LI para identificar su panorama general y la aplicación de este enfoque en el sector primario.

Metodología

Se aplicaron las metodologías de Campoverde *et al.* (2022); Contreras y Silva (2014) que se enfocaron al análisis literario y de contenido. Se revisaron artículos académicos indexados, se consultó el censo agropecuario, la encuesta nacional agropecuaria (ENA), la encuesta mensual de la industria manufacturera, informes de la OCDE, de la FAO, así como portales de empresas consultoras especializadas.

Mediante taxonomía web se utilizó el buscador Google Académico, Scopus, DOAJ y Redalyc se obtuvieron 117 000 resultados para 'logística inversa', 48 000 para "plaguicidas en México" y 2 620 al combinarlas; al reducir el intervalo de búsqueda de cualquier tipo de documento el resultado se redujo a 455 (años 2020-2024) y al especificar artículos relacionados con la agricultura y la LI disminuyó a 14. En una primera etapa, se revisó el enfoque, conceptos y modelos de LI para posteriormente enfocarlo a los plaguicidas.

Se consultaron más de 100 fuentes, de las cuales se seleccionaron poco más de cincuenta para el estudio considerando como criterio la relación entre la agricultura y la LI; es decir, que ambos se encontraran presentes y relacionados en los documentos encontrados. Se utilizó inteligencia artificial (Chat GPT 3.5) mediante preguntas orientadas a: volumen de plaguicidas en México, procesos de LI en envases, concepto de LI en agricultura, y empresas especializadas en esta actividad dentro del sector. La búsqueda de información se realizó durante 2024.

Los plaguicidas en México

Según el Censo Agropecuario 2022, México cuenta con 32 millones hectáreas agrícolas (64% están sembradas y 17% no son cultivadas), en la agricultura nacional, los principales problemas son los altos costos de producción y factores climáticos (82%), bajo precio de venta (65%), pérdida de fertilidad del suelo (37%) e inseguridad (21%) (INEGI, 2023).

El uso de plaguicidas ha generado daño en los suelos, contaminación de los mantos freáticos, afectaciones en la salud de los operarios y resistencia a plagas pues se han priorizado criterios técnicos y económicos sobre los ambientales (Albert, 2005; Ortiz *et al.*, 2014; SAGARPA, 2015;

García *et al.*, 2018; Silveira-Gramont *et al.*, 2018) además que al no tener datos específicos por región o cultivo se dificulta la valoración de sus externalidades negativas (Moo-Muñoz *et al.*, 2020; González-Bedoya *et al.*, 2023). Estos productos se clasifican por tipo de plaga, formulación, toxicidad, entre otros (SADER, 2019).

Aunque México tiene un marco legal (DOF, 1988; 1993; 1994; 2009), su implementación se ve limitada por la dispersión institucional y la falta de un enfoque de ciclo de vida de los productos (OCDE, 2021; Mordor Intelligence, 2023). Las leyes mexicanas que los regulan son la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DOF, 1988), la Ley Federal de Sanidad Vegetal (DOF, 1994) y las normas oficiales NOM-045-SSA1-1993 (DOF, 1993) y NOM-232-SSA1-2009 (DOF, 2009).

Además, existen dependencias relacionadas con su reglamentación, producción y distribución, como la Secretaría de Salud (SSA), la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (DOF, 2009; SADER, 2019). Es decir, el país cuenta con el marco legislativo y regulatorio, pero a falta de transversalidad en las mismas, así como el «enfoque de ciclo de vida para el manejo de plaguicidas», ha limitado la operatividad de estos (OCDE, 2021; Mordor Intelligence, 2023).

Según datos del INECC (2019); OCDE (2021) los estados de Sinaloa, Veracruz y Oaxaca son quienes utilizan mayor cantidad de plaguicidas; esto causado, entre otros factores por el monocultivo, los altos rendimientos e intensidad en el manejo; algunos de estos cultivos son maíz, caña de azúcar, tomate, chile, aguacate, naranja, limón y uva (Barba y Vázquez, 2021; Mordor Intelligence, 2023). En 2019, las ventas de plaguicidas superaron los 17 000 millones de pesos (aproximadamente 898 millones USD), con crecimiento anual de 3% entre 2013-2018. Los insecticidas son los más vendidos, seguidos por herbicidas y fungicidas (INEGI, 2019).

Se proyecta que para 2028 el mercado alcance 1 610 millones de dólares (Mordor Intelligence, 2023), en el país, solo 12 de 119 empresas son productoras; y alrededor del 80% del mercado está controlado por transnacionales como Bayer, Basf y Syngenta (COFECE, 2015; Bejarano, 2018).

Logística inversa: conceptos y su interdisciplinariedad

El proceso de LI inversa requiere de diseño, centros de acopio, clasificación, sistemas de información y presupuesto (Ballesteros y Ballesteros, 2007), por lo que conlleva una planificación, sistematización e integración de recursos (Díaz *et al.*, 2004; Reyes *et al.*, 2008). En la actualidad, la competitividad empresarial se relaciona tanto a factores productivos como al impacto socioeconómico y ambiental (Hurtado, 2020); por tanto, la producción debe considerar la calidad y costos, así como la reducción de externalidades negativas, donde la logística inversa (LI) pudiera ser una estrategia (Autry, 2005; Bustos, 2015).

En un principio, la logística se enfocaba a la eficiencia y ciertas certificaciones como justo a tiempo e ISO (International Organization for Standardization) pero su enfoque ha evolucionado hacia temas ambientales, hábitos de consumo y el cambio climático (Alshamrani *et al.*, 2007; Bustos, 2015). La propuesta inicial fue planteada por Stock (1992), la cual se enfocaba en el reciclaje y manejo de residuos peligrosos (Campoverde *et al.*, 2022), las mayores aportaciones sobre la utilización de este enfoque han sido en estudios de caso y simulaciones, particularmente en los sectores automotriz, electrónico, software y construcción mientras que, en la agricultura, los primeros trabajos surgieron hasta 2005 (Contreras y Silva, 2014).

Logística inversa en la agricultura

La utilización de la inteligencia artificial (Chat GPT 3.5), se realizó no como fuente de autoría sino con la finalidad de identificar los conceptos que maneja dicha herramienta sobre el tema; en este sentido, la IA considera a la LI en plaguicidas «como el proceso de gestión y retorno eficiente de los

envases vacíos de productos químicos utilizados en la agricultura». Se centra en la recolección, transporte y tratamiento adecuado de los envases vacíos para minimizar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad en la industria agrícola: 'implica el retorno eficiente y seguro de estos recipientes desde los usuarios finales hasta su disposición final' (Chat GPT 3.5).

Al cuestionar sobre el número de empresas con LI en la agricultura, la respuesta de IA fue: 'hasta mi última actualización en enero de 2022, no tengo información específica sobre el número exacto de empresas de logística inversa en la agricultura en México'. De igual forma al indagar en la IA sobre la cantidad de plaguicidas utilizados, se encontró que no se tienen cifras específicas sobre la cantidad utilizada en la agricultura mexicana para un año determinado lo que demuestra que es una problemática al uso de plaguicidas en México es la falta de información y estadísticas oficiales ya sea por cultivo o región, pues los datos que se pueden consultar son generales y provienen de los Censos Agropecuarios, de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) y de la encuesta mensual de la industria manufacturera, si bien estas manejan volumen y precios, carecen de información por regiones, formas de uso por cultivos y cantidades, entre otros (Silveira-Gramont *et al.*, 2018; OCDE, 2021).

Al citar el presente artículo en CHAT GPT 3.5 y solicitar un resumen de 120 palabras, la IA establece que: La Revolución Verde en la década de los 60 aumentó el uso de plaguicidas en la agricultura mexicana, impulsando el crecimiento económico. Sin embargo, se descuidaron los impactos ambientales y en la salud. La gestión de envases de plaguicidas se convierte en un tema crítico, siendo fundamental en la logística inversa (LI). Aunque la LI en la agricultura ha recibido menos atención, su importancia radica en la salud pública, el medioambiente y la responsabilidad social empresarial. La falta de información oficial sobre el uso de plaguicidas en México es un desafío. La revisión de literatura aborda el uso de plaguicidas y la LI, identificando la necesidad de más investigación en este campo (Chat GPT 3.5).

De igual forma, la IA establece que las necesidades de investigación en la agricultura mexicana están enfocadas en ocho tópicos: impacto de los plaguicidas en la salud y el medioambiente, recopilación de datos sobre el uso de plaguicidas, diseño de metodología estandarizada de LI en la agricultura, análisis de las externalidades negativas, sostenibilidad y competitividad, tecnologías sostenibles, coordinación interinstitucional, formación y concientización. Además, la IA establece como necesidades para la LI la estandarización de procesos, adopción y adaptación de tecnologías emergentes, diseño de redes de recolección, evaluación de ciclos de vida, colaboración interindustrial, investigación de economías circulares, educación y concientización, regulación y políticas; evaluación del impacto social, adaptación al comercio electrónico y concientización (Chat GPT 3.5).

Por su parte, al solicitar información sobre las empresas globales dedicadas a la venta de plaguicidas en México, el resultado fue: Syngenta, Corteva Agriscience y FMC. Solo las empresas líderes, a nivel mundial relacionadas con la LI, mencionan a Walmart, Coca Cola, Dell y entre las organizaciones a Council of Supply Management Professionals (CSCMP), Institute for Supply Management (ISM) y la Reverse Logistics Association (RLA).

Discusión

La LI se ha basado más en el sector secundario de la economía (transformación) (Contreras y Silva, 2014) y muchos de los estudios se enfocan en el diseño, planeación y simulación (Castelblanco *et al.*, 2012; Contreras *et al.*, 2013; Días *et al.*, 2017; Silva-Rodríguez y Contreras, 2022; Silva, 2022) en estudios de caso en regiones o áreas específicas (Contreras *et al.*, 2013; Silva-Rodríguez, 2017; Mejía, 2018), en diversos casos, es un proceso empírico que no puede ser considerado como LI (Contreras *et al.*, 2013; Silva y Contreras, 2015; Chapoñan y Portugal, 2019; Silva, 2022), por lo que pudiese abrirse un área de oportunidad de investigación si se relacionara con la agricultura.

México tiene establecido un marco legal para el uso y utilización de los plaguicidas; sin embargo, su operatividad es limitada al ser dividido en varias instancias, por lo que se requiere la transversalidad (Ortiz *et al.*, 2014; Esquivel-Valenzuela *et al.*, 2019). Debido a la falta de información clara sobre

el uso de estos productos ya sea por cultivo o región es de importancia estimar el potencial con base en el tipo de plaguicidas, características del envase y a ciertos periodos de utilización en las distintas regiones agroecológicas del país.

Acorde a (Días *et al.*, 2017; Silveira-Gramont *et al.*, 2018; Moo-Muñoz *et al.*, 2020; OCDE, 2021), este aspecto permitiría medir y cuantificar las externalidades y la aplicación de la LI en el sector primario (Ramírez, 2007; Montes-Castillo y Rodríguez-López, 2021). Así, los esfuerzos documentados de la LI en la agricultura han sido estudios de caso empíricos carentes de metodología o sistematización, por lo que puede representar un área de oportunidad económica y ambiental (Ramírez, 2007; Salas, 2020).

Se ha documentado, que el 88% de las empresas que comercializan agroquímicos y plaguicidas ofrecen algún tipo de capacitación a sus empleados para alentar a sus clientes a devolver el embalaje y realizar una adecuada eliminación de estos; no obstante, solo el 38% lo desecha correctamente (De Almeida y De Souza *et al.*, 2023). En este sentido, es de igual importancia la creación de esquemas regulatorios y de control de fácil acceso, operación y aplicación aprovechando el respaldo institucional, así como el 'enfoque de ciclo de vida para el manejo de plaguicidas' ha limitado la operatividad de los mismos (OCDE, 2021; Mordor Intelligence, 2023) ya que en el México no se ha la discusión y el análisis sobre la corresponsabilidad en el uso de los plaguicidas la cual debería ser cuatripartita, entre gobierno, empresas, distribuidores de insumos y productores, ya que es necesario que cada componente asuma su responsabilidad.

Cuando se realiza la búsqueda de empresas dedicadas a la LI en la agricultura, la IA no cuenta con algún tipo de información, esto podría ser resultado de la poca o nula obligación legal de realizar la devolución de envases, la falta de estructura adecuada y la falta de supervisión Días *et al.* (2016). Se ha documentado que la mayoría de los EP son desechados de forma incorrecta y que el proceso de LI es poco aplicado ya que muchos de los envases son quemados y desechados en los mismos campos agrícolas (CCA, 2014); además, Días *et al.* (2017) mencionan que cerca del 83% de los agricultores no devuelven los envases y no cumplen con las recomendaciones ambientales y de uso debido a la falta de capacitación, motivación y concientización. Dado que la LI es un enfoque de reciente, es probable que esa sea la razón por la que no hay una definición estándar sobre esta (Baranau y Lisec, 2020).

Necesidades de investigación y de política pública

La primera necesidad de investigación es la cuantificación exacta de la cantidad de agroquímicos y plaguicidas que se usan en el país, su distribución especial y por cultivo. Ello para tener más información al momento de la toma de decisiones. La metodología sería, principalmente; a través, de los productores y distribuidores de los agroquímicos.

La segunda es la cuantificación cercana a la realidad de la capacidad de asimilación de la naturaleza, esto es la capacidad de biodegradación de los agroquímicos, para estipular en las políticas públicas acciones para no exceder ese límite. La tercera sería valorar económicamente el efecto negativo del uso excesivo de los plaguicidas y agroquímicos para internalizar las externalidades negativas por su uso; es decir, que los usuarios principales (productores) ser hagan responsable del costo negativo por el uso de estos productos bajo una regulación y supervisión gubernamental ya sea mediante impuestos o a través de un cierto tipo de actividades que retribuyan al ambiente.

La cuarta, establecer la coordinación interinstitucional para el registro, control y distribución de agroquímicos y plaguicidas utilizados en la producción de alimentos. Finalmente, diseños de políticas públicas que contemplen las necesidades de los productores agrícolas y las demandas de los consumidores finales de los bienes y servicios agropecuarios para reflejar lo dispuesto a pagar por productos más saludables para el humano y la naturaleza. En general, se necesita desarrollar la capacidad de investigación científica y tecnológica en México para la toma de decisiones con base a resultados de investigaciones *in situ* y que cada uno de los actores asuma su responsabilidad.

Conclusiones

En México, los plaguicidas y agroquímicos se ocupan de manera convencional agricultura comercial, por tanto, es necesario estimar, a través de información ya fuese regional y estatal su modo de utilización, uso y volumen lo que permitiría modelar el destino y reutilización de los envases que generalmente son contenedores plásticos no biodegradables y altamente contaminantes, su disposición puede convertirse en un eje contaminante del medioambiente y de la salud en los operarios.

La logística inversa (LI) puede ser un enfoque y estrategia que coadyuve a solucionar esta problemática; no obstante, carece de un modelo estandarizado y adecuado para los envases y empaques de estos plaguicidas, por lo que es necesario la generación y desarrollo de modelos aplicables al sector primario, lo que representaría un área de oportunidad económica, ambiental y de investigación-desarrollo.

Bibliografía

- 1 Acevedo, S. J. A.; Urquiaga, R. A. J. y Gómez, A. M. 2001. Gestión de la cadena de suministro. La Habana, Cuba: Ed. ISPJAE. 1-9 pp.
- 2 Albert, L. A. 2005. Panorama de los plaguicidas en México. *In*: memoria del congreso de actualización en toxicología clínica, Tepic, Nayarit 1 y 2 septiembre de 2005. Retel, núm. 08. 1-17 pp.
- 3 Ali, Z. A.; Zain, M.; Pathan, M. S. and Mooney, P. 2023. Contributions of artificial intelligence for circular economy transition leading toward sustainability: an explorative study in agriculture and food industries of Pakistan. *Environment, Development and Sustainability*. Springer Science and Business Media B. V. 26(8):19131-19175. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03458-9>.
- 4 Almeida-Guzmán, M. y Díaz-Guevara, C. 2020. Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Avances en Ecuador. Estudios de la Gestión*. 22(8):34-56. Doi: <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>.
- 5 Alshamrani, A.; Mathur, K. and Ballou, R. 2007. Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies. *Computers and Operations Research*. 34(2):595-619. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.015>.
- 6 Arroyo-Morocho, F. R. 2018. La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo. *Innova Research Journal*. 3(12):78-98.
- 7 Autry, C. W. 2005. Formalization of reverse logistics programs: a strategy for managing liberalized returns. *Industrial Marketing Management*. 34(7):749-757.
- 8 Ballesteros, D. P. y Ballesteros, P. P. 2007. Importancia de la Logística Inversa en el Rescate del Medio Ambiente. *Scientia et Technica*. 8(37):315-320.
- 9 Baranau, I. and Lisec, A. 2020. Reverse logistics in agriculture. *Memories XIV. International conference on logistics in agricultura*. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-406-4.5> ISBN 978-961-286-406-4.
- 10 Barba, E. A. and Vázquez, J. A. 2021. Evaluación del consumo de agroquímicos en la agricultura mexicana. *Investigación y Ciencia en la Frontera*. 19(1):35-46. <https://doi.org/10.46589/rcf.vi19.54>.
- 11 Bejarano, F. 2018. Highly hazardous pesticides in Mexico, Pesticide Action Network in Mexico. 1-15 pp. <https://goo.su/LCaPF>.
- 12 Brito, M. P. and Dekker, R. 2003. A framework for reverse logistics. *Research in Management*. 3-27 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-24803-3-1>.

- 13 Bustos, F. and Carlos, E. 2015. La logística inversa como fuente de producción sostenible. *Actualidad Contable Faces*. 18(30):7-32.
- 14 Campoverde, J.; Carrillo, M. H.; Jiménez-Yumba, J.; Roldán-Nariño, R.; Loyola, D. y Coronel-Pangol, K. 2022. Revisión de la literatura sobre logística inversa, sus aplicaciones y tendencias futuras. *Enfoque UTE*. 13(2):31-47. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.782>.
- 15 Carter, C. R. and Ellram, L. M. 1998. Reverse logistics: a review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*. 19(1):85-102.
- 16 Castelblanco, G. X.; Ramírez, C. G. F. y Torres, G. M. A. 2012. Aplicación de Logística Inversa en laboratorios farmacéuticos-veterinarios ubicados en la ciudad de Bogotá. 32 p. <https://repository.usergioarboleda.edu.co/handle/11232/1200>.
- 17 CCA. 2014. La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas. Montreal, Canadá. Comisión para la Cooperación Ambiental. 1-6 pp.
- 18 Chapoñan-Rivero, K. y Portugal- Escobar, Y. 2019. La logística inversa en los últimos 15 años, una revisión sistemática de la logística inversa. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. 24 p. <http://hdl.handle.net/11537/21412>.
- 19 COFECE. 2015. Reporte sobre las condiciones de competencia en el sector Agroalimentario. 185-262 pp. <https://goo.su/txS2>.
- 20 Contreras, E. D. y Silva, J. D. 2014. Logística inversa usando simulación en la recolección de envases de plaguicidas: estado del arte. *Revista Ingeniería Industrial*. 13(1):33-50.
- 21 Contreras, E. D.; Fraile, A. M. y Silva, J. D. 2013. Diseño de un sistema de logística inversa para la recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas. *Revista Ingeniería Industrial*. 12(2):29-42.
- 22 De Almeida-Souza, E. C. V.; Lima, J. F. B.; Soliani, R. D.; Souza, O. P. R.; Oliveira, D. A.; Siqueira, R. M.; Silva, N. L. A. R. and Macédo, J. J. S. 2023. Reverse Logistics of pesticide packaging: a case study in Rio Branco/ac, Brasil. *Revista de Gestão Social e Ambiental*. 17(3):1-16. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n3-010>.
- 23 Dias, M. M.; Silva, B. J. S.; Monferte, M. E. y Pagám, M. M. 2016. Percepção dos revendedores e centrais de coleta do Inpev na região da Alta Paulista, como participantes da logística reversa das embalagens de agrotóxicos. *Sustentabilidade. Em Debate*. 7(3):62-78. Doi:10.18472/SustDeb.v7n3.2016.18350.
- 24 Dias-Marques. M.; Pagán-Martínez. M.; Silva-Braga, J. S.; Cataneo, P. F. y Da Silva, D. 2017. Logística inversa de envases de plaguicidas: percepción de los pequeños y medianos productores agrícolas. *Exacta*. 15(2):353-368. <https://doi.org/10.5585/ExactaEP.v15n2.7170>.
- 25 DOF. 1988. Diario Oficial de la Federación. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente LGEEPA. Secretaría de Gobernación (SEGOB). Gobierno de México. <https://dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=4718573&fecha=28/01/1988#gsc.tab=0>.
- 26 DOF. 1993. Diario Oficial de la Federación. Norma oficial mexicana nom-045-ssa1-1993, plaguicidas. productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. etiquetado. Secretaría de Gobernación (SEGOB). Gobierno de México. <https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/045ssa13.html#:~:text=nom%2d045%2dssa1%2d1993,%2dssa1%2d1993%2c%20plaguicidas>.
- 27 DOF. 1994. Diario Oficial de la Federación. Ley General de Sanidad Vegetal. Secretaría de Gobernación. Gobierno de México. <https://dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=4654906&fecha=05/01/1994#gsc.tab=0>.
- 28 DOF. 2009. Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009. Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial

- y doméstico. Secretaría de Gobernación (SEGOB). Gobierno de México. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4020/salud/salud.htm>.
- 29 Esquivel-Valenzuela, B.; Cueto-Wong, J. A.; Valdez-Cepeda, R. D.; Pedroza-Sandoval, A.; Trejo-Calzada, R. y Pérez-Veyna, Ó. 2019. Prácticas de manejo y análisis de riesgo por el uso de plaguicidas en la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 35(1):25-33. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.02>.
- 30 FAO. 2014. Código Internacional de Conducta. <http://www.fao.org/3/a-i3604s.pdf>.
- 31 FAO. 2017. Pesticide Indicators. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP>.
- 32 García, H. J.; Leyva, M. J. B.; Martínez, R. I. E.; Hernández, O. M. I.; Aldana, M. M. L.; Rojas, G. A. E.; Betancourt, L. M.; Pérez, H. N. E. y Perera, R. J. H. 2018. Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34(esp):29-60. Doi: 10.20937/RICA.2018.34.esp01.03.
- 33 García, O. A. A. 2004. Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de Logística Inversa. México. Eumed.net. 5-14 pp. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/aago/index.htm>.
- 34 Gómez, M. R. A.; Correa, E. A. A. y Vásquez, H. L. S. 2012. Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial. *Criterio Libre*. 10(16):143-158. ISSN 1900-0642.
- 35 González-Bedoya, M. A.; Betancur, V. M.; Arenas, E. C. N. y Rios, A. J. A. 2023. Aportes en la dimensión social y ambiental a la floricultura en el sector de hortensias bajo un enfoque de análisis de ciclo de vida. *Lúmina*. 25(1):E0049-E0049.
- 36 GPT 3.5. 2024. Logística inversa en plaguicidas utilizados en la agricultura mexicana. GPT-3.5. <https://chat.openai.com/c/9eed0ea9-1436-42ae-ae41-6f7f97265317>.
- 37 Hurtado-García, K. R. 2020. Sistemas de costo, logística inversa y gestión sostenible en empresas industriales. *Coodes*. 8(3):526-537. <http://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/35>.
- 38 INECC. 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Estudio sobre el uso de plaguicidas en México compilación 1980-2018. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). <https://goo.su/gNxj5>.
- 39 INEGI. 2019. Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera. <https://www.inegi.org.mx/programas/emim/2013/default.html#Tabulados>.
- 40 INEGI. 2023. Censo agropecuario. 1-18 pp. <https://acortar.link/bBjDqx>.
- 41 Krsti#, M.; Tadi#, S. and Ze#evi#, S. 2021. Technological solutions in logistics 4.0. *Ekonomika Pregled*. 69(5-6):385-401.
- 42 León, V. R.; Rio, D. Z. y Choy, J. G. 2008. Una revisión del proceso de la logística inversa y su relación con la logística verde. *Revista Ingeniería Industrial*. 7(2):85-98.
- 43 Marques, M. D. and Vieira, S. C. 2015. Produtores rurais em localidades do interior paulista como tupã e a logística reversa de devolução das embalagens vazias de agrotóxicos. *Revista Científica ANAP Brasil*. 8(11):30-46. Doi:10.17271/1984324081120151126.
- 44 Mejía, T. J. A. 2018. Logística inversa en productos posconsumo de plaguicidas en las empresas agroganaderas. <http://hdl.handle.net/10654/20485>.
- 45 Montes-Castillo, B. F. J. Z. and Rodríguez-López, M. C. 2021. La logística inversa en el manejo de los residuos de empaques y embalajes en el contexto del Covid-19. *Revista Vértice Universitario*. 23(91):3-13. <https://doi.org/10.36792/rvu.vi91.35>.
- 46 Moo-Muñoz, A. J.; Azorín-Vega, E. P.; Ramírez-Durán, N. and Moreno-Pérez, M. P. 2020. State of the production and consumption of pesticides in México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 23(2):1-12. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109820>.
- 47 Mordor Intelligence. 2023. Mexico Agrochemicals Market 2023-2028. <https://goo.su/kFG2ea>.

- 48 Mugoni, E.; Nyagadza, B. and Hove, P. K. 2023. Green reverse logistics technology impact on agricultural entrepreneurial marketing firms' operational efficiency and sustainable competitive advantage. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*. 2(2):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100034>.
- 49 OCDE. 2021. Gobernanza Regulatoria en el Sector de Plaguicidas de México. 12-45 pp. <https://goo.su/DPmh2>.
- 50 Ortíz, I.; Avila-Chávez, M. A. y Torres, L. G. 2014. Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 5(1):26-46. <https://doi.org/10.7603/s40682-014-0003-9>.
- 51 Ramírez, A. M. 2007. Nuevos beneficios de la logística inversa para empresas europeas y colombianas. *Universidad y Empresa*. 6(12):48-61. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=187217411005>.
- 52 Reyes, L. V.; Zavala, R. D. y Gálvez, Ch. J. 2008. Una Revisión del proceso de la logística inversa y su relación con la logística verde. *Revista Ingeniería Industrial*. 7(2):85-98.
- 53 SADER. 2019. Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo. 29-37 pp. <https://goo.su/p9da4b>.
- 54 SAGARPA. 2015. III Informe de labores 2014-2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 134-141 pp. <https://goo.su/8g8WXR>.
- 55 Salas, V. E. T. 2020. La logística inversa en el sector manufacturero y su impacto en el medio ambiente. *Economía y Negocios*. 2(1):35-42. <https://doi.org/10.33326/27086062.2020.1.906>.
- 56 Silva, J. D. y Contreras, E. D. 2015. Simulación de un proceso de logística inversa: recolección y acopio de envases y empaques vacíos de plaguicidas. *Entre Ciencia e Ingeniería*. 9(18):16-22. <https://goo.su/YrL6>.
- 57 Silva-Rodríguez, J. D. 2022. Modelo logístico integral para envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá. *In: nuevas realidades para la educación en ingeniería: currículo, tecnología, medio ambiente y desarrollo*. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI). 1-11 pp. <https://doi.org/10.26507/paper.2223>.
- 58 Silva-Rodríguez, J. D. 2017. Diseño de una red de logística inversa: caso de estudio Usochicamocha Boyacá. *Ingeniería y Ciencia*. 13(26):91-113. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.13.26.4>.
- 59 Silva-Rodríguez, J. D. y Contreras C. E. D. 2022. Simulación de un proceso de logística inversa: recolección y acopio de envases y empaques vacíos de plaguicidas. *Entre Ciencia e Ingeniería*. 9(18):16-22. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/541>.
- 60 Silveira-Gramont, M. I.; Aldana-Madrid, M. L.; Piri-Santana, J.; Valenzuela-Quintanar, A. I.; Jasa-Silveira, G. y Rodríguez-Olibarria, G. 2018. Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 4(1):7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01>.
- 61 Soto, J. P. y Ramalhinho, H. L. 2002. Un modelo de planificación de la producción recuperable. Grupo de recerca en logística empresarial Barcelona España. (3):1-39. <https://goo.su/DPmh2>.
- 62 Stock, J. R. 1992. Reverse logistics in the supply chain. Council of Logistics Management. 44-48 pp.



El uso de plaguicidas en México y el enfoque de logística inversa: una revisión de literatura

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 1 July 2025
Date accepted: 1 October 2025
Publication date: 14 December 2025
Publication date: Nov-Dec 2025
Volume: 16
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3921
DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3921

Categories

Subject: Ensayo

Palabras clave:

Palabras clave:

envases
inteligencia artificial
reutilización

Counts

Figures: 0
Tables: 0
Equations: 0
References: 62