



**ESTRATEGIAS DE LOGÍSTICA INVERSA EN UNIDADES
PORCINAS RURALES DEL CAMPO COLOMBIANO: UNA
ALTERNATIVA PARA DISMINUIR GASTOS Y MEJORAR
LA SOSTENIBILIDAD PRODUCTIVA**

Universidad EAN

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería industrial

Bogotá, Colombia

2025

Estrategias de logística inversa en unidades porcinas rurales del campo colombiano: una
alternativa para disminuir gastos y mejorar la sostenibilidad productiva

Autor

Óscar Andrés Collazos Cañón

Tutor

Ing. León Velásquez Elizabeth

Universidad EAN

Facultad de ingeniería

Proyecto de integración

Bogotá D.C., 2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del proyecto

RESUMEN EJECUTIVO

La porcicultura rural en el campo colombiano enfrenta retos económicos y ambientales derivados de la inadecuada gestión de residuos y empaques. Estos problemas generan sobrecostos en la producción y afectan la sostenibilidad del sector, especialmente en pequeñas y medianas granjas que para el panorama empresarial de Colombia podrían catalogarse como PYMES. Ante este panorama, la logística inversa se plantea como una alternativa estratégica para optimizar recursos, reducir impactos ambientales y fortalecer la competitividad.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar estrategias de logística inversa aplicables a granjas porcinas rurales, incorporando principios de economía circular y gestión ambiental. La metodología contempla el diagnóstico de prácticas actuales, la identificación de barreras técnicas y económicas, y la evaluación de alternativas de aprovechamiento como compostaje, biogás y reutilización de empaques.

Se espera que los resultados aporten un modelo práctico y ajustado al contexto rural, con beneficios en reducción de costos, mitigación de impactos ambientales y generación de conocimiento útil para productores y entidades de apoyo al sector

ABSTRACT

Rural pig farming in the Colombian countryside faces economic and environmental challenges derived from inadequate waste and packaging management. These problems generate additional production costs and affect the sector's sustainability, especially in small and medium-sized farms which, within the Colombian business landscape, can be categorized as SMEs. Given this scenario, reverse logistics is proposed as a strategic alternative to optimize resources, reduce environmental impacts, and strengthen competitiveness.

This project aims to design reverse logistics strategies applicable to rural pig farms, incorporating principles of circular economy and environmental management. The methodology includes diagnosing current practices, identifying technical and economic barriers, and evaluating recovery alternatives such as composting, biogas production, and packaging reuse.

The expected results include providing a practical model adjusted to the rural context, with benefits in cost reduction, mitigation of environmental impacts, and the generation of useful knowledge for producers and support entities within the sector.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL	2
Objetivos específicos	2
DEFINICION DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	5
ANALISIS DE REQUERIMIENTOS.....	6
Requerimientos técnicos:	6
REQUERIMIENTOS ECONÓMICOS Y ANÁLISIS DE COSTOS	7
Inversión inicial	7
RENTABILIDAD.....	12
REQUERIMIENTOS NORMATIVOS.....	16
REQUERIMIENTOS ORGANIZACIONALES	17
REQUERIMIENTOS SOCIALES Y CULTURALES.....	18
MARCO DE REFERENCIA	19
Marco teórico	19
logística inversa	23
FUNDAMENTOS TEORICOS.....	24
LAS PYMEs EN COLOMBIA	29
Esquema general del proceso.....	30
Marco normativo.....	31
CONCLUSIÓN	32
BIBLIOGRAFIA	34

INTRODUCCIÓN

La porcicultura rural en Colombia ha adquirido un papel relevante en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las comunidades campesinas. Sin embargo, gran parte de estas unidades productivas opera bajo un modelo lineal de producción, caracterizado por el uso intensivo de insumos y la eliminación inadecuada de residuos, lo que genera altos costos operativos y serios impactos ambientales (FAO, 2021). Esta situación limita la competitividad de los pequeños y medianos productores, quienes enfrentan márgenes de rentabilidad reducidos y restricciones para adoptar tecnologías limpias, como el caso de granjas de pequeña y mediana escala, incluso de productores emergentes que en el contexto ya mencionado no cuentan con la capacidad para dar manejo a este tipo de situaciones. En este contexto, la economía circular y la logística inversa podrían ser aspectos clave y estratégicos para el mejoramiento de lo ya mencionado. Pues tales estrategias no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que representan una alternativa viable para disminuir los gastos en granjas catalogadas como PYMES fortaleciendo al mismo tiempo la resiliencia económica de los productores (García-Torres et al., 2020).

De esta manera, la presente investigación se centra en analizar cómo la aplicación de estrategias de logística inversa puede convertirse en una herramienta para optimizar recursos, reducir costos y mejorar la sostenibilidad en las unidades porcinas rurales colombianas.

OBJETIVO GENERAL

Proponer una estrategia de logística inversa aplicable a granjas porcinas rurales de pequeña y mediana escala en Colombia, que permitan optimizar el uso de recursos, reducir costos de operación y contribuir a la sostenibilidad productiva y ambiental del sector.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar las principales prácticas actuales de gestión de residuos y subproductos en granjas porcinas rurales de pequeña y mediana escala en Colombia.
2. Analizar las barreras técnicas, económicas y organizacionales que limitan la implementación de esquemas de logística inversa en la porcicultura rural.
3. Evaluar el potencial de valorización de residuos (estiércol, aguas residuales, empaques, subproductos) mediante estrategias de economía circular como compostaje, biogás y reutilización de materiales.
4. Proponer un modelo de logística inversa adaptable al contexto rural, que considere la asociatividad entre pequeños productores como mecanismo de viabilidad técnica y financiera.
5. Estimar el impacto esperado del modelo propuesto en términos de reducción de costos y beneficios ambientales.

DEFINICION DE LA PROBLEMÁTICA

La porcicultura rural en Colombia constituye una fuente importante de empleo y seguridad alimentaria para pequeños y medianos productores. No obstante, gran parte de estas unidades productivas opera bajo un modelo lineal caracterizado por el consumo de insumos (alimentos balanceados, medicamentos, materiales de infraestructura) y la posterior eliminación de residuos sin procesos de aprovechamiento o valorización. Este esquema incrementa los costos de producción, reduce la eficiencia y genera impactos ambientales significativos, como la acumulación de estiércol y subproductos pecuarios, además de la disposición inadecuada de empaques plásticos (FAO, 2021; Ministerio de Agricultura de Colombia, 2020).

En contraste, enfoques como la economía circular y la logística inversa han demostrado ser herramientas eficaces para gestionar flujos de materiales y reincorporar residuos al sistema productivo, prolongando el ciclo de vida de los recursos y reduciendo los impactos negativos asociados a la producción agropecuaria (Ellen MacArthur Foundation, 2019; Rogers & Tibben-Lembke, 1999). En sectores agroalimentarios de otros países, la aplicación de estrategias como el compostaje, la generación de biogás, la reutilización de empaques y la valorización de subproductos ha contribuido a mejorar la sostenibilidad económica y ambiental (García-Torres et al., 2020; Sgarbossa & Russo, 2017).

Sin embargo, en la porcicultura rural colombiana, la implementación de estas prácticas es aún incipiente. Factores como la limitada infraestructura para el manejo de residuos, el desconocimiento técnico, la falta de financiamiento y la ausencia de modelos asociativos dificultan la incorporación de esquemas de logística inversa (Álvarez et al., 2021). Como

consecuencia, los productores enfrentan costos de operación elevados, baja competitividad en los mercados y desaprovechamiento de recursos con potencial de generar valor agregado.

De manera tal que surge la pregunta:

¿Qué estrategias de logística inversa pueden implementarse en granjas porcinas rurales de pequeña y mediana escala en Colombia para optimizar recursos, reducir costos y contribuir a la sostenibilidad productiva?

JUSTIFICACIÓN

La pertinencia de esta investigación radica en que busca identificar estrategias viables dentro de la ingeniería y que desde el punto de vista estratégico debe considerarse la logística inversa adaptada a las condiciones de las granjas porcinas rurales en Colombia. Pues desde una perspectiva económica, se pretende ofrecer alternativas para reducir costos de operación y aprovechar subproductos. En el plano social, se aporta al mejoramiento de la calidad de vida de pequeños productores al promover un modelo más competitivo y responsable. En el ámbito académico, la investigación contribuye a ampliar el conocimiento sobre la aplicación de la logística inversa en sectores tradicionalmente excluidos de los debates sobre sostenibilidad y economía circular.

En resumen, el proyecto podría ser viable y aplicable a diferentes modelos de producción pecuaria porque propone soluciones prácticas e innovadoras para transformar el sistema productivo porcino en contextos rurales, articulando la eficiencia económica con la responsabilidad ambiental, siendo así un modelo adaptable a unidades de negocio que operen de manera similar en el país.

ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

Desde el punto de vista de la ingeniería. La implementación de un modelo de logística inversa aplicado a granjas porcinas rurales en Colombia requiere identificar varios aspectos o más bien elementos que en conjunto condicionan la aplicación dentro del contexto nacional, los elementos son los siguientes:

Requerimientos técnicos:

Infraestructura: la infraestructura se refiere en este caso no solo a la distribución estratégica de la cadena de producción, sino también a la tecnificación de este como, por ejemplo: el uso de residuos orgánicos como estiércol que mediante tratamiento y proceso adecuado podría ser usado como sustento de biogás para la operación que lo requiera.

Equipos y tecnología: según sea el caso de la PYME se deberá considerar la adquisición de equipos tecnificados para ciertas operaciones necesarias como podría ser: separación de residuos sólidos, bombas y filtros para aguas residuales,

Sistema de información: Dentro de la tecnificación y aprovechamiento de toda la cadena de producción incluida la cadena de suministro, una empresa se diferencia de otra por los sistemas de control. Aquellos sistemas usados para llevar registro, control y novedades de la unidad. Permite en tiempo real evaluar las necesidades o posibles requerimientos que durante la operación sean detectados.

Capacitación técnica: Todo personal que se encuentre involucrado en el proceso requiere ser capacitado y formado en la actividad propia a la que ha sido asignado,

REQUERIMIENTOS ECONÓMICOS Y ANÁLISIS DE COSTOS

Inversión inicial

Uno de los aspectos más importantes para la implementación de lo que se propone en este proyecto es la definición de los recursos que resultan necesarios para que tanto una microempresa como empresas más desarrolladas puedan tener en cuenta al momento de aplicarlo. Es decir que se detalla la información mínima para la implementación estratégica y exitosa de la logística inversa en granjas porcinas de pequeña y mediana escala.

A continuación, se detalla en la tabla 1 y 2 los aspectos que componen la inversión inicial:

Tabla 1: Inversión de infraestructura equipos y herramientas. Nota: construida con información comercial pública de proveedores nacionales.

CONCEPTO	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (COP)	TOTAL (COP)
INFRAESTRUCTURA				
Construcción de composteras	Área de 20 m ² con piso en cemento y cubierta liviana	1	\$6.000.000	\$6.000.000
Biodigestor tubular plástico	Capacidad 20 m ³ para tratamiento de estiércol	1	\$12.000.000	\$12.000.000

Tanques de almacenamiento	Plásticos para aguas residuales (5.000 L)	2	\$2.000.000	\$4.000.000
Área de acopio de empaques	Estructura metálica techada (15 m ²)	1	\$4.500.000	\$4.500.000
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
Carretillas y herramientas menores	Palas, picas, carretillas para movimiento de residuos	3	\$ 500.00	\$1.500.000
Kits de seguridad (EPP)	Guantes, botas, mascarillas, gafas, overoles	5	\$ 250.00	\$1.250.000
Motobomba para manejo de aguas	Bomba portátil para recirculación de líquidos	1	\$1.800.000	\$1.800.000
Vehículo liviano (motocarro/carguero)	Para transporte de empaques y residuos	1	\$18.000.000	\$18.000.000

Por otra parte, se contemplan los gastos asociados a la formación del personal, es decir lo contemplado para capacitación y también lo que exige la normativa colombiana en cuanto a permisos ambientales, licencias y los registros que se deben manejar (Se mencionan en el inciso **“REQUISITOS LEGALES Y NORMATIVOS”**).

Tabla 2: Inversión por concepto de capacitación y asesoría. Nota: construida con información comercial pública de proveedores nacionales.

CAPACITACIÓN Y ASESORIA				
CAPACITACION TECNICA	Manejo de biodigestores, compostaje, normativas ambientales	1	\$3.000.000	\$3.000.000
ASESORIA LEGAL Y REGISTROS	Permisos ambientales, registro de residuos, apoyo en licencias	1	\$2.000.000	\$2.000.000

Una vez contemplado todo lo anterior el presupuesto total que se requiere para infraestructura, equipos, herramientas y capacitación es de 54,050.000 de pesos colombianos.

Tabla 3: Inversión por concepto de mano de obra, insumos y materiales Nota: construida con información comercial pública de proveedores nacionales.

CONCEPTO	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (COP)	TOTAL (COP/mes)
MANO DE OBRA				
OPERARIO MANEJO DE RESIDUOS	Encargado de compostaje, biodigestor y	1	\$1.200.000	\$1.200.000

	acopio de empaques			
AYUDANTE OCASIONAL	Apoyo en transporte, separación y limpieza (2 días/semana)	1	\$ 600.000	\$ 600.000
INSUMOS Y MATERIALES				
CAL AGRICOLA Y ADITIVOS	Neutralización de olores y mejora de calidad del compost	1	\$ 250.000	\$ 250.000
MATERIALES DE EMPAQUE RETORNABLES	Bolsas resistentes, sacos y etiquetado para devoluciones	1	\$ 200.000	\$ 200.000
EPPs	Reposición de guantes, mascarillas, botas y overoles	1	\$ 150.000	\$ 150.000
ENERGIA Y TRANSPORTE				
CONSUMO ENERGETICO BIOFIGESTOR	Electricidad y mantenimiento básico	1	\$ 250.000	\$ 250.000

COMBUSTIBLE MOTOCARRO	Transporte de empaques y residuos (dentro de la vereda/municipio)	1	\$ 350.000	\$ 350.000
MANTENIMIENTO Y SERVICIOS				
MANTENIMIENTO BIODIGESTOR	Inspección, ajustes y limpieza	1	\$ 150.000	\$ 150.000
MANTENIMIENTO DE AREA COMPOSTAJE	Reparación de techos, piso y equipos menores	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Gestión y asesoría				
ASESORIA TECNICA AMBIENTAL	Acompañamiento en normativas y optimización de procesos (trimestral)	1	\$ 150.00	\$ 150.00

RENTABILIDAD

A continuación, se contempla los elementos que intervienen para la rentabilidad del modelo:

Tabla 4: Beneficios esperados en la rentabilidad Nota: creación propia.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	AHORRO ESTIMADO (COP/año)
AHORRO EN FERTILIZANTES	Cada cerdo produce aprox. 2 ton/estiércol/año → compost para reemplazar fertilizantes químicos. 100 cerdos = 200 ton compost = ahorro en compra de fertilizante.	\$20.000.000
SUSTITUCION DE ENERGIA POR BIOGAS	El biodigestor puede reemplazar en promedio 2 cilindros de gas propano/mes (\$120.000).	\$1.440.000

VENTA DE EXCEDENTES DEL COMPOST	Si se vende parte del compost a \$100.000/ton (ej. 50 ton/año).	\$5.000.000
VENTA DE EMPAQUES RECICLADOS	Plásticos y costales recuperados, venta a recicladores.	\$1.200.000
TOTAL		\$27.640.000

La implementación de estrategias de logística inversa en granjas porcinas trae consigo una reducción progresiva de los costos operativos, gracias al aprovechamiento de los residuos generados que como ya se ha mencionado uno de ellos son el estiércol como insumo agrícola y a la sustitución de combustibles fósiles mediante la generación de biogás además de la reutilización o reaprovechamiento de empaques plásticos. Estos beneficios directos se reflejarán en reducciones progresivas de los gastos en fertilizantes químicos, reducción del consumo de gas propano y optimización de la gestión de empaques y subproductos (FAO, 2021; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Pero además desde el punto de vista ambiental, se prevé una **disminución** significativa en los impactos negativos asociados a la producción porcina, tales como la acumulación de residuos sólidos y la contaminación de fuentes hídricas. La valorización de los desechos permitiría reincorporar materiales al ciclo productivo, fortaleciendo la adopción de principios de economía circular. Esto no solo mitigaría los riesgos ambientales, sino que también

facilitaría el cumplimiento de normativas vigentes en materia de vertimientos y uso responsable del suelo (Ellen MacArthur Foundation, 2019; Álvarez et al., 2021).

Desde una perspectiva social, los resultados esperados se orientan a **mejorar la calidad de vida de los pequeños productores rurales**, al dotarlos de herramientas que aumenten su competitividad y sostenibilidad económica. El fortalecimiento de la asociatividad y la creación de redes de cooperación entre granjas contribuirán a consolidar modelos de negocio más resilientes frente a la volatilidad de los mercados y a la incertidumbre en el contexto económico (García-Torres et al., 2020). Además, la transferencia de conocimiento derivada del proyecto generará capacidades técnicas en las comunidades, aportando a la profesionalización del sector agropecuario y al desarrollo rural integral.

Finalmente, se espera que la implementación del modelo propuesto aporte a la generación de un **referente replicable** en otras actividades pecuarias, permitiendo escalar la experiencia hacia diferentes territorios y consolidar un marco de acción sostenible para la producción agroalimentaria en Colombia (Sgarbossa & Russo, 2017). Dado que los beneficios financieros se traducen en una única inversión y un retorno y utilidad esperado en un periodo corto.

Luego de evaluar los costos y posibles beneficios, en la siguiente tabla se contemplan los flujos de caja de 5 años relacionados con los beneficios y lo que cuesta operar.

Tabla 5: *payback*. Nota: creación propia.

AÑO	BENEFICIOS (COP)	COSTOS OPERACIÓN (COP)	FLUJO NETO (COP)
1	27.640.000	40.800.000	-13.160.000
2	30.404.000 (↑10%)	40.800.000	-10.396.000
3	33.444.400 (↑10%)	40.800.000	-7.355.600
4	36.788.840 (↑10%)	40.800.000	-4.011.160
5	40.467.724 (↑10%)	40.800.000	-332.276

Dado que el cálculo se planteó teniendo en cuenta una granja pequeña de 100 cerdos, es decir.

Se encuentra dentro de la clasificación **PYME**. Es importante considerar que:

- Como se observa en la tabla 5 el flujo neto durante los primeros 5 años es negativo lo que indica que la inversión no se recupera en los primeros 5 años y por tanto no logra ser viable de esta manera.
- Al obtener flujos negativos es imposible lograr el punto de equilibrio, sin embargo, esto cambia cuando el número de unidades porcinas aumenta. Es decir, que teniendo en cuenta los datos una granja podría obtener rentabilidad de alrededor del 15 al 20% con 500 unidades.
- Por lo anterior al aumentar 5 veces el número de cerdos la rentabilidad se multiplica por 5 es decir que se obtiene 138.2 millones al año.

- Los costos no crecen en la misma proporción. Lo que genera un flujo positivo anual de aproximadamente 94.4 millones recuperando la inversión inicial en 2 o 3 años por una VPN (Valor presente neto) a 5 años con un costo de oportunidad del 10% positivo siempre que se trabaje en proyectos colectivos o con 500 o más unidades porcinas. Sin embargo, se mantiene negativo en proyectos individuales pequeños.
- Al ser **MIPYMES** no se cuenta con los recursos suficientes para comprar de 100 a 500 cerdos. Pero en un escenario eventual podría considerarse la unión de pequeños porcicultores a fin de integrar un solo modelo de negocio (cooperativa de productores).

REQUERIMIENTOS NORMATIVOS

El proyecto requiere dar cumplimiento a lo establecido en la normativa actual.

Específicamente a:

- Ley 1259 de 2008 la cual establece comparendos ambientales por infracciones o afectaciones contra el medio ambiente.
- Acatamiento de la Ley 1672 de 2013 sobre gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), aplicable a equipos agropecuarios obsoletos.
- Regulaciones del Ministerio de Ambiente y el ICA sobre el manejo de residuos pecuarios y aguas residuales.
- Normas locales de uso del suelo y licencias ambientales definidas en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

- Cumplimiento de la normatividad sobre empaques y envases (Resolución 1407 de 2018).

REQUERIMIENTOS ORGANIZACIONALES

Los requerimientos organizacionales se centran en la necesidad de estructurar mecanismos de gestión interna que permitan coordinar de manera eficiente los procesos productivos, administrativos y ambientales. En este sentido, resulta indispensable contar con una organización formal que defina roles y responsabilidades claras para los productores, establezca procedimientos estandarizados de recolección, clasificación y aprovechamiento de residuos, y garantice la trazabilidad de los materiales reincorporados al ciclo productivo. Asimismo, se requiere fomentar la asociatividad entre pequeños y medianos productores para generar economías de escala y mejorar la capacidad de negociación frente a proveedores y compradores. Estos requerimientos organizacionales también incluyen el diseño de esquemas de capacitación continua, la implementación de sistemas básicos de información para el control de inventarios y residuos, y la adopción de prácticas de gestión financiera orientadas a evaluar costos, beneficios y sostenibilidad en el largo plazo. De esta manera, la estructura organizacional se convierte en el eje articulador que asegura la viabilidad técnica, económica y ambiental del modelo propuesto.

REQUERIMIENTOS SOCIALES Y CULTURALES

Los requerimientos sociales y culturales están orientados a garantizar la aceptación, participación y apropiación por parte de las comunidades involucradas. En primer lugar, es necesario fomentar procesos de sensibilización y educación ambiental que permitan a los productores y sus familias comprender la importancia de transformar los residuos en recursos y adoptar prácticas sostenibles en su cotidianidad. Además, se requiere reconocer y respetar las dinámicas culturales y las costumbres locales, de modo que las soluciones propuestas no resulten invasivas ni incompatibles con los valores y tradiciones campesinas, sino que se integren de manera armónica en sus prácticas productivas y sociales. Otro aspecto fundamental es promover la cooperación y el trabajo colectivo como mecanismos para superar el individualismo que caracteriza a muchos sistemas productivos rurales, incentivando la asociatividad como estrategia de fortalecimiento social y económico. Finalmente, es clave generar espacios de participación inclusiva donde mujeres, jóvenes y actores comunitarios puedan aportar al diseño y desarrollo del proyecto, favoreciendo así la equidad social y la consolidación de modelos productivos más resilientes y sostenibles en el tiempo.

MARCO DE REFERENCIA

Marco teórico

Desde el punto de vista organizacional. La logística y cadena de suministro son actividades de suma importancia para el funcionamiento adecuado y productivo de una compañía, siendo este uno de los pilares más importantes a tener en cuenta en la estructura organizacional pues permite, organizar, administrar, implementar y dar control a los bienes que constituyen parte del patrimonio de una organización.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante mencionar las divisiones que podría tener la palabra logística ya que por la generalidad del concepto este por si solo abarca muchas actividades que según Bellou (2004) se clasifican como se observa en la figura 1.

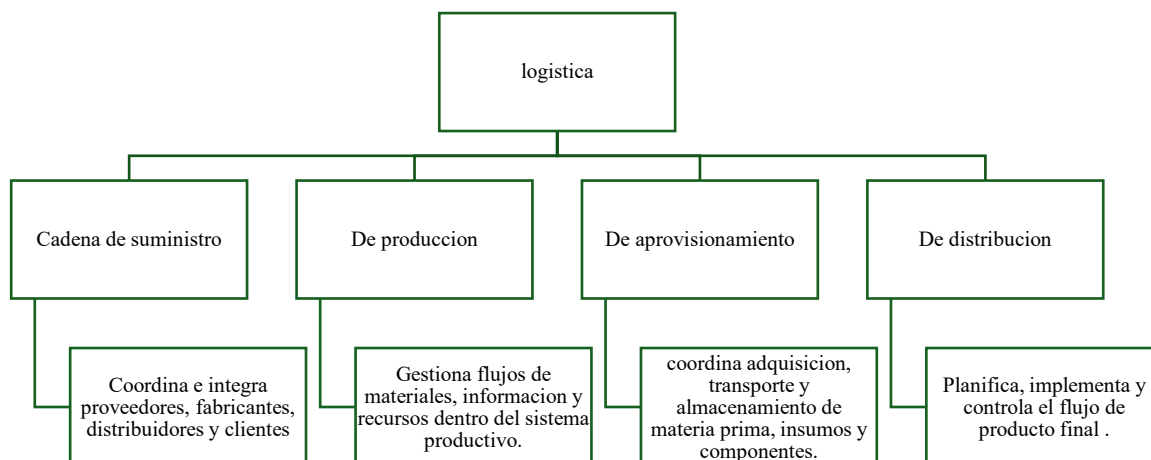


Ilustración 1

Mapa conceptual de la clasificación de la logística.

Nota: Adaptado de Logística: administración de la cadena de suministro (5.ª ed.), por R. H. Ballou, 2004, Pearson.

Con base en lo anterior, se logra comprender que el sistema general de logística y que tradicionalmente se conoce se comporta de la siguiente manera:



Ilustración 2

Diagrama de flujo general del proceso logístico tradicional.

Nota: La ilustración 2 es creación propia.

De esta forma se comporta el proceso tradicional. Imaginemos un producto de consumo de primera necesidad como un alimento como el pan, siendo su primera etapa la cosecha y obtención de la materia prima que en este caso de manera muy general es: el trigo. Luego quien elabora el pan (empresa) contacta a quien se encarga de la obtención de la materia prima (proveedor) para que este suministre ese bien material a sus instalaciones a fin de comenzar con el proceso de elaboración del pan. Y luego de la transformación este será entregado al consumidor final (cliente).

De una forma simple se puede comprender lo que ocurre en términos de la logística. Desde luego que entre lo mencionado se encuentra relacionado cada termino visto en la *ilustración 1* pero que de manera general es el proceso que ocurre tradicionalmente, sin embargo. En

años anteriores se ha venido generando un movimiento ambiental que va de la mano con la sostenibilidad y que nace aproximadamente en 1962 cuando en revistas y programas de opinión se comienza a hablar de sostenibilidad y del impacto que tendría y que tuvo el no tener esta conciencia ambiental generando que en los años siguientes los líderes mundiales tomaran acciones al respecto incluidos líderes empresariales y profesores de importantes universidades.

Dando así nacimiento a un concepto que cambiaría la forma de desarrollar diferentes actividades humanas garantizando el aprovechamiento de los recursos sin afectar los recursos de las generaciones venideras (World Commission on Environment and Development, 1987). Este concepto da inicio al concepto de reutilización.

Cabe aclarar que este concepto no fue inventado en ese momento. Desde luego se tenía claridad al respecto más sin embargo no existía implementación, o aplicación de este a las diferentes actividades humanas como las actividades industriales que han sido quienes mayormente afectan y ponen en riesgo el medio ambiente.

La implementación de este concepto fue llevado a la escala donde mayor impacto podría tener que es la escala industrial inicialmente, tanto en control de residuos como aprovechamiento de estos, pero sobre todo de aquellos residuos que por su composición no pueden ser fácilmente degradados como los derivados del petróleo.

Sin embargo, para lograr el aprovechamiento de estos residuos se necesitó la reestructuración de un proceso que ya se conocía tradicionalmente en el manejo y adquisición de estos insumos. La logística tradicional tuvo que replantearse para empezar a aplicarse de forma

contraria, pues el proceso ya no podría iniciar desde el mismo punto, sino que esta vez tendría que ser de forma inversa:



Ilustración 3

Diagrama de flujo general del proceso de logística inversa.

Nota: La ilustración 2 es creación propia.

Pues la nueva materia prima (reciclada o recuperada) llegaría a una empresa que tenga la capacidad para transformarla en un insumo de aprovechamiento para que un proveedor pueda suministrarla como insumo para otros procesos de producción de cadena tradicional.

logística inversa

La logística inversa (LI) se define como el proceso de planificación, implementación y control eficiente de los flujos de materiales, productos e información desde el punto de consumo hacia el punto de origen, con el objetivo de recuperar valor o asegurar una disposición ambientalmente adecuada de los bienes (Rogers & Tibben-Lembke, 1999). Este enfoque adquiere especial relevancia en el manejo de empaques reutilizables, tales como contenedores retornables, estibas plásticas o cajas plegables, ya que estos elementos, al no ser considerados residuos de un solo uso, pueden integrarse nuevamente al ciclo productivo. En este contexto, la logística inversa no solo implica la recuperación física del empaque, sino también actividades asociadas a la recolección, clasificación, inspección, reacondicionamiento, limpieza y redistribución, lo que garantiza que el material mantenga las condiciones óptimas para múltiples ciclos de utilización (Kroon & Vrijens, 1995; Fleischmann et al., 1997). Además, al maximizar la cantidad de rotaciones que un elemento puede realizar dentro de la cadena de suministro, se generan beneficios económicos significativos mediante la reducción de costos asociados a la compra de nuevos materiales, al tiempo que se fortalecen los compromisos de las organizaciones con la sostenibilidad ambiental. En consecuencia, la logística inversa aplicada a la cadena productiva de una granja porcina se convierte en un componente estratégico que contribuye tanto a la eficiencia operativa como al cumplimiento de políticas de responsabilidad social y de economía circular

FUNDAMENTOS TEORICOS

El fundamento teórico de la logística inversa debe estructurarse en torno a cuatro pilares conceptuales esenciales: la economía circular, la modelación cuantitativa, la teoría del costo total y la gestión ambiental debido a su importancia para la ejecución de este.

Economía circular: La economía circular constituye uno de los marcos conceptuales más relevantes para comprender la importancia de la logística inversa en el manejo de empaques reutilizables. Este enfoque propone sustituir el modelo lineal de “extraer–producir–usar–desechar” por un modelo regenerativo en el cual el valor de los recursos se preserva al máximo, prolongando su vida útil y reduciendo tanto la dependencia de materiales vírgenes como la generación de residuos (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

En este contexto, el diseño para la reutilización cobra especial relevancia, ya que implica desarrollar empaques capaces de soportar múltiples ciclos de uso, con características que faciliten su recuperación, limpieza, reacondicionamiento y reinscripción en la cadena de suministro. Aquí, la logística inversa se convierte en la herramienta operativa que materializa los principios de la economía circular, pues asegura que los empaques reutilizables sean recolectados de manera eficiente tras su consumo, gestionados adecuadamente en centros de consolidación y reincorporados en nuevos procesos logísticos o productivos. Así, la integración entre economía circular y logística inversa no solo contribuye a disminuir costos asociados a la adquisición y disposición de empaques, sino que también fortalece el compromiso ambiental de las organizaciones, al alinearse con prácticas de producción y consumo sostenibles promovidas a nivel global.

Modelación cuantitativa de logística inversa: constituye un campo de estudio fundamental, ya que permite abordar con rigor científico las complejas decisiones que surgen al gestionar el retorno de productos y empaques reutilizables. Entre los aspectos más relevantes se encuentran la configuración de redes logísticas —que incluye la localización estratégica de centros de retorno, plantas de reacondicionamiento o almacenes intermedios—, la determinación de niveles óptimos de inventario de empaques retornables y la definición de políticas de inspección, clasificación y reacondicionamiento que garanticen tanto la eficiencia operativa como la viabilidad económica (Fleischmann et al., 1997). Para ello, se utilizan técnicas de optimización matemática (modelos de programación lineal, entera y mixta) y de simulación estocástica, las cuales permiten representar escenarios de incertidumbre vinculados a tiempos de retorno, tasas de reutilización y demanda variable. Asimismo, estas herramientas ayudan a evaluar los trade-offs entre costos logísticos, impactos ambientales y niveles de servicio al cliente, favoreciendo una toma de decisiones basada en evidencia cuantitativa (Srivastava, 2008). De esta manera, la modelación cuantitativa no solo contribuye a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de logística inversa, sino que también se convierte en un soporte clave para diseñar cadenas de suministro circulares, resilientes y competitivas a largo plazo.

La Teoría del Costo Total: plantea que el análisis económico de la logística no debe limitarse al precio de adquisición de bienes o empaques, sino que debe integrar todos los costos asociados a lo largo de su ciclo de vida, tanto en los flujos directos como en los inversos. En el contexto de la logística inversa, esta perspectiva adquiere una relevancia particular, ya que

los empaques reutilizables generan una serie de costos adicionales que, de no ser considerados, pueden distorsionar la evaluación de su rentabilidad.

Entre estos se incluyen los gastos de transporte inverso para recolectar los empaques en distintos puntos de consumo, las actividades de limpieza, reparación y reacondicionamiento necesarias para garantizar su funcionalidad, así como las pérdidas por daño, deterioro o no retorno de los envases. Asimismo, la TCO contempla las inversiones en tecnologías de seguimiento y trazabilidad (como códigos RFID o sistemas IoT), que permiten controlar el ciclo de vida de los empaques, y los costos de gestión administrativa relacionados con la coordinación de devoluciones, contratos con proveedores y acuerdos con clientes (Dowlatshahi, 2000). Bajo este enfoque integral, la evaluación de alternativas logísticas no se reduce a comparar costos unitarios de materiales, sino que busca identificar el verdadero impacto económico de cada decisión, permitiendo balancear criterios de eficiencia financiera, sostenibilidad ambiental y competitividad operativa en las cadenas de suministro circulares.

Gestión ambiental: La gestión ambiental en el marco de la logística inversa de empaques reutilizables encuentra un referente normativo clave en la ISO 14001, que establece los requisitos para implementar sistemas de gestión orientados a mejorar el desempeño ambiental de las organizaciones. En paralelo, la evaluación del ciclo de vida (ACV), definida en la ISO 14040, constituye una herramienta metodológica que permite analizar los impactos ambientales asociados a todas las etapas de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

Aplicada a los empaques reutilizables, esta metodología resulta fundamental para determinar el número umbral de rotaciones que debe alcanzar un contenedor, estiba o caja plegable para

que su uso represente una ventaja ambiental frente a alternativas de un solo ciclo, como los empaques desechables de cartón o plástico de baja resistencia. De este modo, se pueden cuantificar indicadores como la reducción en el consumo de recursos vírgenes, las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de residuos sólidos y la huella hídrica asociada.

Además, el enfoque del ACV permite identificar puntos críticos en el proceso logístico inverso, como el transporte de retorno o las operaciones de reacondicionamiento, que pueden incrementar la carga ambiental si no se gestionan de manera eficiente. La integración de estas normas internacionales en la gestión de la logística inversa no solo facilita la toma de decisiones más sostenibles y basadas en evidencia, sino que también aporta un marco de credibilidad y estandarización, permitiendo a las pymes demostrar su compromiso con la sostenibilidad ante clientes, reguladores y mercados internacionales (ISO, 2006; ISO, 2015).

Basado en lo anterior la economía circular constituye el marco macroeconómico y estratégico que orienta la reutilización de materiales y empaques, buscando cerrar los ciclos productivos y maximizar el valor de los recursos a lo largo de su vida útil (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Sin embargo, para pasar del concepto a la práctica, es necesaria la modelación cuantitativa, que permite diseñar y optimizar redes de retorno, definir niveles de inventario de empaques retornables y establecer políticas de reacondicionamiento basadas en criterios de eficiencia y sostenibilidad (Fleischmann et al., 1997; Srivastava, 2008). A su vez, la teoría del costo total (TCO) aporta la perspectiva económica integral al considerar no solo los costos de adquisición, sino también los asociados al transporte inverso, inspección, limpieza, reparación y pérdidas de unidades, permitiendo evaluar la viabilidad real de los sistemas de recuperación (Dowlatshahi, 2000).

Finalmente, la gestión ambiental y la evaluación del ciclo de vida (ACV) brindan el marco normativo y metodológico que asegura que la reutilización de empaques no solo sea rentable, sino que también genere una reducción medible en la huella ecológica, estableciendo el número de rotaciones necesarias para superar el desempeño de los empaques desechables (ISO, 2006; ISO, 2015). En conjunto, estos enfoques garantizan que la logística inversa no se limite a un mecanismo operativo, sino que se constituya en una estrategia integral de sostenibilidad, rentabilidad y cumplimiento normativo.

LAS PYMEs EN COLOMBIA

En Colombia la mayoría de las empresas hacen parte de esta clasificación conocida como PYMES que por sus siglas se refiere (pequeñas y medianas empresas). esto según lo reportado por el DANE. teniendo en cuenta esto es posible identificar que las posibilidades de la mayoría de los empresarios en Colombia son limitadas pues el sostenimiento de una compañía implica costos muy específicos y que desafortunadamente para el país suele ser elevado. Por lo que en su mayoría las empresas pequeñas no fabrican directamente, sino que recurren a una empresa que pueda prestar un servicio de maquila. Incluso varias de las medianas empresas no cuentan con la infraestructura y maquinaria para realizar transformaciones muy específicas salvo trabajos de sencilla ejecución y que supongan gastos bajos.

Siendo esta la razón por la que, en temas de desarrollo, automatización y demás solo se vea implementado en empresas de una escala mayor y con un musculo financiero solido quienes han implementado en sus procesos la logística inversa. Y dado que a su vez la mayoría de micro, pequeños y medianos empresarios suelen quebrar antes del 5 año incluso según las estadísticas del DANE durante el mismo primer año de funcionamiento.

La implementación o el uso de estrategias que pueda mitigar estos impactos podría de cierto modo contribuir al desarrollo y sostenimiento de una compañía con las dificultades en cadena de abastecimiento como las PYMES ya que en la mayoría de los casos sus costos de materia prima resultan más elevados que los de una empresa grande. Esto debido al volumen de compra pues suele ser más grande generando beneficios en adquisición, bajando sus costos

y obteniendo mayores ganancias. Oportunidad que no tiene una empresa de características diferentes.

Esquema general del proceso

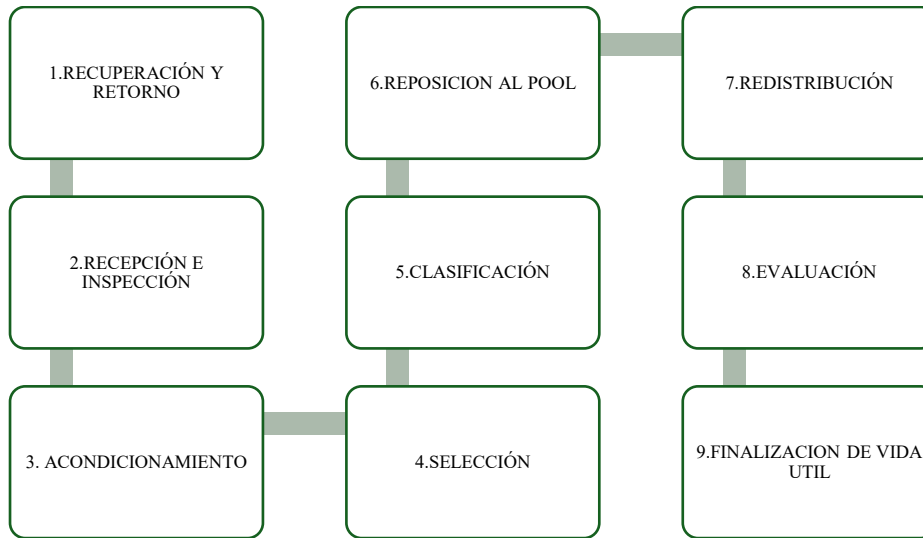


Ilustración 4

Esquema general del proceso.

Adaptado de Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (1999). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council.

1. Arranca el proceso con la recolección según los puntos establecidos que por lo general es donde existe alto consumo.
2. Se debe realizar una inspección del material recibido para determinar si es apto para el proceso.
3. Luego se acondiciona y se eliminan posibles impurezas.
4. Pasa a un filtro de selecciona el material que luego del proceso anterior cumple para el siguiente paso.

5. Se clasifica el material según especificaciones.
6. Una vez realizado el proceso se pone a disposición como inventario de compost o material disponible para el biodigestor.
7. Asignación a ordenes salientes según demanda y proximidad.

Marco normativo

- **Ley 1672 de 2013 y Resolución 1407 de 2018:** regulan la gestión de residuos posconsumo y envases/embalajes en Colombia.
- **Decreto 1076 de 2015:** compila disposiciones ambientales, incluidas las relacionadas con licencias y permisos.
- **Resolución 631 de 2015:** establece parámetros y límites de vertimientos a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado.
- **Normas internacionales:** ISO 14001 (gestión ambiental) e ISO 9001 (gestión de calidad), que sirven como referentes de buenas prácticas aplicables al sector pecuario.

CONCLUSIÓN

La implementación de la logística inversa en micro, pequeñas y medianas empresas como lo son las granjas porcinas rurales, representa una estrategia que podría ser clave para fortalecer la sostenibilidad ambiental y económica del sector agropecuario. Pues a través de la correcta gestión de residuos orgánicos, subproductos y materiales reutilizables, se promueve no solo la reducción del impacto ambiental, sino también la generación de valor agregado mediante el aprovechamiento responsable de los recursos.

El estudio permitió evidenciar que la falta de planificación en el manejo de desechos y el desconocimiento de las prácticas de retorno y aprovechamiento limitan el desarrollo sostenible de las granjas rurales. Sin embargo, la aplicación de procesos de logística inversa, apoyados en formación ambiental y la adopción de tecnologías adecuadas, puede optimizar los flujos productivos, disminuyendo costos operativos y mejorando la imagen del productor frente a las exigencias normativas y sociales actuales.

El desarrollo de esta investigación permitió recopilar, analizar y sintetizar información relevante sobre la aplicación de la logística inversa en granjas porcinas rurales, ayudando a comprender su papel como herramienta estratégica para fortalecer la sostenibilidad ambiental y optimizar los procesos productivos dentro del sector agropecuario. A través del estudio teórico se integraron los principales conceptos, modelos y enfoques que sustentan la reutilización de materiales, la reducción de residuos y la implementación de prácticas circulares en la producción porcina.

Entre los aspectos más novedosos se destaca la adaptación conceptual de la logística inversa a contextos rurales, tradicionalmente relegados frente a los entornos industriales. De manera

que esta perspectiva amplía el campo de acción de la gestión ambiental y plantea nuevas posibilidades de aprovechamiento de subproductos orgánicos, generando valor agregado y contribuyendo a la economía circular. Y permitiendo identificar el alcance favorable del desarrollo de los objetivos propuestos y finalmente los resultados de esta investigación sientan una base conceptual para futuras aplicaciones prácticas. Se espera que, con el desarrollo de estudios de campo y la implementación de modelos piloto, la logística inversa pueda consolidarse como un componente esencial de la gestión ambiental y productiva en la porcicultura rural, aportando tanto al desarrollo sostenible como al fortalecimiento del conocimiento técnico y académico en esta área.

BIBLIOGRAFIA

- Fundación Ellen MacArthur. (2019). Completando el panorama: Cómo la economía circular aborda el cambio climático. Ellen MacAr
- FAO. (2021). Remolque. Comida y
- García-Torres, S., Albareda, L., Rey-García, M. y Seuring, S. (2020). Trazabilidad para la sostenibilidad: revisión bibliográfica y marco conceptual. Gestión de la cadena de suministro: una revista internacional, 25 (2), 21<https://doi>
- Rogers, DS y Tibben-Lembke, R. (1999). GRAMO. Logística inversa E
- Álvarez, A., Rodríguez, L. y Pérez, M. (2021). Producción ganadera sostenible: Barreras y oportunidades en América Latina. *Revista de Estudios Rurales*, 82 , 161<https://doi.o>
- Fundación Ellen MacArthur. (2019). *Completando la imagen*: Ellen MacArthur Foundation.
- FAO. (2021). *Hacia una vida sostenible* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- García-Torres, S., Albareda, L., Rey-García, M., y Seuring, S. (2020). Trazabilidad para la sostenibilidad: revisión bibliográfica y marco conceptual. *Supply C*(2), 214–232.<https://doi.org/10.1108/SCM-0>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2020). *Política para la sostenibilidad del sector pecuario colombiano*. Ministerio de Agricultura.
- Rogers, DS y Tibben-Lembke, R. (1999). *yendo b*. Lógica inversa

- Sgarbossa, F. y Russo, I. (2017). Un modelo proactivo en la cadena de suministro de alimentos sostenible: Perspectivas de un estudio de caso. *Revista Internacional de Economía de la Producción.*, 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.ij>
- □ Álvarez, J., Ramírez, L., & Sánchez, P. (2021). *Gestión sostenible de residuos pecuarios en pequeñas granjas porcinas colombianas: Retos y oportunidades.* *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 34(2), 145–160. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp>
- □ Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change.* Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>
- □ FAO. (2021). *La economía circular en la producción agropecuaria.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- □ García-Torres, S., Albareda, L., Rey-García, M., & Seuring, S. (2020). Traceability for sustainability — literature review and conceptual framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 195–214. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2019-0158>
- □ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2020). *Plan de Ordenamiento Productivo y Social de la Producción Pecuaria: Porcicultura.* MinAgricultura. <https://www.minagricultura.gov.co>
- □ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2022). *Informe de desempeño empresarial de las MIPYMES en Colombia.* Gobierno de Colombia. <https://www.mincit.gov.co>

- □ Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1999). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council.
- □ Sgarbossa, F., & Russo, I. (2017). A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study. *International Journal of Production Economics*, 183, 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.022>
- □ República de Colombia. (2008). *Ley 1259 de 2008. Por medio de la cual se establece el comparendo ambiental y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 47.202.
- □ República de Colombia. (2013). *Ley 1672 de 2013. Por la cual se establece la política de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Diario Oficial No. 48.834.
- □ República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Diario Oficial No. 49.523.
- □ República de Colombia. (2015). *Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillado público*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- □ República de Colombia. (2018). *Resolución 1407 de 2018. Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal en el país*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- □ Álvarez, J., Rodríguez, C., & Pérez, M. (2021). *Gestión sostenible de residuos agropecuarios en sistemas rurales: desafíos y oportunidades*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 34(2), 145–158. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v34n2a03>
- □ Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- □ FAO. (2021). *Porcicultura sostenible: guía para pequeños productores*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org>
- □ García-Torres, S., Albareda, L., Rey-García, M., & Seuring, S. (2020). Traceability for sustainability – Literature review and conceptual framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 214–232. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2019-0155>
- □ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Política de modernización de la porcicultura en Colombia*. Gobierno de Colombia. <https://www.minagricultura.gov.co>
- □ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Lineamientos para la gestión de residuos agropecuarios en Colombia*. Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co>
- □ Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1999). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. University of Nevada, Reno, Center for Logistics Management.

- □ Sgarbossa, F., & Russo, I. (2017). A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study. *International Journal of Production Economics*, 183, 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.022>
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3), 143–155.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*.
- European Parliament and Council. (1994). *Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste*.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1–17.
- Guide, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2003). Closed-loop supply chains: An introduction to the feature issue. *Production and Operations Management*, 12(4), 345–350.
- Hillary, R. (2000). *Small and medium-sized enterprises and the environment: Business imperatives*. Earthscan.
- ISO. (2006). *ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2015). *ISO 14001: Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.

- Kroon, L., & Vrijens, G. (1995). Returnable containers: An example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56–68.
- Ngai, E. W. T., Moon, K. K. L., Riggins, F. J., & Yi, C. Y. (2008). RFID research: An academic literature review (1995–2005) and future research directions. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 510–520.
- Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4), 175–182.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (1999). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council.
- Srivastava, S. K. (2008). Network design for reverse logistics. *Omega*, 36(4), 535–548.