

Gestión sostenible de residuos alimenticios en cadenas de suministro. Una  
revisión sistemática de la literatura.

Yuly Carolina Amaya Gómez

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Industrial

Director

Ing. Javier Eduardo Arias Osorio

Magister en Administración

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2026

### **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a mi familia, por su apoyo incondicional y constante. Por sostenerme cuando el cansancio pesaba, por creer en mí más de lo que yo misma creí. Este trabajo es también una manera de mostrarles que los sueños se construyen con esfuerzo, paciencia y fe.

De manera muy especial a mi hija, quien me acompañó a lo largo de estos cinco años de carrera. Junto a ti crecí no solo como profesional, sino también como madre. Para ti Isa, con la esperanza de demostrarte que nada es imposible. Deseo que seas siempre auténtica, que camines con libertad, pero que lleves en ti un poco de mi disciplina para alcanzar lo que te propongas. Nunca te rindas, mi amor; puedes lograr todo y mucho más.

### **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por sostenerme y guiarme en cada paso de este camino, incluso cuando las fuerzas parecían agotarse. A mi madre, por impulsarme a creer en la educación como un medio para transformar la vida y por confiar siempre en mi capacidad; A mi padre, por su apoyo discreto, amoroso y constante; A mis hermanos, por su amor y confianza incondicional. A mi hija, mi mayor inspiración, por darme la fuerza para no rendirme, levantarme en los momentos difíciles y luchar hasta alcanzarlo. A mis ángeles. A mis profesores, por su dedicación y compromiso en la formación de una profesional íntegra. Y a mis amigos, por su compañía sincera y su cuidado, hicieron de esta etapa un camino más ligero y un recuerdo profundamente inolvidable./.

### Tabla de contenido

Introducción.....	11
1 Generalidades del proyecto .....	13
1.1 Planteamiento del problema .....	13
2 Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general .....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 Actividades .....	16
3.1 Objetivo específico 1:.....	16
3.1.1 Actividades .....	16
3.1.1.1 Actividad 1: .....	16
3.1.1.2 Actividad 2: .....	16
3.1.1.3 Actividad 3: .....	16
3.2 Objetivo específico 2:.....	16
3.2.1 Actividades:.....	17
3.2.1.1 Actividad 1: .....	17
3.2.1.2 Actividad 2: .....	17
3.2.1.3 Actividad 3: .....	17
3.3 Objetivo específico 3:.....	17
3.3.1 Actividades:.....	17
3.3.1.1 Actividad 1: .....	17
3.3.1.2 Actividad 2: .....	17
3.4 Objetivo específico 4:.....	17
3.4.1 Actividades:.....	17
3.4.1.1 Actividad 1: .....	18
4 Resultados esperados.....	19
5 Revisión de literatura.....	19
5.1 Marco teórico.....	19
5.1.1 Gestión de residuos.....	20
5.1.2 Clasificación de residuos.....	20
5.1.3 Gestión de residuos alimenticios .....	22
5.1.4 Gestión sostenible de las cadenas de suministro .....	23
5.1.5 Buenas prácticas en la gestión de residuos alimentarios .....	23
5.1.6 Cadena de suministro.....	25
5.1.7 Economía circular.....	26
5.1.8 Revisión sistemática .....	26
5.1.9 Análisis del ciclo de vida (acv).....	27
5.1.10 Huella de carbono.....	27
5.1.11 Huella hídrica .....	28
5.2 Marco de antecedentes.....	28
5.2.1 Integración del enfoque lean green en la cadena de suministros: una revisión sistemática de literatura. ....	28
5.2.2 Diseño e implementación de metodologías activas de aprendizaje en la asignatura tópicos especiales gestión ambiental de la escuela de estudios industriales y empresariales de la universidad industrial de santander.....	29

5.2.3 Consideraciones para un diseño de propuesta de una política pública para la gestión de residuos sólidos urbanos en Bucaramanga .....	29
5.3 Revisión sistemática de la literatura .....	30
5.3.1 Aplicación de la metodología Prisma .....	30
5.3.1.1 Formulación de la pregunta de investigación. ....	30
5.3.1.2 Criterios de inclusión.....	32
5.3.1.2.1 Relevancia temática.....	33
5.3.1.2.2 Tipo de documento. ....	33
5.3.1.2.3 Idioma.....	33
5.3.1.2.4 Acceso.....	33
5.3.1.2.5 Calidad.....	33
5.3.1.3 Criterios de exclusión. ....	33
5.3.1.3.1 Irrelevancia temática. ....	33
5.3.1.3.2 Tipo de documento.....	33
5.3.1.3.3 Idioma.....	33
5.3.1.3.4 Acceso.....	33
5.3.1.3.5 Duplicados.....	33
5.3.1.3.6 Pertinencia temática.....	34
5.3.1.4 Elección de bases de datos.....	34
5.3.1.5 Estrategia de búsqueda .....	34
5.3.1.5.1 Elaboración de la ecuación de búsqueda.....	34
5.3.1.6 Selección de estudios.....	35
5.3.1.6.1 Análisis de duplicados.....	35
6 Resultados.....	35
6.1 Síntesis de resultados.....	35
6.2 Presentación e interpretación de los resultados .....	37
6.3 Resultados de la síntesis .....	37
6.3.1 Buenas prácticas .....	38
6.3.1.1 Sensibilización y comportamiento.....	40
6.3.1.2 Economía circular.....	43
6.3.1.3 Gestión logística.....	47
6.3.1.4 Gestión operativa.....	52
6.3.1.5 Normatividad y calidad.....	54
6.3.1.6 Revalorización de residuos.....	57
6.3.1.7 Gobernanza y colaboración.....	61
6.3.2 Herramientas cuantitativas .....	65
6.3.2.1 Análisis multicriterio.....	67
6.3.2.2 Modelado y simulación.....	71
6.3.2.3 Análisis estadístico, estadística descriptiva.....	74
6.3.2.4 Análisis de producción científica.....	76
6.3.2.5 Evaluación ambiental.....	78
7 Conclusiones.....	83
8 Recomendaciones .....	85
Referencias bibliográficas .....	88

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> Cumplimiento de objetivos.....	18
<b>Tabla 2</b> Clasificación de residuos .....	21
<b>Tabla 3</b> Palabras claves.....	31
<b>Tabla 4</b> Ecuaciones de búsqueda. ....	35
<b>Tabla 5</b> Filtros aplicados para SCOPUS.....	35
<b>Tabla 6</b> Filtros aplicados para Web of Science. ....	35
<b>Tabla 7</b> Categorías de buenas prácticas identificadas y sus tipos de prácticas relacionadas. .....	40
<b>Tabla 8</b> Buenas prácticas de gestión logística, herramientas cuantitativas e impactos en la cadena de suministro. ....	51
<b>Tabla 9</b> Puntos críticos de generación de residuos y medidas operativas de control. ....	53
<b>Tabla 10</b> Categorías de herramientas cuantitativas identificadas y sus tipos de prácticas relacionadas. ....	66
<b>Tabla 11</b> Aplicaciones de modelos de optimización en la gestión de residuos alimenticios. .....	72
<b>Tabla 12</b> Categorías de las buenas prácticas.....	81
<b>Tabla 13</b> Categorías de las herramientas cuantitativas. ....	82

### Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Año de publicación de los artículos de Web of Science. ....	35
<b>Figura 2</b> Países de las investigaciones recolectadas de Web of Science. ....	35
<b>Figura 3</b> Cantidad de artículos relacionados con los objetivos de desarrollo sostenible en Web of Science. ....	35
<b>Figura 4</b> Áreas temáticas recolectadas de Web of Science. ....	35
<b>Figura 5</b> Año de publicación de los artículos de SCOPUS. ....	35
<b>Figura 6</b> Países de las investigaciones recolectados de SCOPUS. ....	35
<b>Figura 7</b> Áreas temáticas recolectadas de SCOPUS. ....	35
<b>Figura 8</b> Análisis bibliométrico de los resultados obtenidos en la base de SCOPUS. ....	35
<b>Figura 9</b> Análisis bibliométrico de los resultados obtenidos en la base de Web of Science. ....	35
<b>Figura 10</b> Metodología PRISMA aplicada a la investigación. ....	36
<b>Figura 11</b> Frecuencia de artículos por categoría de buenas prácticas identificadas en la revisión sistemática. ....	39
<b>Figura 12</b> Etapas de la cadena de suministro abordadas por las prácticas de sensibilización y comportamiento. ....	43
<b>Figura 13</b> Integración de la economía circular en la gestión de residuos alimenticios. ....	45
<b>Figura 14</b> Tecnologías de revalorización de residuos alimenticios identificadas en la literatura. ....	59
<b>Figura 15</b> Frecuencia de artículos por categoría de herramientas cuantitativas identificadas en la revisión sistemática. ....	66
<b>Figura 16</b> Proceso de toma de decisiones mediante análisis multicriterio en la gestión de residuos alimenticios. ....	68
<b>Figura 17</b> Uso del análisis de producción científica como herramienta cuantitativa en los estudios revisados. ....	77

### **Lista de apéndices**

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

ApendiceA\_bitacora

ApendiceB\_matriz

ApendiceC\_articulo

ApendiceD\_categorias

## Resumen

**Título del proyecto:** Gestión sostenible de residuos alimenticios en cadenas de suministro. Una revisión sistemática de la literatura.

**Autora:** Yuly Carolina Amaya Gómez

**Palabras claves:** Gestión de residuos alimenticios, sostenibilidad, cadenas de suministro, herramientas de análisis cuantitativo, optimización, simulación, buenas prácticas.

### Descripción:

La gestión de los residuos alimenticios se ha consolidado como una de las problemáticas más relevantes a nivel mundial, debido a sus efectos económicos, sociales y ambientales. En este contexto, la presente investigación se centra en dos aspectos fundamentales: por un lado, las buenas prácticas sostenibles implementadas para la gestión de residuos alimenticios en las cadenas de suministro y por otro, las herramientas cuantitativas empleadas para apoyar la toma de decisiones orientadas a la reducción del desperdicio. Para ello, se desarrolló una revisión sistemática de la literatura que permitió identificar y organizar las principales categorías abordadas en los estudios analizados.

En cuanto a las buenas prácticas, se identifican estrategias relacionadas con la sensibilización y el comportamiento, la revalorización de los residuos, la gestión logística y operativa, la normatividad y la calidad, así como la gobernanza y la colaboración entre los actores de la cadena de suministro. De manera complementaria, las herramientas cuantitativas se agrupan en métodos de apoyo a la toma de decisiones, simulación y modelado, estadística descriptiva, análisis bibliométrico mediante VOSviewer y evaluación de impactos, como la huella de carbono y la eficiencia energética. En conjunto, estos enfoques permiten fortalecer el análisis y la gestión sostenible de los residuos alimenticios.

\* Trabajo de grado

\*\*Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de estudios industriales y empresariales. Director: Javier Eduardo Arias Osorio. Magister en Administración

**Abstract**

**Title:** Sustainable waste management in supply chains: A literature review

**Author:** Yuly Carolina Amaya Gómez

**Key Words:** Food waste management, Sustainability, Supply chains, Quantitative analysis tools, Optimization, Simulation, Best practices

**Description:**

Food waste management has become one of the most significant global challenges due to its economic, social, and environmental impacts. In this context, the present study focuses on two key aspects: the sustainable best practices implemented for food waste management within supply chains and the quantitative tools used to support decision-making processes aimed at reducing food waste. To address these aspects, a systematic literature review was conducted to identify and organize the main categories discussed in the selected studies.

Regarding best practices, the review highlights strategies related to awareness and behavioral change, waste valorization, logistical and operational management, regulatory and quality frameworks, and governance and collaboration among supply chain stakeholders. Complementarily, quantitative tools are grouped into decision-support methods, simulation and modeling techniques, descriptive statistics, bibliometric analysis using VOSviewer, and impact assessment approaches such as carbon footprint and energy efficiency evaluation. Together, these practices and tools contribute to a more comprehensive understanding of sustainable food waste management and provide valuable insights for improving decision-making and operational efficiency within supply chains.

\* Degree Work

\*\*Faculty of Mechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies. OPALO Research Group.

## Introducción

El desperdicio de alimentos representa uno de los mayores desafíos en la gestión sostenible de cadenas de suministro pues, tiene implicaciones económicas, sociales y ambientales significativas. La (Organización de las Naciones Unidas) ONU ha estimado que aproximadamente un tercio de los alimentos se convierten en desperdicios, lo que contribuye al agotamiento de recursos como agua, energía y suelo incrementando así la emisión de gases de efecto invernadero.

Aunque diversos estudios realizados han abordado la problemática desde diferentes enfoques como el logístico, operacional y ambiental, existe una brecha considerable en cuanto a la sistematización del conocimiento a través de herramientas cuantitativas orientadas a la optimización del manejo de residuos alimenticios. La literatura reciente indica que la integración de la economía circular en las cadenas de suministro puede ofrecer soluciones para mitigar la problemática del desperdicio, mediante la reutilización de subproductos y la minimización de residuos (Alonso-Muñoz et al., 2022).

La economía circular se plantea como un modelo alternativo al de la economía lineal que propone enfocarse en mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, para así integrar cadenas de suministro circulares (CSC) promoviendo la reutilización, reciclaje y reducción de los residuos. En el sector de alimentos la implementación de estos modelos circulares demuestra beneficios como la reducción del impacto ambiental y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Sin embargo, su implementación requiere herramientas analíticas y metodologías que permitan evaluar su viabilidad y eficiencia.

Por otro parte, la gestión de las cadenas de suministro se ha convertido en el eje para la sostenibilidad, principalmente porque se enfrenta a retos significativos en cuanto a el aprovechamiento y disminución de los desperdicios, se han reportado prácticas como el compostaje, biodigestión, producción de biogás y reaprovechamiento de excedentes, pero su integración en las decisiones logísticas es limitada.

Este trabajo de investigación busca realizar una revisión sistemática de literatura sobre la gestión sostenible de residuos alimenticios en la cadena de suministro, con el objetivo de identificar buenas prácticas y herramientas cuantitativas aplicadas para fortalecer el conocimiento en esta área.

## **1 Generalidades del proyecto**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El manejo inadecuado de los residuos alimenticios representa una problemática global que afecta la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria, la eficiencia de las cadenas de suministro y el aprovechamiento adecuado de los recursos en el sector alimentario. El desperdicio genera grandes pérdidas económicas relacionadas con los recursos invertidos en la producción, almacenamiento, transporte y comercialización de productos que al final no son destinados al consumo. Asimismo, produce impactos asociados al uso ineficiente de agua, energía, materias primas y otros recursos naturales involucrados en su producción. Además, la emisión de gases de efecto invernadero derivadas de su disposición final (Armengol et al., 2020, p. 1)

Debido a estas implicaciones, la reducción del desperdicio de alimentos ha sido reconocida dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en el objetivo 12, orientado hacia la producción y consumo responsables. De esta manera, diferentes investigaciones han propuesto metodologías, modelos, herramientas cuantitativas y buenas prácticas para optimizar la gestión de residuos y apoyar la toma de decisiones técnicas en las organizaciones; Aunque se han desarrollado diversos estudios, estos presentan enfoques metodológicos y aplicaciones en contextos específicos como los residuos sólidos urbanos, hospitalarios o médicos, peligrosos y electrónicos dificultando la comparación de resultados, la identificación de metodologías más efectivas y su implementación en distintos escenarios. Asimismo, una gran parte de la literatura aborda estas herramientas y prácticas de manera aislada, limitando la comprensión integral de sus aportes, aplicaciones y restricciones dentro de la gestión sostenible de residuos alimenticios.

Esta falta de sistematización limita la consolidación de referentes metodológicos que permitan orientar futuras investigaciones y apoyar estrategias para la optimización de la gestión de residuos alimentarios. Por esta razón, surge la necesidad de realizar una revisión sistemática de la literatura que permita identificar, clasificar y analizar las herramientas cuantitativas y buenas prácticas empleadas en este campo de estudio.

En consecuencia, la investigación busca desarrollar una revisión sistemática de la literatura bajo la metodología PRISMA, con el fin de identificar, clasificar y analizar las buenas prácticas y herramientas de análisis cuantitativo utilizadas en la gestión sostenible de residuos alimenticios. De esta manera, se busca identificar tendencias metodológicas, reconocer sus principales aplicaciones y limitaciones que apoyen futuras investigaciones basadas en la gestión sostenible de los residuos alimenticios.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Realizar una revisión sistemática de la literatura, a partir de la metodología PRISMA<sup>[1]</sup>, sobre la gestión sostenible de residuos alimenticios en cadenas de suministro con el fin de identificar buenas prácticas y las herramientas de análisis cuantitativo aplicadas.

### 2.2 Objetivos específicos

- Establecer el protocolo de la revisión sistemática y realizar una búsqueda exhaustiva de documentos relacionados con la gestión de residuos alimenticios en cadenas de suministro.
- Seleccionar, organizar y analizar los documentos encontrados en la búsqueda exhaustiva de información, a partir del protocolo de la metodología Prisma.
- Sintetizar los resultados obtenidos y organizarlos, a partir de la pregunta de investigación planteada en el protocolo de la revisión sistemática.
- Elaborar un artículo de carácter publicable donde se presentan los resultados de la revisión de literatura.

<sup>[1]</sup> "PRISMA" es un acrónimo que hace referencia a "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses".

### 3 Actividades

Siguiendo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) la cual consta de cuatro etapas principales que son identificación, revisión, elegibilidad e inclusión se diseñó la metodología basada en el cumplimiento de objetivos específicos con ciertas actividades para llevar a cabalidad la metodología y realizar una correcta y confiable revisión de literatura, se muestran a continuación:

**3.1 Objetivo específico 1:** Establecer el protocolo de la revisión sistemática y realizar una búsqueda exhaustiva de documentos relacionados con la gestión de residuos alimenticios en cadenas de suministro.

#### 3.1.1 Actividades

**3.1.1.1 Actividad 1:** Formular la pregunta de investigación estableciendo claramente qué se quiere investigar, los conceptos claves y el alcance temático de la revisión.

**3.1.1.2 Actividad 2:** Establecer los criterios de inclusión y exclusión que determinan qué estudios se incluirán en la revisión.

**3.1.1.3 Actividad 3:** Realizar una búsqueda exhaustiva en fuentes académicas relevantes utilizando descriptores y palabras clave, con el fin de ampliar la recuperación de estudios pertinentes.

**3.2 Objetivo específico 2:** Seleccionar, organizar y analizar los documentos encontrados en la búsqueda exhaustiva de información, a partir del protocolo de la metodología Prisma.

### **3.2.1 Actividades:**

**3.2.1.1 Actividad 1:** Seleccionar los estudios obtenidos a partir de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, depurando duplicados.

**3.2.1.2 Actividad 2:** Extraer la información pertinente de los estudios seleccionados con enfoque en las metodologías aplicadas y las herramientas utilizadas para la gestión de residuos.

**3.2.1.3 Actividad 3:** Evaluar la calidad de los estudios seleccionados realizando una evaluación crítica sobre la calidad metodológica de los estudios incluidos en cuanto a fiabilidad y pertinencia.

**3.3 Objetivo específico 3:** Sintetizar los resultados obtenidos y organizarlos, a partir de la pregunta de investigación planteada en el protocolo de la revisión sistemática.

### **3.3.1 Actividades:**

**3.3.1.1 Actividad 1:** Sintetizar los resultados obtenidos en los estudios seleccionados mediante un estudio cualitativo y temático, agrupando los resultados según categorías relevantes.

**3.3.1.2 Actividad 2:** Redactar un artículo académico siguiendo la estructura y los lineamientos de la metodología PRISMA.

**3.4 Objetivo específico 4:** Elaborar un artículo de carácter publicable donde se presenten los resultados de la revisión de literatura.

### **3.4.1 Actividades:**

**3.4.1.1 Actividad 1:** Gestionar la publicación del artículo, asegurando su disponibilidad en repositorios y plataformas académicas para su difusión y contribución al conocimiento sobre la gestión sostenible de residuos.

Siguiendo los objetivos específicos y sus respectivas actividades, se implementó la metodología PRISMA, iniciando con la formulación de la pregunta de investigación y el establecimiento de un protocolo para realizar una búsqueda exhaustiva y documentada. Posteriormente, se llevó a cabo la extracción y el análisis de la información recopilada, así como la evaluación de la calidad de los estudios seleccionados, con el propósito de sintetizar y presentar los resultados de manera sistemática.

***Tabla 1***

*Cumplimiento de objetivos*

Objetivos específicos	Cumplimiento
Establecer el protocolo de la revisión sistemática y realizar una búsqueda exhaustiva de documentos relacionados con la gestión de residuos alimenticios en cadenas de suministro.	Capítulo 5
Seleccionar, organizar y analizar los documentos encontrados en la búsqueda exhaustiva de información, a partir del protocolo de la metodología Prisma.	Capítulo 5

Sintetizar los resultados obtenidos y organizarlos a partir de la pregunta de investigación planteada en el protocolo de la revisión sistemática	Capítulo 5
Elaborar un artículo de carácter publicable donde se presentan los resultados de la revisión de literatura.	ApéndiceC_Artículo

---

## 4 Resultados esperados

Los principales resultados que se obtendrán son:

- Identificación de buenas prácticas documentadas en la literatura enfocadas en la gestión sostenible de residuos alimenticios dentro de las cadenas de suministro en diferentes sectores.
- Caracterización de las herramientas cuantitativas aplicadas que se centren en la optimización de los procesos, la toma de decisiones y evaluación de los impactos de la gestión de los residuos alimenticios en las cadenas de suministro.
- Evidencia de las tendencias bibliométricas relevantes en la investigación como los países, temáticas y años de publicación.
- Consolidación de los hallazgos en un artículo académico de carácter publicable.

## 5 Revisión de literatura

### 5.1 Marco teórico

El presente marco teórico busca dar un contexto de los principales términos utilizados dentro de la investigación para ampliar la comprensión del problema trabajado en la revisión de literatura titulada: Gestión sostenible de residuos alimenticios en cadenas de suministro.

De esta manera, será posible definir y ampliar conocimientos sobre temas afines a la gestión de residuos, desperdicio de alimentos, cadenas de suministro y demás.

### **5.1.1 *Gestión de residuos***

La gestión de residuos es un conjunto de actividades necesarias para manejar los residuos desde su generación hasta su disposición final de acuerdo con Kumar y Agrawal (2021) “La gestión de residuos es un proceso que incluye la recolección, el transporte y la eliminación de los residuos. De este modo, ofrece diversas formas de reciclar los residuos y convertirlos en recursos valiosos, por lo que es una de las áreas más relevantes dentro de la economía circular”.

La gestión de residuos abarca diversas etapas y consideraciones que según Rodríguez Herrera (2012) “buscan reducir la cantidad de residuos generados, trasladar los residuos de manera segura y eficiente, procesar los residuos para reducir su volumen, recuperar materiales a partir del reciclaje y la reutilización”. Además, eliminar los residuos de manera segura considerando aspectos legales, económicos, sociales y ambientales para garantizar una gestión sostenible.

### **5.1.2 *Clasificación de residuos***

Los residuos alimenticios corresponden a los alimentos y subproductos generados durante las diferentes etapas de la cadena de suministro, desde la producción, almacenamiento, distribución, comercialización y consumo, que no son destinados al aprovechamiento humano, presentando diferentes características y posibilidades de aprovechamiento.

Dentro de la gestión de residuos alimenticios es importante destacar la diferencia entre los conceptos de pérdida y desperdicio de alimentos. Según (Garrone, 2014) la pérdida de alimentos ocurre principalmente en las primeras etapas de producción, almacenamiento, +procesamiento y transporte, como consecuencia de deficiencias operativas, logísticas y tecnológicas. Por otra parte, el desperdicio de alimentos está presente en las etapas de comercialización y consumo final, cuando los alimentos aptos para el consumo son descartados debido a las malas prácticas de compra, almacenamiento y consumo.

Estos residuos pueden clasificarse de acuerdo con sus características y posibilidades de aprovechamiento, lo que permite identificar alternativas de reducción, reutilización y valorización dentro de la economía circular, tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Clasificación de residuos*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
Pérdida de alimentos	Disminución de alimentos durante el proceso de producción y distribución.	Daños en las cosechas o en el transporte del producto.
Desperdicio de alimentos	Alimentos aptos descartados en comercialización o el consumo.	Comida sobrante en los restaurantes.
Residuos evitables	Residuos que pueden reducirse mediante practicas adecuadas.	Alimentos vencidos por la mala rotación.

Residuos inevitables	Residuos generados naturalmente durante la preparación y el consumo	Cáscaras, semillas, huesos.
-------------------------	---	-----------------------------

Nota. Esta tabla muestra la clasificación de los residuos y sus características.

Esta clasificación permite identificar diferentes estrategias de manejo y aprovechamiento dentro de la gestión sostenible de residuos alimenticios. La gestión de los residuos alimenticios comprende el manejo adecuado de los desechos generados en la producción, distribución y consumo de los alimentos. De acuerdo con, Acevedo Correa (2023, p.102) este proceso incluye acciones orientadas a la “prevención del desperdicio, la recolección y separación para facilitar tratamiento. Del mismo modo, la educación y concientización fomenta buenas prácticas de producción y consumo responsable”.

### 5.1.3 *Gestión de residuos alimenticios*

La gestión de residuos alimenticios se ha convertido en un desafío global con implicaciones en diferentes ámbitos. Según un informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 2022 se desperdiciaron cerca del 19 % de la producción mundial de alimentos, lo que equivale a 1.050 millones de toneladas métricas. De esta cantidad el 60% proviene de los hogares, el 28% del sector de servicios de alimentación y el 12% del comercio minorista. Esta cantidad de desperdicio se contrasta con los 783 millones de personas que enfrentan hambre crónica en el mundo (FAO et al., 2023).

García- García *et al.* (2017) propone una metodología integral para la buena gestión de los residuos alimenticios, basada en la categorización de nueve etapas y una jerarquía de residuos adaptada a productos alimentarios. Esta metodología ayuda a identificar alternativas

de gestión que minimicen los impactos ambientales y maximicen los beneficios sociales y económicos.

#### **5.1.4 *Gestión sostenible de las cadenas de suministro***

El concepto de sostenibilidad ha cobrado valor en los últimos años, tanto que en el ámbito académico como el empresarial, acota diferentes temas desde posiciones como lo son el impacto social, económico y ambiental, la definición de este término es ampliamente aceptada y ha sido citada en varias ocasiones por la Comisión Mundial del Medio Ambiente con sus siglas en inglés (WCED) y también por Jeurissen, (2000) que indica que “la gestión de la sostenibilidad implica que las empresas no deben considerar solamente el impacto de sus acciones en los aspectos económicos sino también en el medioambiental y social”.

#### **5.1.5 *Buenas prácticas en la gestión de residuos alimentarios***

Trabajar en la reducción de las pérdidas y desperdicios de alimentos constituye una prioridad institucional para diferentes organismos internacionales, entre ellos el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), debido a los impactos ambientales, económicos y sociales asociados al desperdicio alimenticio. Diversos estudios coinciden en que la reducción efectiva de los residuos requiere la implementación de prácticas sostenibles integrales que involucren aspectos tecnológicos, regulatorios, educativos, logísticos y de cooperación interinstitucional (FAO, 2023; Acevedo Correa, 2023; Becerra, 2018).

En este contexto, el Banco Interamericano de Desarrollo propone diferentes líneas de acción orientadas a la reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos. Según Ruiz, Moreno y Suárez (2019), estas buenas prácticas incluyen:

- “Proyectos innovadores con el objeto de financiar proyectos piloto y promover el uso de tecnologías orientadas a la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos”.
- “Políticas públicas con el objeto de promover el desarrollo de normativas, políticas y programas que generen un entorno legislativo y de política pública que facilite la reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos” Estas estrategias incluyen leyes de donación, programas nacionales y municipales, mecanismos de redistribución y alianzas intersectoriales para mejorar la gestión sostenible de residuos alimenticios (FAO, 2023; Becerra, 2018).
- “Generación de conocimiento, con el objeto de financiar el desarrollo de estudios diagnóstico para diferentes cadenas de alimentos, así como análisis sobre las fallas de mercado”.
- “Hábitos de consumo responsables, con el objeto de estimular cambios de comportamiento entre consumidores y trabajadores del sector a través del apoyo a programas y campañas orientados a educar sobre la pérdida y el desperdicio de alimentos”.
- Gobernanza y colaboración intersectorial, relacionada con la creación de modelos colaborativos entre actores públicos y privados para coordinar acciones sostenibles en toda la cadena de suministro. La literatura destaca que las alianzas estratégicas entre gobiernos, empresas, productores, organizaciones comunitarias y bancos de alimentos fortalecen la implementación de programas de redistribución, logística colaborativa y economía circular, contribuyendo significativamente a la reducción del desperdicio alimentario (Tan et al., 2022; Wang et al., 2021; Alfiero et al., 2023).

### 5.1.6 Cadena de suministro

La cadena de suministro es el conjunto de actividades, instalaciones y medios de distribución necesarios para llevar un producto desde la materia prima hasta el consumidor final como se muestra en el ejemplo de Gonzales- Gonzales (2014) “el estudio de la cadena de suministro del mezcal del estado de Zacatecas abarca desde la plantación y cosecha del agave hasta la obtención del producto final que es el mezcal mismo y su comercialización” .incluyendo la transformación, producción, transporte y entrega del producto. Esta se conforma por diversos eslabones que incluyen: proveedores de materias primas, fabricantes, centros de distribución, transporte, minoristas.

Su gestión se centra principalmente en la planificación y coordinación de todas las actividades involucradas en los procesos de abastecimiento, producción y distribución, con el objetivo de optimizar los procesos para mejorar la eficiencia y reducir costos, para lograr satisfacer las necesidades del cliente.

- Cadena de suministro inteligente y sostenible (Smart and Sustainable Supply chain)

Las cadenas de suministro inteligente y sostenible combina tecnologías avanzadas con prácticas responsables para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental, esto incluye:

- **Integración de tecnologías:** inteligencia artificial, IoT, análisis de datos para optimizar procesos.
- **Prácticas sostenibles:** implementación de métodos que minimicen el impacto ambiental y promuevan la responsabilidad social.

- **Transparencia y trazabilidad:** capacidad para rastrear productos a lo largo de toda la cadena de suministro.

En la búsqueda de procesos y productos sostenibles se ha buscado como indica Márques, Almeida y Azevedo (2022) “reducir los impactos ambientales como un paso hacia la sostenibilidad. Entre los impactos ambientales se destacan la reducción de gases de efecto invernadero, debido a la preocupación por el cambio climático” representa un avance clave hacia la modernización y responsabilidad en los procesos, esta transformación mejora la competitividad de las organizaciones y responde a las crecientes demandas sociales y ambientales del entorno actual.

#### **5.1.7 Economía circular**

“La implementación de una economía circular permite un uso más eficaz de los recursos y menos residuos a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la fabricación hasta el consumo” Bigdeloo, Teymourian y Ebrahimi (2021). Se centra de esta forma en el reciclaje, reducción y reutilización de recursos con el fin de que su uso perdure en el tiempo. Según Govindan, Soleimani y Kannan (2015) “este modelo otorga al residuo un papel dominante y se sustenta en la reutilización inteligente del desperdicio” permitiendo así compararlo con el ciclo de vida de la naturaleza, es algo cíclico que permite el aprovechamiento de residuos.

#### **5.1.8 Revisión sistemática**

Una revisión sistemática es un tipo de investigación científica que recopila, evalúa y sintetiza de manera estructurada y transparente toda la evidencia disponible sobre una pregunta de investigación específica. Se caracteriza por seguir una metodología rigurosa que permite minimizar sesgos y proporcionar conclusiones confiables. El objetivo según

Chocobar Reyes y Barreda Medina (2025) “es dar respuesta a una pregunta de investigación formulada de forma clara y concreta mediante la identificación, selección, evaluación y síntesis de evidencias en investigaciones” para así conseguir la información más confiable a través de las metodologías utilizadas.

### **5.1.9 *Análisis del ciclo de vida (ACV)***

El análisis de ciclo de vida es una forma de evaluar el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema. Esto se hace desde que se obtienen las materias primas hasta que se desecha el producto. Con esta herramienta se aprecia cuántos recursos se consumen, qué emisiones se generan y qué efectos ambientales se producen en cada etapa.

En la gestión de residuos alimenticios, el análisis de ciclo de vida es muy útil, se utiliza para comparar diferentes opciones, como el compostaje, la digestión anaeróbica, el reciclaje o la producción de bioenergía (Putra et al., 2022; Bogoeva-Gaceva, 2007). De esta manera, es posible encontrar las estrategias que tengan menos impacto ambiental y sean más eficientes en términos de energía.

El análisis de ciclo de vida también ayuda a tomar decisiones que promuevan la sostenibilidad y la economía circular en la cadena de suministro de alimentos. Esto es importante para reducir el impacto ambiental y asegurar un futuro más sostenible.

### **5.1.10 *Huella de carbono***

La huella de carbono es una forma de medir el daño que se causa al medio ambiente. Indica cuántos gases de efecto invernadero produce un producto o una actividad, es útil para ver el impacto que tienen el transporte, el almacenamiento, la producción y el tratamiento de

alimentos y residuos alimenticios en el clima. Para la gestión de residuos sostenible, la huella de carbono ayuda a encontrar las partes del proceso que producen más emisiones así se pueden hacer planificaciones para reducir estas emisiones. Algunas formas de hacerlo son mejorar la logística, sacar energía de los residuos y hacer que los procesos sean más eficientes, según Galli (2021) y Putra (2022).

### ***5.1.11 Huella Hídrica***

La huella hídrica es un indicador que mide el volumen total de agua dulce utilizada directa o indirectamente durante la producción de bienes y prestación de servicios. Esta metodología permite evaluar el impacto generado sobre los recursos hídricos y determinar el nivel de consumo de agua asociado a cada etapa de la cadena de suministro. Para la gestión de residuos alimenticios la huella hídrica se utiliza para analizar la eficiencia de en el uso del agua durante los procesos de producción, almacenamiento, transformación y valorización de residuos, contribuyendo al diseño de estrategias más sostenibles y eficientes.

## **5.2 Marco de antecedentes**

Se recuperaron los tres trabajos con mayor interrelación con la investigación del repositorio de trabajos de grado de la facultad de ingeniería fisicomecánicas directamente de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales asociados a la carrera de Ingeniería Industrial y se menciona a continuación:

### ***5.2.1 Integración del enfoque Lean Green en la Cadena de Suministros: Una revisión sistemática de literatura.***

“Este proyecto tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura sobre la integración del enfoque Lean Green en la cadena de suministros, identificando las

principales metodologías de implementación, los beneficios derivados y los desafíos enfrentados en su adopción” Duarte, P (2024).

Los proyectos se relacionan en factores como la eficiencia y sostenibilidad de la cadena de suministro, su conexión con el enfoque Green busca la gestión de residuos y la integración de la economía circular. Además, se tiene el mismo enfoque de investigación de revisión de literatura analizando barreras y ventajas en la implementación de estrategias sostenibles en las cadenas de suministro.

### ***5.2.2 Diseño e implementación de metodologías activas de aprendizaje en la asignatura tópicos especiales gestión ambiental de la escuela de estudios industriales y empresariales de la Universidad Industrial de Santander.***

“El presente trabajo de campo educativo, propende crear una experiencia que simula ambientes propios de una realidad empresarial enfocada a la actualidad ambiental colombiana. Partiendo del objetivo fundamental que facilite un aprendizaje significativo, enfocando al estudiante a una próxima vida laboral con eficiencia en el uso óptimo de los recursos naturales” Álvarez, M. (2019).

La relación de las investigaciones radica en el interés de integrar conocimientos en temáticas de desarrollo sostenible, normatividad en el plan de gestión de residuos, aguas y clasificación de residuos con el fin de obtener herramientas que permitan aumentar los conocimientos en los temas mencionados.

### ***5.2.3 Consideraciones para un diseño de propuesta de una política pública para la gestión de residuos sólidos urbanos en Bucaramanga***

“En esta investigación se pretende concretar ideas y propuestas orientadas a enfrentar uno de los desafíos más grandes para las áreas urbanas y uno de los cinco problemas

prioritarios que deben asumir las autoridades locales, tal como lo es la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (GRSU)” Caicedo, Y. Méndez, D. (2018).

La relación radica en cómo los residuos alimenticios son una parte importante de los residuos sólidos urbanos y su enfoque en la mejor gestión de los residuos promoviendo prácticas sostenibles y buscando soluciones para el manejo de los residuos, permitiendo conectar un análisis global con una problemática local para así, con los hallazgos encontrados diseñar políticas públicas que brinden soluciones.

### **5.3 Revisión sistemática de la literatura**

La revisión sistemática de literatura se llevó a cabo con el propósito de identificar y sintetizar de manera clara y rigurosa la producción científica encontrada en las dos bases de datos escogidas SCOPUS y Web of Science. Por esta razón, se seleccionó la siguiente metodología:

#### **5.3.1 Aplicación de la metodología PRISMA**

Para asegurar la solidez de la metodología de la revisión se utilizó la metodología PRISMA 2020 "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-**Analyses**" con el fin de estructurar de forma clara cada una de las etapas llevadas a cabo para la identificación de los estudios analizados hasta la síntesis de resultados. Se seguirá la lista de verificación que aplica esta metodología, iniciando con el ítem 4 que corresponde a la pregunta de investigación, el 1,2 y 3 se encuentran al inicio del documento y corresponden a el título, resumen y justificación

**5.3.1.1 Formulación de la pregunta de investigación.** El punto de partida de la revisión inicia con la creación de una pregunta de investigación bien estructurada, de acuerdo

con las directrices de la metodología PRISMA esta debe garantizar la transparencia y consistencia de la revisión sistemática. Por esta razón, la pregunta de investigación se construyó a partir de un proceso de delimitación conceptual utilizando las siguientes palabras claves:

**Tabla 3**

*Palabras claves.*

<b>Palabra clave</b>	<b>Palabras clave en inglés</b>	<b>Palabras relacionadas</b>
Gestión de residuos alimenticios	<i>food waste, food loss, food waste management</i>	residuos alimenticios, pérdida de alimentos, gestión de residuos
Cadenas de suministro	<i>supply chain, food supply chain, logistics</i>	cadena de suministro, cadena alimentaria
Herramientas de análisis cuantitativo	<i>quantitative methods, quantitative analysis</i>	herramientas cuantitativas, análisis cuantitativo
Optimización y simulación	<i>optimization, simulation, machine learning, MCDM</i>	optimización, simulación, aprendizaje automático, MCDM
Sostenibilidad	<i>sustainability, sustainable supply chain</i>	sostenibilidad, gestión sostenible
Buenas prácticas	<i>best practices, successful practices</i>	buenas prácticas

Nota. Esta tabla muestra las palabras claves utilizadas para la ecuación de búsqueda

Estas palabras claves representan los ejes centrales del estudio permitiendo así establecer criterios claros para la aplicación de la metodología PRISMA.

En primer lugar, con la gestión de los residuos alimenticios y la sostenibilidad se centra la investigación con el objetivo general, buscando la reducción del desperdicio de alimentos, con la mención de la cadena de suministro enfocada en el sector alimentario se evidencia la importancia de actuar en diferentes partes de la cadena para lograr la correcta gestión del desperdicio de alimentos. Asimismo, la inclusión de herramientas de análisis cuantitativo como optimización y simulación permiten un enfoque metodológico en la revisión.

Con base en lo anterior, se formula la siguiente pregunta de investigación: Cuáles son las herramientas de análisis cuantitativo utilizada para la gestión sostenible de residuos alimenticios dentro de las cadenas de suministro, principalmente para el sector alimentario, con el fin de identificar buenas prácticas documentadas que contribuyan a la reducción del desperdicio de alimentos.

**5.3.1.2 Criterios de inclusión.** Para esta actividad, se hará uso de criterios de inclusión y exclusión como los que menciona (Chauhan et al., 2021). Entre los criterios de inclusión se consideran el idioma, tipo de documento, base de datos y rango temporal que va hasta el año 2025 como límite máximo y sin límite mínimo, la calidad metodológica de los estudios, priorizando artículos con pertinencia técnica y rigurosidad científica en relación con la gestión sostenible de residuos alimenticios. Para los criterios de exclusión refiere descartar actas, artículos de revistas comerciales y duplicados entre bases de datos, se describe cada uno de los criterios tenidos en cuenta a continuación:

**5.3.1.2.1 Relevancia temática.** los documentos encontrados harán referencia a la gestión de residuos alimenticios dentro de las cadenas de suministro con un enfoque sostenible y la aplicación de herramientas cuantitativas.

**5.3.1.2.2 Tipo de documento.** artículos de investigación, libros académicos y revisiones sistemáticas.

**5.3.1.2.3 Idioma.** español e inglés.

**5.3.1.2.4 Acceso.** abierto, con disponibilidad del documento completo para revisión del contenido y resultados.

**5.3.1.2.5 Calidad.** Que el artículo este publicado en revistas indexadas con calidad en el cuartil Q1 de Scimago, adicionalmente, presente rigurosidad metodológica, claridad en los resultados y pertinencia técnica respecto a las prácticas sostenibles y herramientas cuantitativas abordadas en la investigación.

### **5.3.1.3 Criterios de exclusión.**

**5.3.1.3.1 Irrelevancia temática.** Documentos sobre temáticas no relacionadas con la investigación o temática orientada hacia otros tipos de residuos.

**5.3.1.3.2 Tipo de documento.** Opiniones en editorial, conferencias, notas, blogs, artículos periodísticos, tesis no publicadas.

**5.3.1.3.3 Idioma.** Diferentes al inglés y español.

**5.3.1.3.4 Acceso.** Documentos con acceso restringido por membresías.

**5.3.1.3.5 Duplicados.** documentos que se encuentren repetidos en las bases de datos.

**5.3.1.3.6 Pertinencia temática.** Se descartan los documentos que no tienen relación con el objetivo de la investigación, realizando la lectura de los títulos y resúmenes de los artículos para posteriormente, leer todo el contenido de los artículos seleccionados, con el objetivo de verificar que los artículos se relacionen con prácticas sostenibles, herramientas cuantitativas o estrategias relacionadas con la gestión de residuos alimenticios en la cadena de suministro.

**5.3.1.4 Elección de bases de datos.** Las dos bases de datos seleccionadas para realizar la presente investigación son SCOPUS y WEB OF SCIENCE fundamentadas en su alta cobertura, calidad y reconocimiento como las principales fuentes de literatura científica para estudios interdisciplinarios, en áreas claves como la correspondiente a la presente investigación. Además, estas dos bases de datos ofrecen herramientas avanzadas que permiten crear estrategias de búsqueda completas como el filtrado por áreas temáticas, año, autor entre otras, lo que permite garantizar la trazabilidad de la información. También, las dos bases de datos seleccionan rigurosamente las revistas que indexan, es decir, cada documento de allí está revisado por pares, con estándares internacionales de publicación. Cada base de datos cuenta con alrededor de 20.000 o más revistas científicas de alta calidad, con estudios en diferentes áreas y países con filtros de búsqueda avanzados. Por otro lado, cuentan con indicadores bibliométricos para evaluar la relevancia de los artículos, autores y temáticas. Las bases de datos fueron consultadas por última vez 6 de diciembre de 2025 para la investigación.

#### **5.3.1.5 Estrategia de búsqueda**

**5.3.1.5.1 Elaboración de la ecuación de búsqueda.** Para elaborar la ecuación de búsqueda se inicia con la identificación de conceptos claves sobre la disminución de los

residuos alimenticios en las cadenas de suministro, estas palabras se encuentran relacionadas en la Tabla 3. A partir de estas palabras se buscan sinónimos o términos relacionados que se nombran con mayor frecuencia en otras investigaciones para también incluirlos. Para los operadores booleanos que se utilizan en estas dos bases de datos se utilizó AND para combinar diferentes conceptos, pero a la vez restringir los que contengan la información de manera simultánea esto con el fin de garantizar la alineación con la investigación. Los campos que se aplicaron para la búsqueda en las dos bases de datos son las siguientes:

#### **5.3.1.6 Selección de estudios.**

**5.3.1.6.1 *Análisis de duplicados.*** Tras la ejecución de la estrategia de búsqueda donde se identificaron un total de 169 artículos se realizó una revisión de los artículos duplicados que se encontraran en las dos bases de datos escogidas para evitar información repetida utilizando Microsoft Excel, se hicieron dos análisis, por título y por DOI que es el número de identificación del artículo. Finalmente se seleccionó los resultados del DOI pues, brinda mayor exactitud con la probabilidad de encontrar un duplicado, encontrando así 36 artículos repetidos los cuales se eliminaron para evitar reprocesos en las siguientes fases. De esta forma, el total de los documentos se redujo a 133 artículos únicos que son la base para la siguiente etapa.

## **6 Resultados**

### **6.1 Síntesis de resultados**

El análisis de los artículos seleccionados evidencia como la gestión del desperdicio alimentario en las cadenas de suministro aborda múltiples enfoques metodológicos y conceptuales, la síntesis coincide en que el desperdicio de alimentos se genera a lo largo de toda la cadena de suministro debido a factores, logísticos, organizacionales, técnicos y

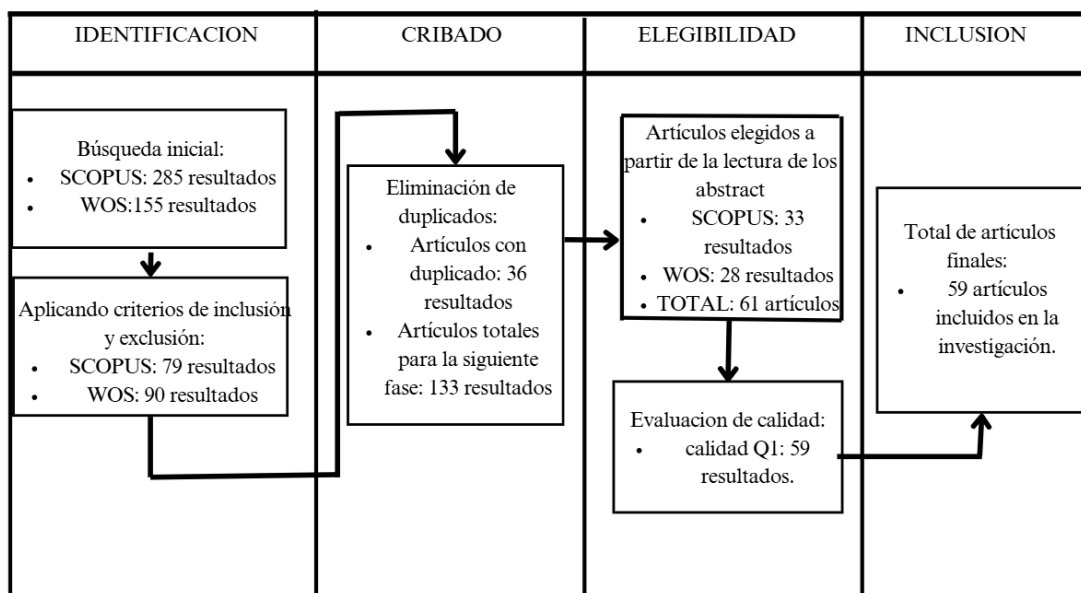
comportamentales, esta información ha sido documentada en estudios de revisión realizados en distintos conceptos geográficos (Parfitt, 2010) (Garrone, 2014) (Mirabella, 2014) (Reynolds C. M., 2020) (Lemaire y Limbourg, 2019) (Parsa, 2018) (Chauhan, 2021).

Con la homogeneidad de los artículos elegidos encaminados a responder la pregunta de investigación se creó una estrategia de síntesis en la que se utilizan las categorías de herramientas cuantitativas y prácticas sostenibles que se mencionaba previamente para así obtener una visión más clara de la información recolectada en la lectura de los artículos. A continuación, se describirá el proceso de selección a través de un diagrama de flujo para así evidenciar con cuántos artículos se continúa la investigación:

**Figura 10**

*Metodología PRISMA aplicada a la investigación.*

### Diagrama de flujo



Nota: Resultados de cada una de las fases de la metodología PRISMA en número de artículos seleccionados.

## **6.2 Presentación e interpretación de los resultados**

La presentación transparente de los resultados de la investigación se hace dividida en categorías temáticas construidas a partir del proceso de análisis temático y codificación inductiva previamente descrita. Cada categoría fue desarrollada a partir de una lectura crítica y detallada de la información extraída de los estudios seleccionados, permitiendo la identificación de patrones, fortalezas, limitaciones y relaciones entre las buenas prácticas y las herramientas cuantitativas aplicadas a la gestión sostenible de residuos alimenticios. De esta manera, prácticas como la logística inversa, la planificación de la demanda, la revalorización de residuos y la redistribución de excedentes se fortalecen gracias al uso de modelos de optimización, análisis multicriterio, simulación y formas de evaluar el impacto ambiental, esto ayuda a mejorar la toma de decisiones, reduce las pérdidas y aumenta la eficiencia operativa y ambiental de los sistemas alimenticios.

Además, al analizar cada categoría, se relacionan los resultados con investigaciones anteriores para complementar la práctica dentro de las cadenas de suministro de alimentos. En general, organizar y discutir los resultados facilita entender toda la información recopilada de manera integral. También permite responder de manera clara y estructurada a la pregunta de investigación y alcanzar los objetivos del estudio

## **6.3 Resultados de la síntesis**

El desperdicio de alimentos emerge como uno de los desafíos más significativos dentro de la humanidad y dentro de los sistemas alimentarios de hoy en día, debido no solo a sus implicaciones económicas sino también por sus grandes repercusiones ambientales,

sociales y morales. La revisión se fundamenta en literatura científica que muestra cómo el problema del desperdicio alimentario es multifactorial y se identifica en todas las etapas de la cadena de suministro, desde la producción hasta el consumo final (Gómez-González, 2023). El creciente interés por la disminución del desperdicio de alimentos se ha ido incrementando debido a la gran importancia que la humanidad ha sembrado por el cuidado del planeta, por ende, lo que se busca es disminuir las emisiones globales de efecto invernadero estimadas entre el 8 % y el 10 % del total mundial (Kassem, 2024) Así se identifica la necesidad de adoptar modelos de producción más sostenibles que reduzcan las pérdidas y desperdicios de alimentos.

En este contexto, la presente revisión integra el análisis realizado a los 59 artículos científicos con el propósito de identificar herramientas cuantitativas utilizadas para medir, analizar o modelar el desperdicio a través de modelos matemáticos, análisis ambiental entre otros y buenas prácticas aplicadas para prevenir, reducir y sumar valor a los residuos a lo largo de la cadena alimentaria con el fin de llegar a una gestión sostenible de residuos dentro de la cadena de suministro. Se estructura a partir de categorías que se encaminan hacia el ideal de la investigación con el fin de mostrar cómo cada categoría tiene sus herramientas para aportar a la disminución de residuos alimenticios y brindar un aporte significativo para solucionar el problema.

### **6.3.1 Buenas prácticas**

La literatura destaca un conjunto de **buenas prácticas** que han demostrado eficacia en la reducción del desperdicio alimentario. Estas prácticas abarcan intervenciones educativas, mejoras operativas, estrategias de logística sostenible, iniciativas de economía circular y marcos regulatorios que favorecen la prevención y valorización de residuos

(Lemaire y Limbourg, 2019). A continuación, se nombran la cantidad de artículos relacionados con las categorías utilizadas para las prácticas sostenibles, sus tipos de prácticas y los principales hallazgos por categoría que complementan la presente investigación:

### Figura 11

*Frecuencia de artículos por categoría de buenas prácticas identificadas en la revisión sistemática.*



**Nota:** Se evidencia la cantidad de artículos relacionados por categoría en cuanto a las buenas prácticas.

Las buenas prácticas que más se mencionan son la gestión logística y la revalorización de los residuos, enlazadas con la sensibilización y el comportamiento del consumidor.

**Tabla 7**

*Categorías de buenas prácticas identificadas y sus tipos de prácticas relacionadas.*

Categoría	Tipo de práctica	Ejemplos frecuentes	Autores
Sensibilización y comportamiento	Educación y campañas	Etiquetado inteligente y sensibilización al consumidor	Reynolds et al. (2019); Romagnoli et al. (2023); Kannan et al. (2024)
Revalorización de residuos	Valorización tecnológica	Producción de biogás, compost y colágeno a partir de escamas	Suhartini et al. (2022); Pal et al. (2024); Sultan et al. (2023)
Gestión logística	Logística inversa	Redistribución, recolección eficiente trazabilidad	Faccihini et al. (2018); Tan et al. (2022); Govindan et al. (2015)
Gestión operativa	Clasificación de residuos	Separación en origen y caracterización en sitio	Naujokas & Bobinaite (2025); Tan et al. (2022)
Normativa y calidad	Certificación / estándares	Seguridad alimentaria, trazabilidad Halal e ISO	Tseng et al. (2022); García et al. (2024); Garrone et al. (2014); Goncalves & Máximo (2023)
Modelo de economía circular	Economía circular	Integración de residuos y aprovechamiento integral	Papargyropoulou et al. (2014); Rabbi & Amin (2024); Govindan et al. (2015)
Gobernanza y colaboración	Participación comunitaria	Proyectos locales y alianzas entre actores	Tan et al. (2022); Alfiero et al. (2023); Wang et al. (2021); García et al. (2024)

Nota: Tipo de prácticas identificadas con sus aplicaciones encontradas en la revisión.

Ahora se describen los hallazgos encontrados para cada categoría elegida para las prácticas sostenibles encontradas en el desarrollo de la investigación:

**6.3.1.1 Sensibilización y comportamiento.** La educación y formación constituyen una de las practicas más relevantes en la reducción del desperdicio alimentario, debido a que, gran parte de las pérdidas se generan por hábitos inadecuados de compra, almacenamiento y consumo. La sensibilización ciudadana y las capacitaciones o campañas educativas impactan a las personas sobre su forma de desechar o consumir, modificando patrones de

comportamiento relacionados con el manejo de los residuos alimenticios y la promoción de prácticas de consumo más sostenibles. Según (Koutinas, 2017) la reducción del desperdicio alimenticio requiere metodologías que logren integrar la sensibilidad del consumidor junto con la capacidad para disminuir el desperdicio en las diferentes cadenas de suministro y mejorar así la seguridad alimentaria. Por otro lado, (Reynolds et al., 2020) sostiene que si la sensibilización del comportamiento humano logra llegar a una de las principales determinantes del desperdicio de alimentos esta tendrá un cambio significativo en la cantidad del desperdicio.

Alaerts et al. (2022) resaltan que las percepciones, actitudes y comportamientos de los consumidores desempeñan un papel determinante en la efectividad de las estrategias de prevención, lo que sugiere que las intervenciones orientadas exclusivamente a mejoras tecnológicas resultan insuficientes si no se acompañan de cambios en los patrones de consumo. Cabe resaltar la importancia de la reducción en origen y la recuperación para consumo humano son factores claves para enfrentar las consecuencias como el impacto ambiental y la inseguridad alimentaria. La sensibilización empieza en cada persona que consume o prepara alimentos pues, educarla para que conozca la definición de qué es un residuo alimenticio y cómo puede aprovecharse generando así una diferencia significativa en el impacto generado por cada consumidor.

Los estudios en Italia y Tailandia permiten evidenciar que la sensibilización es decisiva como lo mencionamos anteriormente, adoptando prácticas sostenibles para reducir pérdidas a través de la venta directa, evitando así los excedentes. Esta es una solución factible sólo para ciertos escenarios o cadenas de suministro específicas como la de los agricultores y comerciantes ambulantes incluyendo a su vez una relación más estrecha con el consumidor

(Parsa, 2018). Por otro lado, se veía la influencia de las partes tecnológicas en la disposición de los agricultores a utilizar sistemas encaminados hacia la economía circular para reducir así los desperdicios (Parfitt, 2010).

Esta categoría revela la importancia del comportamiento social viéndolo como un reto para disminuir la cantidad de residuos alimentarios generados, pero también como una oportunidad para usar estos residuos como subproductos que permitan disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y a la vez el desperdicio de alimentos en las diferentes cadenas de suministro.

Los resultados de la revisión de los artículos seleccionados muestran que las estrategias de sensibilización y cambio de comportamiento se concentran principalmente en las etapas de consumo y comercialización dentro de la cadena de suministro de alimentos. Una parte importante de los estudios analizados en esta categoría se refiere a campañas educativas, etiquetado informativo y programas de concientización dirigidos a consumidores y actores comerciales como mecanismos para disminuir el desperdicio de alimentos. Reynolds et al. (2020), Romagnoli et al. (2023) y Kannan et al. (2024) coinciden en que las prácticas más frecuentes corresponden a educación al consumidor, promoción de hábitos de compra responsables y fortalecimiento de la cultura de aprovechamiento alimentario. Varios estudios resaltan, asimismo, que las estrategias basadas solamente en innovación tecnológica arrojan menores resultados cuando no van acompañadas de intervenciones orientadas al comportamiento humano y la participación de los consumidores. Estos resultados permiten identificar que la sensibilización es una de las prácticas más recurrentes en la literatura revisada, precisamente por su capacidad para intervenir de manera directa en una de las

principales causas del desperdicio de alimentos: los hábitos inadecuados de consumo, almacenamiento y disposición final de los alimentos.

**Figura 12**

*Etapas de la cadena de suministro abordadas por las prácticas de sensibilización y comportamiento.*



Nota: Relación de la cantidad de estudios enfocados en la categoría de sensibilización y comportamiento y su respectiva aplicación en la cadena de suministro.

**6.3.1.2 Economía circular.** Desde el enfoque de economía circular, diversos estudios destacan la implementación de prácticas orientadas a la reducción, reutilización y valorización como mencionamos al inicio de la investigación, estas estrategias disminuyen el impacto ambiental y generan valor agregado en prácticas como (redistribución de excedentes, transformación de los subproductos y la optimización de los procesos) generando beneficios ambientales y económicos (Bogoeva-Gaceva, 2007) (Prabowo, 2023).

Desde la perspectiva de la economía circular, los artículos revisados coinciden en que la gestión de residuos alimenticios debe ser vista como un sistema integrado y regenerativo. Bigdeloo et al. (2021) destacan que la economía circular tiene el potencial de convertir residuos en recursos, promoviendo ciclos cerrados de materiales y energía a lo largo de la cadena de suministro. Siguiendo esta misma línea, Govindan et al. (2015) subrayan que, al integrar principios circulares en las cadenas de suministro, se favorece la recuperación de valor y se minimizan los impactos ambientales, gracias a sistemas de logística inversa y decisiones coordinadas. Además, Putra et al. (2022) demuestran que estos enfoques son especialmente relevantes en contextos emergentes, donde los residuos alimenticios pueden transformarse en motores de desarrollo sostenible a través de la bioeconomía circular. Alonso-Muñoz et al. (2022) muestra que aplicar principios circulares puede transformar los flujos de materiales y energía, ayudando a reducir la generación de residuos a través de la reutilización, el rediseño de procesos y la prolongación del ciclo de vida de los productos alimentarios. Estos métodos subrayan la prevención como la estrategia más importante dentro de la jerarquía de gestión de residuos.

La economía circular permite transformar residuos en recursos, fomentando la reutilización, reciclaje y valorización de materiales, promoviendo una gestión más eficiente del desperdicio alimentario a lo largo de la cadena (Galli, 2021). La transición hacia la economía circular no hace percibir a los residuos alimentarios como una oportunidad para reducir, recuperar y reutilizar, de esta forma, en Indonesia, los residuos alimentarios son concebidos como recursos estratégicos para avanzar hacia bio economías sostenibles que permitan integrar la producción de bioenergía a partir de residuos utilizando un modelo circular (Putra et al, 2022). También se proponen modelos como DELAEC ya que, con sus

plataformas digitales facilita el intercambio de excedentes agrícolas contribuyendo así a cerrar los ciclos de producción y consumo (Reynolds C. M., 2020). Esta transición muestra que la economía circular requiere de innovación tecnológica como apoyo institucional para surgir y dar resultados. La economía circular también ofrece un marco integral para transformar residuos en recursos, la implementación de prácticas circulares promueve la reutilización, reducción y el reciclaje contribuyen a cerrar ciclos sobre materiales y reducir la presión de los ecosistemas. En el ámbito del desperdicio alimentario la economía circular ha emergido un modelo regenerativo centrado en la reutilización, el reciclaje y la valorización (Parfitt, 2010).

### ***Figura 13***

*Integración de la economía circular en la gestión de residuos alimenticios.*



Nota: Etapas de la cadena y el reintegro de los residuos como productos valorizados.

Como se observa en la figura 14 la economía circular permite cerrar el ciclo de los residuos alimenticios mediante procesos de revalorización que transforman los desechos en insumos, energía o nuevos productos. El uso de este modelo no solo genera beneficios que reducen el impacto ambiental, sino que también generan beneficios económicos y sociales. Con su implementación adecuada y una correcta actuación en la cadena de suministros se permite evaluar la viabilidad y eficiencia de estas estrategias, destacando como eje integrador la economía circular.

Este enfoque plantea estrategias a diferentes niveles. En primer lugar, se prioriza la prevención, evitar la generación de desecho para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de energía y la presión sobre los suelos agrícolas (Olabode, 2025). En segundo lugar, la economía circular promueve la redistribución de alimentos a través de los bancos de alimentos, aplicaciones digitales o sistemas colaborativos entre los minoristas y las organizaciones. Estas iniciativas reducen el desperdicio y a la vez fortalecen la seguridad alimentaria (Olabode, 2025).

La tercera estrategia consiste en la reutilización y transformación de subproductos y residuos orgánicos, se incluye el compostaje, producción de biofertilizantes, digestión anaeróbica para generar biogás o conversión de biomateriales. Estudios recientes indican que los residuos como cáscaras, bagazos, restos de frutas y vegetales pueden convertirse en materias primas valiosas para las industrias alimentarias, cosmética, agrícola y farmacéutica (Mirabella, 2014).

Asimismo, el enfoque va hacia el papel del diseño circular, enfocado en la reducción de desperdicios que incluye innovaciones de empaques biodegradables o compostables,

envases inteligentes que garanticen frescura o condiciones de almacenamiento y materiales que prolonguen la vida útil de los alimentos. En conjunto, la economía circular ofrece una visión holística que vincula la sostenibilidad ambiental, la eficiencia económica, el cuidado ambiental y la conciencia social. Asimismo, se observa su aplicación a través de la reorganización de sistemas alimentarios hacia modelos más resilientes, regenerativos y eficientes con el fin de disminuir el desperdicio alimentario.

A partir del análisis de todos los artículos seleccionados, se identificó que aproximadamente 27 estudios abordaron prácticas relacionadas con la economía circular dentro de la gestión de residuos alimenticios. Las estrategias más habituales fueron aquellas orientadas a la reutilización y valorización de residuos, presentes en 12 investigaciones, seguidas de prácticas de redistribución de excedentes alimentarios en 8 estudios y compostaje en 6 artículos. De igual manera, la producción de biogás fue reportada en 3 investigaciones como una alternativa de aprovechamiento energético de residuos orgánicos. En relación con las etapas de la cadena de suministro, la mayor concentración de estudios se situó en las etapas de consumo y post-consumo, identificadas en 12 artículos, mientras que 6 investigaciones tienen estrategias aplicadas de forma integral a toda la cadena de suministro. Estos resultados evidencian una tendencia creciente a modelos circulares, principalmente orientados a la valoración de residuos y la recuperación de valor ambiental, económico y social.

**6.3.1.3 Gestión logística.** La logística de la cadena de suministro es una etapa determinante que se evidencia durante toda la cadena que influye en la reducción del desperdicio. En esta revisión se evidencia como las pérdidas se producen en todas las etapas de la cadena de suministro. Sin embargo, la cooperación de los diferentes actores que

intervienen en la cadena hace que este desperdicio sea menor o mayor teniendo en cuenta que la buena comunicación permite que la gestión logística disminuya el desperdicio generado pues, se pierden menos productos como pasa en las cadenas de alimentos, de este intercambio de información y de la cooperación entre actores surge los factores más relevantes para reducir el desperdicio de manera significativa (Lemaire y Limbourg, 2019). Esto implica una responsabilidad compartida para evitar fallas en la cadena logística en aspectos como la comunicación y coordinación que generen ineficiencia en la gestión logística.

Cuando hablamos de gestión logística, los hallazgos indican que combinar enfoques de logística inversa con cadenas de suministro de ciclo cerrado es clave para disminuir el desperdicio de alimentos. Govindan, Soleimani y Kannan (2015) demuestran que los modelos de cadena de suministro de ciclo cerrado permiten recuperar valor de los desechos a través de decisiones coordinadas sobre recolección, redistribución y valorización, lo que ayuda a reducir tanto el impacto ambiental como los costos operativos. Además, los estudios de Tseng y su equipo destacan la importancia de tomar decisiones sostenibles en la cadena de suministro, integrando criterios ambientales y sociales junto con los económicos. Estos enfoques se basan en modelos cuantitativos que permiten evaluar diferentes escenarios de gestión logística bajo principios de sostenibilidad. De manera similar, Wibisono y sus colegas muestran que utilizar modelos de decisión multicriterio en la gestión logística de residuos alimenticios facilita la elección de las mejores estrategias para el transporte, la localización y el tratamiento, lo que contribuye a una reducción notable del desperdicio a lo largo de la cadena.

La mejora en las cadenas de frío, la optimización del transporte y la planificación basada en la demanda son los elementos fundamentales para prevenir las pérdidas en etapas como la distribución y comercialización, aquí la gestión logística juega un papel fundamental ya que, la interconexión de los proveedores, distribuidores o cualquier agente de la cadena permiten disminuir las ineficiencias de la cadena solo con la interconexión de los participantes de la cadena, por esta razón uno de los factores fundamentales para tener un buen control logístico son la comunicación efectiva entre todos los que hace parte de cualquier cadena de distribución.

Otra dimensión clave es la planificación de la demanda que dice la cantidad de demanda que se mantiene en determinado momento, los sistemas tradicionales se basan en promedios históricos que no reflejan la volatilidad del consumo. Los artículos proponen la incorporación de modelos predictivos basados en inteligencia artificial y en analítica de datos en tiempo real para mejorar la precisión del pronóstico para evitar el desperdicio alimentario a lo largo de la cadena de suministro (Olabode, 2025)

La coordinación interinstitucional también emerge como un elemento esencial, se deben alinear informaciones prácticas por parte de los actores de las cadenas para reducir pérdidas en el flujo de productos (Lemaire y Limbourg, 2019) la comunicación insuficiente entre las diferentes áreas puede generar excedentes innecesarios y retrasos logísticos, pero con una comunicación adecuada un intercambio de datos con planificación conjunta aumenta la eficiencia y disminuyen la probabilidad del desperdicio.

Asimismo, se identifica la importancia de mejorar la estandarización del transporte y el embalaje, en varios países el desperdicio se da en el transporte del producto, especialmente

en frutas y verduras. La implementación de embalajes resistentes, contenedores ventilados, métodos de almacenamiento adecuados y protocolos de manipulación correctos reducen significativamente el deterioro. Estas medidas operativas, de bajo costo relativo, resultan particularmente efectivas en contextos donde la infraestructura logística es limitada (Garrone, 2014).

El desarrollo de plataformas digitales de redistribución que identifican los productos o excedentes para enviarlos a bancos de alimentos, organizaciones comunitarias o consumidores finales a precios reducidos. En países latinoamericanos y europeos esta práctica disminuye el desperdicio de supermercados y servicios de alimentación y a su vez fortalece la seguridad alimentaria y sostenibilidad disminuyendo el desperdicio.

Por otro lado, en países en desarrollo la logística se ve afectada por el mal estado de las vías, la falta de centro de acopio y el no contar con una adecuada refrigeración. La literatura enfatiza en la necesidad de invertir en la infraestructura básica para fortalecer las capacidades técnicas a nivel local para lograr mejoras logísticas sostenibles. La gestión logística se considera como una de las prácticas más relevantes para la reducción de residuos alimenticios como bien se ha identificado anteriormente, a partir de ese análisis se identificaron otras prácticas apoyadas en herramientas cuantitativas que contribuyen a la mejora de la eficiencia en la cadena de suministro. La siguiente tabla muestra una síntesis de otras prácticas aplicadas en toda la cadena junto con la herramienta cuantitativa encontrada en la revisión y el impacto positivo generado.

**Tabla 8**

*Buenas prácticas de gestión logística, herramientas cuantitativas e impactos en la cadena de suministro.*

Práctica logística	Etapa de la cadena	Herramienta cuantitativa asociada	Impacto reportado
Logística inversa	Distribución	Optimización y simulación	Reducción de excedentes
Cadena de frío inteligente	Transporte y almacenamiento	IoT y análisis de datos	Menor deterioro
Planificación de la demanda	Producción y distribución	IA y modelos predictivos	Disminución de sobre stock
Redistribución de excedentes	Consumo	Plataformas digitales	Mejora la seguridad alimentaria

Nota: Muestra otras herramientas cuantitativas aplicadas en la gestión logística y su impacto positivo dentro de la cadena.

Como muestra la tabla 8, la logística inversa se destaca como una práctica que a través de la optimización y simulación puede ayudar a mejorar la etapa de producción generando disminución de los excedentes y una redistribución eficiente de los productos. Asimismo, la implementación de cadenas de frío permite disminuir el deterioro de los alimentos a partir de la aplicación del internet de las cosas y la analítica de datos en las etapas de transporte y almacenamiento de la cadena. Por otro lado, la planificación de la demanda mediante modelos predictivos basados en la inteligencia artificial permite reducir el sobre stock en las

fases de producción y distribución. Para mejorar la seguridad alimentaria se plantea el uso de plataformas digitales para redistribuir los excedentes generando un impacto social positivo y reforzando el papel de la gestión logística como componente clave para mejorar la gestión de los residuos a lo largo de la cadena.

La gestión logística se encuentra en 18 artículos que se analizaron. Las prácticas que más se repitieron fueron la logística inversa, la optimización del transporte, las cadenas de frío y la redistribución de comida que sobra. La mayoría de los estudios se centraron en cómo se distribuye y almacena la comida, destacando que es muy importante que todos los actores trabajen juntos, sepa de dónde viene la comida y que planifique la demanda para evitar pérdidas en la cadena de suministro. También, varios artículos usaron herramientas matemáticas como modelos de optimización, simulación y análisis de datos para mejorar la eficiencia logística y reducir el desperdicio.

**6.3.1.4 Gestión Operativa.** La separación en origen y la clasificación adecuada de los residuos constituye una práctica operativa esencial pues, permite identificar los factores externos más influyentes que son la infraestructura y las regulaciones obligatorias internos son la conciencia ambiental de los consumidores, los sistemas de separación que se intentan incorporar en un origen son respaldados con contenedores diferenciados y con una recolección selectiva, aunque también existen programas de recompensar como bonos o reducción en su tarifa de aseo por la participación activa en la separación de los residuos. De esta manera, cuando se combina con retroalimentación al ciudadano, con reportes de cuanto se recicla los resultados se mejoran en un mediano plazo, para aplicar estas estrategias es importante aplicar programas piloto que permitan al usuario ver el funcionamiento del sistema y los beneficios que trae integrarse a él Creazza et al. (2021).

Prácticas como los controles de calidad, la rotación basada en el sistema PEPS, la estandarización de procesos, la capacitación de personal logístico, operativo, comercial y administrativo permiten reducir desperdicios en la producción, ya que, cada estrategia que se utiliza para mejorar un sistema contribuye al funcionamiento de todo la cadena de suministro para bien o para mal, estas medidas son muy funcionales en productos perecederos pues, se evita el desperdicio gracias a la respuesta rápida de la rotación de los productos. En la siguiente tabla evidenciamos los principales puntos críticos de la generación de residuos identificados en la revisión junto con las causas, las medidas operativas que se pueden aplicar y las herramientas de apoyo que se deberían utilizar.

**Tabla 9**

*Puntos críticos de generación de residuos y medidas operativas de control.*

Punto crítico del proceso	Causa del residuo	Medida operativa aplicada	Herramienta de apoyo
Recepción de materias primas	Materia prima fuera de especificación	Inspección y clasificación en origen	Listas de verificación, muestreo
Almacenamiento	Vencimiento y mala rotación	Gestión PEPS y UEPS	Indicadores de inventario
Procesamiento	Errores operativos	Estandarización de procesos	Control estadístico
Manipulación	Contaminación cruzada	Separación y señalización	Auditorías internas

Preparación y despacho	Sobreproducción	Ajuste de cantidades	Análisis de demanda
------------------------	-----------------	----------------------	---------------------

Nota: Puntos críticos del proceso con su medida operativa aplicada para dar solución.

Una parte significativa del desperdicio alimentario se origina en fallas operativas asociadas a los diferentes puntos críticos mencionados, la implementación de medidas operativas permite reducir de manera significativa la generación de residuos antes de que estos ingresen a etapas posteriores de la cadena. El uso de las herramientas de control y seguimiento a indicadores como niveles de inventario y las diferentes auditorías fortalecen la capacidad para anticipar desviaciones y mejorar su desempeño operativo.

Cerca de 10 estudios se centraban en las prácticas dirigidas a un manejo adecuado de los residuos alimentarios, prácticas concernientes a la separación de los residuos en el origen, clasificación de los residuos, al control de la calidad del producto y a la estandarización de los procedimientos operativos. Las prácticas mencionadas con mayor frecuencia se refieren a las etapas de producción, almacenamiento y manipulación de los alimentos, algunos, estudios aunaban a las estrategias las herramientas de gestión como el control estadístico, los indicadores de existencias y el análisis de la demanda, todo ello, con el propósito de favorecer la eficacia operacional y la reducción de pérdidas debidos a los fallos internos de los procesos.

**6.3.1.5 Normatividad y calidad.** Existe un vínculo notable entre las políticas públicas y la reducción de desperdicios de todo tipo pues, son claves para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Con un análisis sobre la gestión de pérdidas y desperdicios resaltamos que los marcos que regulan y los indicadores integrados (ambientales, sociales y

económicos) son indispensables para poder diseñar políticas efectivas que permitan integrar estos ítems para lograr un equilibrio costo beneficio al intentar reducir el desperdicio (Reynolds, 2020). La experiencia internacional que se logró apreciar en esta investigación demuestra que las certificaciones y el estándar de calidad en términos de seguridad alimentaria facilitan la trazabilidad, aunque requiere adaptarse a los contextos locales donde se apliquen para ser más efectivos.

Políticas como flexibilización de estándares estéticos, etiquetado claro y donación obligatoria de excedentes han demostrado reducir descartes innecesarios (Lemaire y Limbourg, 2019) pues, al donar material desechado pero que puede ser reutilizado se crea una cadena cíclica que permite aprovechar estos residuos y los que se generarán próximamente.

La normatividad y estándares de calidad desempeñan un papel fundamental en la gestión del desperdicio alimentario puesto que regulan la producción, manipulación, comercialización y distribución de alimentos en la cadena de suministro, en la investigación se destaca como esta normatividad puede funcionar tanto como un facilitador de la reducción del desperdicio cuando promueve la redistribución como un generador involuntario de pérdidas especialmente cuando se imponen estándares sanitarios excesivamente restrictivos (Galli, 2021). De manera complementaria, El Bilali et al. (2022) identifican que los principales impulsores del desperdicio alimentario incluyen factores económicos, logísticos y culturales, los cuales interactúan a lo largo de la cadena de suministro. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de enfoques sistémicos que integren políticas públicas, prácticas empresariales y cambios de comportamiento como parte de las estrategias de reducción del desperdicio.

Uno de los aspectos más debatidos son la presencia de estándares estéticos y de clasificación que regulan tamaño, forma apariencia de frutas y hortalizas. Estos criterios diseñados para mejorar específicamente la comercialización han provocado que una porción numerable de productos sea descartada antes de llegar a los mercados (Garrone, 2014). En Europa, hasta el 30% de las frutas y hortalizas son rechazadas por no cumplir dichos requisitos lo que evidencia el impacto directo de la normatividad sobre el desperdicio.

Otro elemento regulatorio clave es el etiquetado de fechas de consumo específicamente el consumir antes de o consumir preferiblemente antes de. Las confusiones en torno a ambas categorías han sido ampliamente debatidas debido a que son una causa del desperdicio de alimentos, minoristas y hogares (Reynolds C. M., 2020). Investigaciones recientes recomiendan simplificar o estandarizar estas etiquetas para reducir descartes prematuros especialmente en países con gran consumo per cápita.

La normatividad también puede funcionar como herramienta para la donación y redistribución de alimentos siempre y cuando, proteja a los donantes de responsabilidades excesivas. Países como EE.UU. Francia e Italia han promulgado leyes de protección legal incluso obligación de donación, lo que ha incrementado la recuperación de excedentes y disminuido el desperdicio de alimentos en supermercados y restaurantes (Garrone et al., 2014; Reynolds et al., 2020).

A nivel global, también se observa un creciente impulso hacia normativas que favorece la economía circular, promoviendo incentivos por compostaje, digestión anaeróbica y prohibición de vertederos para residuos orgánicos o tarifas variadas para la valorización, estos marcos normativos son claves para acelerar cambios estructurales en sistemas

alimentarios (Galli, 2021). La normalización y la calidad se presentan en cerca de 13 artículos analizados, enfocados principalmente en normas de seguridad alimentaria en cuanto a certificaciones o planes de minimizar el desperdicio de alimentos. Los estudios subrayan la forma en que las normas de etiquetado, trazabilidad, donación de alimentos y estándares estéticos de frutas u hortalizas puede tener impacto. Algunos autores argumentan que las regulaciones pueden ayudar y obstaculizar la minimización del desperdicio, sobre todo cuando las exigencias sanitarias o comerciales son especialmente rígidas.

**6.3.1.6 Revalorización de residuos.** La mayor concentración de revalorización de residuos va centrada al uso de tecnología para llevarlo a cabo pues, presenta un alto potencial de crecimiento. Los residuos se presentan como una fuente significativa para la producción de biogás y biodiesel que son productos en crecimiento; no obstante, el problema radica en la inversión inicial, concentración de la materia prima y falta de apoyo regulatorio limitan el crecimiento de un proyecto de este tipo (Prabowo, 2023).

Los hallazgos de la revisión sistemática indican que la valorización de residuos alimentarios se ha convertido en una de las áreas de investigación más sólidas en el ámbito de la gestión sostenible del desperdicio. En este contexto, Rodríguez et al. (2022) demuestra, a través de su revisión sistemática sobre tecnologías de valorización, que las opciones más investigadas abarcan la producción de bioenergía, bioproductos y materiales de valor añadido. Subrayan la importancia de elegir tecnologías que se adapten al contexto local, a la disponibilidad de residuos y a los impactos ambientales que conllevan. Además, Rodríguez-Pleguezuelo et al. (2024) señala que las estrategias más efectivas para gestionar el desperdicio alimentario combinan acciones de prevención, reutilización y valorización, todo ello enmarcado dentro de un enfoque de economía circular. Así mismo, la literatura evidencia

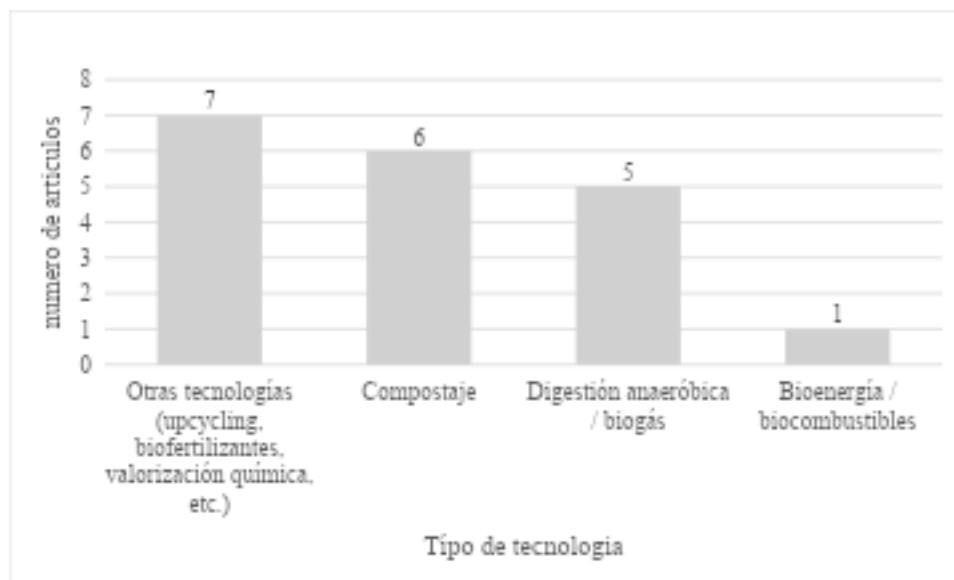
que la revalorización de residuos también ha sido explorada en la industria pesquera, donde se identifican oportunidades de transformación de los subproductos en biometano, fertilizantes e hidroxiapatita. Estos estudios muestran que existen barreras significativas para su implementación, destacándose la fragmentación constante de la cadena y las limitaciones logísticas asociadas al manejo y concentración de los residuos. (Lemaire y Limbourg, 2019).

La valorización del desperdicio alimentario a través de técnicas como el compostaje, digestión anaeróbica, bioenergía y biomateriales fortalece la transición hacia sistemas circulares (Garrone, 2014). El desperdicio alimentario puede transformarse en energía, fertilizantes, biomateriales, bioplásticos o insumos industriales, con estas estrategias no solo se reduce el desperdicio, sino que también se genera un valor económico y sostenibilidad en el sistema alimentario pues, se deja un poco el desperdicio para reutilizar subproductos y con ellos fabricar un producto nuevo. Fayaz et al. (2024) también menciona varias formas de valorización, que incluyen la producción de bioenergía, bioproductos y materiales de alto valor. Estos estudios muestran que la valorización no sólo ayuda a reducir el desperdicio, sino que también crea oportunidades económicas y ambientales en las cadenas de suministro.

A continuación, se muestra la distribución de tecnologías de revalorización de residuos que se identificaron en los artículos seleccionados. Predomina el compostaje y la digestión anaeróbica como técnicas mayormente utilizadas, así como el creciente interés de las tecnologías emergentes para el aprovechamiento total de los residuos como lo son los biomateriales, bioproductos y upcycling, entre otras.

**Figura 14**

*Tecnologías de revalorización de residuos alimenticios identificadas en la literatura.*



Nota: Cantidad de artículos asociados a los tipos de tecnologías utilizados en la revalorización de residuos.

Entre las estrategias más estudiadas se encuentra la digestión anaeróbica, el cual es un proceso biotecnológico que permite convertir residuos orgánicos en biogás o digestato, este último aprovechado como fertilizante, este enfoque es eficaz para la reducción de emisiones y aumento en la eficiencia energética en regiones con alta disponibilidad de residuos orgánicos (Olabode, 2025). Además de generar un gran interés monetario pues, a través del aprovechamiento de residuos se consigue material para alimentar la industria agrícola y la automovilística que día a día requieren de estos productos para continuar funcionando.

Otra estrategia fundamental es el compostaje, un proceso biológico de descomposición controlada que transforma los residuos alimenticios en material orgánico

apto para la agricultura. Varios estudios destacan como el compostaje mejora la estructura del suelo, su retención de humedad y dejan de ser tan dependientes a fertilizantes sintéticos (Garrone, 2014). Además, el compostaje también es utilizado como herramienta educativa con idea de participación social en diferentes contextos. Por otra parte, se identifican los bioproductos avanzados que son muy nombrados pues, se hacen a base de residuos de fruta, vegetales y café, tienen compuestos bioactivos y fibras que son muy aprovechados en procesos industriales de alto valor agregado. Esta tendencia de productos a base de residuos alimenticios muestra como el desperdicio de alimentos se convierte en un insumo valioso para las industrias emergentes.

Asimismo, la literatura muestra experiencias exitosas de upcycling alimentario, en el cual productos que se descartan por cuestiones estéticas se transforman en ingredientes nuevos e innovadores, este enfoque de emprendimiento social sostenible y renovable ha sido implementado por organizaciones comunitarias, ONG en América, África y Europa (Galli, 2021).

Estos hallazgos mencionados nos muestran como la revalorización de residuos aporta beneficios ambientales y económicos su implementación requiere fortalecer demasiados factores de las cadenas de suministro en las que se estén implementando, teniendo en cuenta factores críticos como la logística y el mercado de los subproductos.

En conjunto los estudios revisados coinciden con que la revalorización de residuos alimentario representa una estrategia integral con múltiples beneficios:

- Ambientales al disminuir las emisiones de gases y el adecuado uso de los recursos.

- Económicos al crear nuevos productos y servicios que generen rentabilidad económica.
- Sociales porque promueven la inclusión, la educación y el acceso alimentario.
- Tecnológicas pues, a través de ellos se impulsa la bioindustria emergente con productos hechos a partir de estos residuos que mencionamos.

Sin embargo, existen algunas limitaciones que impiden la revalorización de productos como son los mecanismos de financiamiento, poca capacitación técnica para asegurar la escalabilidad y sostenibilidad de estos procesos (Galli, 2021). La revalorización de residuos se consolidó en una de las categorías más representativas de la revisión. Se menciona esta categoría en casi 20 artículos analizados, el foco de las investigaciones se localiza principalmente en tecnologías para la obtención de biogás, compost, biofertilizantes y biomateriales a partir de residuos orgánicos alimentarios y subproductos agroindustriales y pesqueros. Otros estudios indicaron aplicaciones en industrias farmacéuticas, cosméticas y nutricionales aprovechando residuos marinos y vegetales. La mayor concentración de estudios se registró en las etapas postconsumo y transformación, lo que pone de manifiesto el creciente interés por las estrategias de valorización vinculadas a la adopción de modelos de economía circular.

**6.3.1.7 Gobernanza y colaboración.** Diversos estudios coinciden en que la complejidad de los sistemas alimentarios exige la articulación gobiernos, empresas, organizaciones comunitarias y la sociedad en general, con el fin de coordinar acciones integrales a lo largo de toda la cadena (Becerra, 2018; FAO, 2023 y Acevedo Correa, 2023). En este sentido, la gobernanza no se limita únicamente a la regulación normativa, sino que

necesita implementar estrategias sostenibles a partir de la cooperación interinstitucional orientadas a mejorar flujos de información, facilitar la implementación de programas integrales para reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia en la gestión de residuos alimenticios. De esta manera, las relaciones intersectoriales se consolidan como una práctica sostenible fundamental para la reducción del desperdicio alimentario.

La colaboración de los diversos sectores es fundamental para desarrollar soluciones sostenibles frente al desperdicio alimenticio. La cooperación entre productores, distribuidores y minoristas permite mejorar la coordinación de la cadena de suministro y reducir pérdidas asociadas a fallas logísticas y de comunicación (Lemaire y Limbourg, 2019). Autores como Tan et al (2022) y Wang et al. (2021) destacan que alianzas estratégicas entre actores públicos y privados facilitan la implementación de programas de redistribución de excedentes, logística colaborativa y economía circular, permitiendo disminuir pérdidas alimentarias y fortalecer la seguridad alimentaria. De igual manera, Alfiero et al. (2023) señalan que la participación comunitaria y los modelos colaborativos favorecen la sostenibilidad de las iniciativas, especialmente en contextos urbanos donde la generación de residuos es elevada.

En diversos países, se evidencian alianzas locales entre agricultores y comerciantes que fortalecen la resiliencia de los sistemas de distribución alimentaria. Estas estrategias han permitido reducir dependencia de los intermediarios, especialmente en cadenas de comercialización extensas donde las ganancias de los productores se veían considerablemente disminuidas (Lemaire y Limbourg, 2019). En consecuencia, estos hallazgos sugieren que la articulación y cooperación entre los diferentes actores de la cadena

de suministro favorecen una distribución más eficiente y generan mayores beneficios económicos y sociales para todos sus participantes.

En relación con la gestión del desperdicio alimentario, la literatura resalta la importancia de que los diferentes actores de la cadena cooperen en el diseño de políticas públicas y en el fortalecimiento de los marcos regulatorios, puesto que, son elementos determinantes para la implementación efectiva de estrategias de reducción. Cada uno de estos enfoques ha sido estudiado por diferentes instituciones particularmente en contextos de países en desarrollo, donde la coordinación interinstitucional representa un desafío para la gestión sostenible de residuos alimenticios (Acevedo Correa, 2023) (FAO, 2023).

En este sentido, la gobernanza implica la interacción de gobiernos, instituciones públicas, productores, empresas privadas, minoristas y comunidades locales, con el fin de fortalecer iniciativas orientadas a la reducción del desperdicio alimenticio mediante alianzas intersectoriales (Lemaire y Limbourg, 2019). Estas estrategias incluyen acuerdos sobre el manejo logístico, mecanismos de recuperación de excedentes, donación de alimentos, implementación de sistemas circulares y prácticas de monitoreo ambiental Cortés y Márquez (2023).

Una de las principales funciones de los gobiernos nacionales y locales consiste en actuar como catalizadores de cambio mediante marcos regulatorios y políticas públicas orientadas a la reducción del desperdicio alimenticio. Medidas como la promoción de donaciones de alimentos, flexibilización de los estándares estéticos y financiación de infraestructura para valorización de residuos han demostrado generar impactos positivos significativos (Galli, 2021). Asimismo, políticas relacionadas con la prohibición del

vertimiento de residuos orgánicos en rellenos sanitarios y la implementación de tarifas diferenciadas para tratamientos sostenibles han impulsado modelos de economía circular en diversos países.

Las organizaciones sin fines de lucro y los bancos de alimentos también desempeñan un papel fundamental dentro de la gobernanza del desperdicio alimentario, actuando como intermediarios en la redistribución de excedentes aptos para el consumo. Estas iniciativas contribuyen no solo a disminuir el desperdicio, sino también a enfrentar problemáticas relacionadas con la seguridad alimentaria, la pobreza y el acceso desigual a los alimentos (Mirabella, 2014). En diferentes países, diversas organizaciones han liderado campañas innovadoras que integran redistribución de alimentos, educación ambiental y programas comunitarios de upcycling, fortaleciendo así la sostenibilidad social y ambiental de los sistemas alimentarios.

En el contexto de la gestión sostenible de residuos alimenticios las herramientas cuantitativas son fundamentales para la toma de decisiones basada en datos y evidencia, a lo largo de la investigación se identificaron aplicaciones de modelos matemáticos, técnicas de optimización, simulación y análisis de datos que permiten evaluar escenarios, anticipar los comportamientos de un sistema y diseñar estrategias que permiten reducir el desperdicio de alimentos en las diferentes etapas de la cadena de suministro. En los siguientes subtítulos se analizarán las herramientas cuantitativas empleadas en los diferentes artículos seleccionados para comprender su aporte técnico y relevancia como elementos fundamentales en la gestión de residuos alimentarios.

La mayoría de estos estudios analizados 14 artículos exactamente se basan en la colaboración entre gobiernos, empresas, productores, organizaciones comunitarias y bancos de alimentos. Esto ayuda a mejorar los programas de redistribución de alimentos y a aprovechar los alimentos excedentes.

La colaboración entre instituciones y la participación de la comunidad son fundamentales. Esto garantiza que las políticas públicas se implementen de manera efectiva. También ayuda a reducir el desperdicio de alimentos en toda la cadena de suministro. La cooperación entre todos los involucrados es crucial para lograr una gestión sostenible de residuos alimentarios.

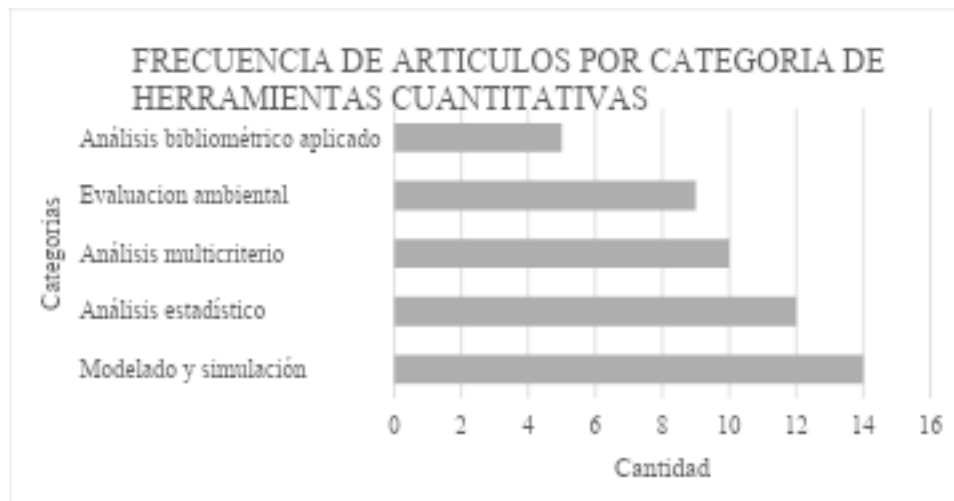
### **6.3.2 Herramientas cuantitativas**

En cuanto a las herramientas cuantitativas, los estudios revisados evidencian el uso de modelos de optimización, simulación, análisis estadístico y métodos multicriterio como apoyo a la toma de decisiones en la gestión del desperdicio alimentario. Estas herramientas han sido empleadas para el diseño de rutas, la gestión de inventarios, la evaluación de escenarios y la cuantificación de impactos en sistemas complejos caracterizados por alta incertidumbre y variabilidad (Badel, 2008; Bedoya-Hincapié C. P.-G.-R.).

Las herramientas cuantitativas tienen un papel central dentro de la investigación del desperdicio de alimentos, dado que permiten mostrar dinámicas complejas, estimar impactos ambientales, optimizar procesos logísticos y apoyar la toma de decisiones basada en evidencia real. La literatura muestra cómo ha aumentado el uso de modelos matemáticos, simulaciones, técnicas de inteligencia artificial, análisis multicriterio. A continuación, se nombran la cantidad de artículos relacionados con las categorías utilizadas para las herramientas cuantitativas:

**Figura 15**

*Frecuencia de artículos por categoría de herramientas cuantitativas identificadas en la revisión sistemática.*



**Nota:** Se evidencia la cantidad de artículos relacionados por categoría en cuanto a las herramientas cuantitativas.

**Tabla 10**

*Categorías de herramientas cuantitativas identificadas y sus tipos de prácticas relacionadas.*

Categoría	Tipo de práctica	Ejemplos frecuentes	Autores
Sensibilización y comportamiento	Educación y campañas	Etiquetado inteligente y sensibilización al consumidor	Reynolds et al. (2019); Romagnoli et al. (2023); Kannan et al. (2024)
Revalorización de residuos	Valorización tecnológica	Producción de biogás, compost y colágeno a partir de escamas	Suhartini et al. (2022); Pal et al. (2024); Sultan et al. (2023)
Gestión logística	Logística inversa	Redistribución, recolección eficiente trazabilidad	Faccihini et al. (2018); Tan et al. (2022); Govindan et al. (2015)
Gestión operativa	Clasificación de residuos	Separación en origen y caracterización en sitio	Naujokas & Bobinaite (2025); Tan et al. (2022)

Normativa y calidad	Certificación / estándares	Seguridad alimentaria, trazabilidad Halal e ISO	Tseng et al. (2022); García et al. (2024); Garrone et al. (2014); Goncalves & Máximo (2023)
Modelo de economía circular	Economía circular	Integración de residuos y aprovechamiento integral	Papargyropoulou et al. (2014); Rabbi & Amin (2024); Govindan et al. (2015)
Gobernanza y colaboración	Participación comunitaria	Proyectos locales y alianzas entre actores	Tan et al. (2022); Alfiero et al. (2023); Wang et al. (2021); García et al. (2024)

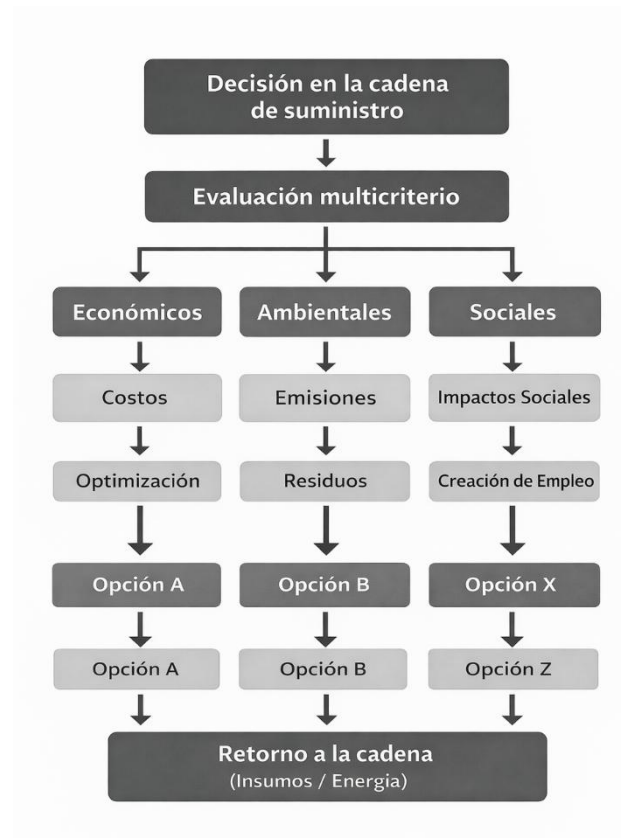
Nota: Tipo de herramientas identificadas con sus aplicaciones encontradas en la revisión.

A continuación, se describen los hallazgos encontrados para cada categoría elegida para las herramientas cuantitativas encontradas en el desarrollo de la investigación:

**6.3.2.1 Análisis multicriterio.** Este método se propone como un mecanismo para balancear objetivos múltiples como la reducción del impacto ambiental, la viabilidad económica y la aceptación social, este método puede guiar las elecciones necesarias para determinar el camino más viable dentro de la investigación, como es el caso de cuál estrategia elegir para la disminución de residuos, compostaje, bioenergía o redistribución dependiendo de cada contexto local en el que se implemente (Garrone, 2014).

**Figura 16**

*Proceso de toma de decisiones mediante análisis multicriterio en la gestión de residuos alimenticios.*



Nota: Muestra los diferentes factores a tener en cuenta para el manejo adecuado de residuos en la cadena de suministro.

El análisis multicriterio permite evaluar estrategias de gestión considerando simultáneamente criterios ambientales, económicos y sociales. Esta herramienta es muy útil cuando se debe comparar estrategias de prevención, redistribución o valorización en contextos heterogéneos, aplicarla facilita la toma de decisiones en escenarios complejos donde existen múltiples actores y restricciones.

El Análisis multicriterio (AMC) es considerado una de las herramientas más utilizadas para la evaluación de alternativas de gestión del desperdicio de alimentos debido a su capacidad de integrar simultáneamente varias dimensiones. A diferencia de métodos tradicionales el AMC permite analizar temas complejos donde intervienen diversos factores, intereses y criterio de evaluación heterogéneos, lo cual lo convierte en un método adecuado para la toma de decisiones en sistemas alimentarios (Mirabella, 2014).

Una de las principales fortalezas de este análisis es su capacidad para comparar estrategias en escenarios donde no existe una solución óptima universal, sino que está rodeada de alternativas con compromisos y compensaciones entre criterios. Esto es particularmente relevante para el contexto del desperdicio alimentario donde cada intervención puede reducir impactos ambientales, pero aumentar costos operativos o por el contrario mejorar beneficios sociales, pero requerir capacidades tecnológicas adicionales Kumar & Agrawal (2021). El AMC permite identificar esta interdependencia y ofrecer una visión equilibrada del desempeño global de cada alternativa.

De este análisis existen diversos métodos entre los cuales está el AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), PROMETHEE, TOPSIS y modelos híbridos que combinan técnicas multicriterio con herramientas estadísticas o de optimización. Estudios recientes han validado que el AHP ha sido ampliamente aplicado para priorizar criterios relevantes en el desperdicio de alimentos, tales como el impacto ambiental, costo económico, viabilidad técnica y aceptación social (Garrone, 2014). Este enfoque busca estructurar problemas complejos en jerarquías y asignar pesos según la importancia relativa.

Por su parte, métodos como PROMETHERE Y TOPSIS han demostrado ser eficaces para ordenar alternativas de tratamiento y valorización incluyendo compostaje, digestión anaeróbica, bioenergía, reciclaje y redistribución. Estos modelos facilitan la evaluación de alternativas tanto en criterios cuantitativos como cualitativos ofreciendo resultados comparables entre diferentes casos de estudio.

El interés por estos modelos se ha ido incrementando, combinando técnicas de AMC con lógica difusa o AMC con optimización estocástica o AMC con análisis del ciclo de vida. Estos enfoques buscan mejorar la precisión de los resultados obtenidos al incorporar incertidumbre, variabilidad contextual o impactos ambientales detallados (Mirabella, 2014). La integración que se hace con el análisis del ciclo de vida ACV es muy importante pues, permite que los criterios ambientales se les dé importancia al momento de evaluar integrándose a un sistema holístico que conecta la producción, logística y disposición.

Sin embargo, la literatura también identifica limitaciones importantes, entre ellas se encuentra la sensibilidad del análisis multicriterio a los pesos asignados los cuales varían según el método utilizado o las preferencias del encargado. Esta variabilidad puede llegar a causar resultados divergentes los cuales tienen la necesidad de realizar análisis de sensibilidad y validación cruzada. Asimismo, varios estudios señalan que muchos modelos multicriterio no incorporan adecuadamente la incertidumbre que existe en los sistemas alimentarios, especialmente en países en desarrollo donde los datos son incompletos o inconsistentes (Bedoya-Hincapié, 2009).

El análisis multicriterio fue una de las más aplicadas dentro de los estudios revisados, identificándose en cerca de 15 investigaciones. Los métodos más usados fueron el Proceso

de Jerarquía Analítica (AHP), el TOPSIS, la ANP y métodos de análisis multicriterio orientados a priorizar alternativas sostenibles dentro de la gestión de residuos de alimentos. Estas herramientas fueron empleadas especialmente en la selección de tecnologías de valorización, evaluación de estrategias logísticas y priorización de criterios ambientales, económicos o sociales. Los estudios muestran que los análisis multicriterio facilitan las decisiones en contextos complejos donde es necesaria la inclusión de varias variables e intereses en el sistema de provisión alimentaria.

**6.3.2.2 Modelado y simulación.** Esta metodología me permite estimar los modelos de flujo de la investigación, como mencionan (*Badel, 2008*), el potencial de conversión de residuos en bioenergía demuestra que se podría suplir el consumo eléctrico de millones de hogares si se aprovecha el 50% de los residuos, una apreciación significativa ya que, considera la mitad de los residuos para poder acaparar el consumo. Otra aplicación relevante corresponde al uso de la inteligencia artificial en la agricultura para con ella utilizar el modelado predictivo que permite optimizar la producción y reducir las pérdidas antes de las cosechas por un mal pronóstico realizado, en cuanto al modelado, es una herramienta que ayudaría demasiado aunque existen diversas limitaciones que hacen que esta herramienta no pueda utilizarse en gran proporción principalmente por la escasez de datos locales en países en desarrollo y subdesarrollados.

El modelado y la simulación son herramientas fundamentales dentro del estudio del desperdicio de alimentos, debido a la capacidad de representar dinámicas complejas de cualquier cadena de suministro, predecir comportamientos del sistema y evaluar escenarios alternativos para intervenir Alfaro-García, Espitia-Moreno y Ruiz-Morales (2024). Los sistemas alimentarios presentan una variabilidad muy alta, incertidumbre e interdependencia

entre eslabones y sensibilidad de factores externos (Parfitt, 2010). En este contexto, los modelados permiten reproducir estas dinámicas de manera controlada, repitiendo escenarios y añadiendo objetos y variables que proporcionan evidencia para apoyar decisiones estratégicas y operativas.

**Tabla 11**

*Aplicaciones de modelos de optimización en la gestión de residuos alimenticios.*

Tipo de modelo	Decisión que apoya	Variables consideradas	Aporte a la sostenibilidad
Programación lineal	Asignación de cantidades	Costos y volúmenes	Reducción de costos
Programación entera	Localización de instalaciones	Capacidad y distancia	Menor impacto ambiental
Programación entera mixta	Transporte	Distancia y tiempo	Menor consumo energético
Programación no lineal	Almacenamiento	Demanda y vencimiento	Menor desperdicio

Nota: Tipos de modelos y sus aportes a la sostenibilidad a través de la consideración de variables.

Como se observa en la tabla 11, cuando se abordan las herramientas cuantitativas identificadas, es fundamental establecer una distinción entre los diferentes tipos de modelos utilizados y los problemas de decisión que estos permiten resolver. En este sentido, los estudios revisados se centran principalmente en modelos de programación lineal,

programación entera y programación no lineal, así como en enfoques de simulación, para analizar problemáticas específicas dentro de la cadena de suministro. Es importante señalar que aspectos como la optimización de rutas o la gestión de inventarios no constituyen tipos de modelos, sino problemas de optimización que se resuelven mediante estos métodos matemáticos. Esta diferenciación permite comprender de manera más precisa el uso de las herramientas cuantitativas y facilita la adecuada clasificación de las metodologías identificadas en la literatura, aportando mayor claridad y rigor al análisis realizado.

Uno de los enfoques más utilizados es la dinámica de sistemas, una metodología que modela relaciones no lineales, flujo de materiales, ciclos de retroalimentación y acumulaciones a lo largo del tiempo. Este enfoque es muy utilizado para analizar decisiones en producción, almacenamiento, transporte o consumo amplifican o reducen el desperdicio alimentario en diferentes etapas de la cadena (Parfitt, 2010). A través de modelos dinámicos, los investigadores pueden simular el impacto de una política pública, prácticas operativas o cambios de comportamiento del consumidor sobre los niveles de pérdida y desperdicio.

Los estudios muestran que la dinámica de sistemas es particularmente eficaz en sistemas complejos donde interactúan actores en diversas cadenas como lácteos, cárnicas, en las que pequeñas modificaciones logísticas pueden representar grandes efectos acumulativos. Estas simulaciones permiten determinar puntos críticos, cuellos de botella y comprender como pequeñas ineficiencias como retrasos en el transporte o sobreproducción en origen, se traducen en pérdidas significativas aguas abajo (Garrone, 2014).

Otro método destacado es el modelado de optimización utilizado para mejorar la asignación de recursos, el diseño de rutas eficientes, la gestión de inventarios y minimizar

los costos asociados al desperdicio. Modelos lineales, mixtos, estocásticos y multiobjetivo han sido utilizados para evaluar estrategias que equilibran los costos y minimizar lo que más se pueda el desperdicio y frescura del producto.

Las herramientas de simulación y modelado se mencionaron en 18 artículos, se enfocaron en técnicas como la dinámica de sistemas, modelos de flujo, programación lineal y simulación de escenarios. Su objetivo es mejorar los procesos logísticos y evaluar estrategias sostenibles, estas herramientas se usaron mucho en las etapas de transporte, distribución y valorización de residuos, ayudando a analizar diferentes situaciones para reducir pérdidas, mejorar rutas y aprovechar la energía de los residuos alimenticio

**6.3.2.3 Análisis estadístico, estadística descriptiva.** Se aplicaron muchos modelos dentro de las diferentes investigaciones para la identificación de la influencia social como el predictor más fuerte de la adopción de plataformas que me permitan incursionar en la economía circular de manera digital (Parfitt, 2010). Este método específicamente se utilizó demasiado para la clasificación de residuo, donde los meta análisis mostraron que los factores externos como la infraestructura y la regulación explican más o influyen más en la separación de residuos que los factores internos (Becerra, 2018), en otro estudio también se mencionaba que con este método se logra cuantificar la magnitud de pérdida de frutas y verduras, señalando un aumento proporcional en productos animales también. Estos estudios aportan evidencias sólidas sobre determinadas variables y su comportamiento en magnitud de pérdidas.

El análisis estadístico constituye una herramienta fundamental en el estudio de alimentos ya que, le permite caracterizar patrones, identificar tendencias y cuantificar la

magnitud del problema y evaluar las relaciones entre variables importantes dentro de la cadena de suministro. La mayor parte de estudios revisados utiliza estadística descriptiva como base para comprender el comportamiento del desperdicio en diferentes contextos, antes de aplicar modelos avanzados como optimización, simulación o análisis multicriterio (Reynolds C. M., 2020).

La estadística descriptiva se emplea para reunir analizar información relacionada con pérdida, desperdicio, deterioro composición del residuo, comportamiento del consumidor y eficiencia operativa en distintos eslabones. Los indicadores más utilizados incluyen medias, medianas, desviaciones estándar, distribuciones de frecuencia, valores atípicos y análisis comparativos entre grupos (Garrone, 2014). Estas métricas permiten entender magnitudes de base que ayudan a determinar los puntos críticos del desperdicio dentro del sistema.

La estadística descriptiva se ve implementada en cadenas de suministro como, por ejemplo: en las cadenas hortofrutícolas a través de revelaciones de variación en pérdidas asociadas al clima, distancias de transporte o prácticas postcosecha. En retail, los análisis predictivos permiten predecir la rotación de los inventarios, mayor vida útil y mayor probabilidad de descartar un producto prematuro (Lemaire y Limbourg, 2019). En los hogares, esta estadística se puede aplicar para medir el comportamiento de compra, la frecuencia de desechos y percepciones sobre etiquetas de fecha, lo cual permite hacer intervenciones claves para intervenciones educativas y normativas (Reynolds C. M., 2020)

Los artículos indican que uno de los principales desafíos de esta herramienta es la falta de datos primarios confiables, especialmente en países en desarrollo, donde existen deficiencias estructurales en sistemas de recolección de datos, trazabilidad y monitoreo

(Parfitt, 2010). Esto limita la capacidad de análisis robusto y de alimentar modelos avanzados con datos representativos. Esto limita la capacidad de realizar análisis robustos y de alimentar modelos avanzados con datos representativos.

En síntesis, la estadística descriptiva y el análisis estadístico desempeña tres roles fundamentales en el estudio del desperdicio alimentario:

- **Cuantificación** de las magnitudes y distribución del desperdicio en cada etapa de la cadena.
- **Identificación de factores determinantes** mediante métodos inferenciales y correlacionales.
- **Validación de modelos** en contextos donde se emplean simulaciones, ACV, optimización o inteligencia artificial.

La mayoría de los 12 estudios en los que se identificó el uso de análisis descriptivo se enfocan en calcular la cantidad de residuos alimenticios generados, describir las pérdidas y analizar el comportamiento de consumidores y productores. Los investigadores emplearon herramientas como encuestas, cálculos porcentuales, frecuencias y mediciones de residuos en diversas etapas de la cadena de suministro. las personas desperdician alimentos y cómo se generan esos residuos.

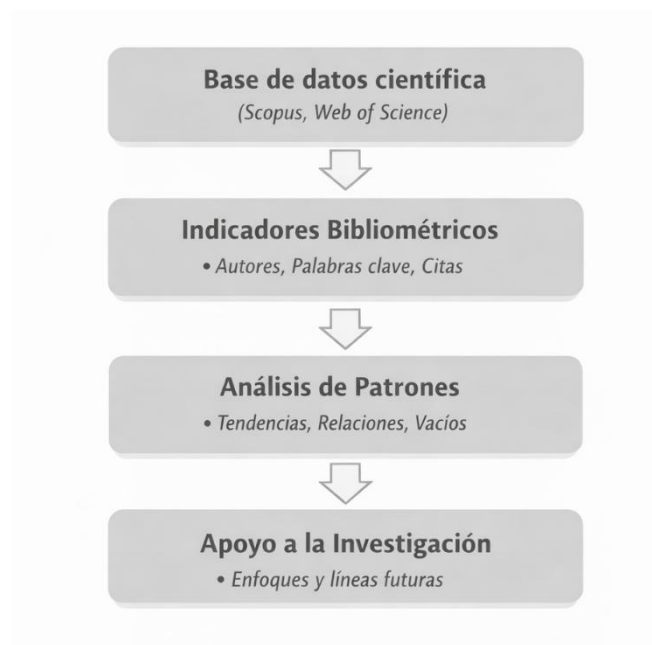
**6.3.2.4 Análisis de producción científica.** fue identificado como una de las herramientas cuantitativas empleadas por los autores para el estudio de la gestión de residuos alimenticios, con el fin de examinar patrones, tendencias y relaciones en la producción científica del área. En este contexto, la literatura indica que esta herramienta se utilizó para analizar la evolución temporal de las investigaciones, la concentración temática de los

estudios y las relaciones que existen entre conceptos claves asociados con la sostenibilidad y la reducción del desperdicio (Wibisono et al).

En la siguiente gráfica se muestra el uso del análisis de producción científica como herramienta cuantitativa aplicada, presentando un esquema general del proceso, desde la recopilación de información hasta el estudio de tendencias y líneas futuras.

### Figura 17

*Uso del análisis de producción científica como herramienta cuantitativa en los estudios revisados.*



Nota: Proceso desde la recopilación hasta el apoyo de la investigación.

El proceso inicia con la consulta de las bases de datos científicas para así obtener indicadores bibliométricos que permitan analizar patrones, tendencias y relaciones relevantes, este análisis constituye una parte clave para la orientación de nuevas

investigaciones en el campo de investigación tratado, en este caso el de la gestión sostenible de residuos alimenticios.

En los artículos se emplearon herramientas como VOSviewer y CSV para mapear tendencias de investigación, y así analizar sobre los residuos pesqueros que tienen un aumento exponencial de crecimiento desde el 2010 centrado en la valorización tecnológica y menos en gobernanza como menciona (Mirabella, 2014). Este enfoque es muy valioso para encontrar vacíos temáticos donde se podría brindar más atención a esos factores para enriquecer una investigación futura.

Los estudios bibliométricos han permitido visualizar la evolución de la investigación en desperdicio de alimentos, identificando redes de colaboración científica y detectando vacíos en la literatura. Esta herramienta metodológica contribuye para comprender cómo las prioridades globales han moldeado el campo y cuales áreas tienen que recibir una mayor atención.

El análisis de la producción científica está presente en un total de 8 artículos seleccionados, en estos trabajos se utilizaron herramientas como VOSviewer, Bibliometrix y Biblioshiny, gracias a ellas se identifican las tendencias de investigación, las redes de colaboración, la evolución de los temas y los vacíos en la investigación sobre la gestión de residuos alimenticios y los estudios bibliométricos.

**6.3.2.5 Evaluación ambiental.** Constituye uno de los componentes más relevantes dentro de la gestión sostenible de residuos alimenticios, debido a la necesidad de cuantificar los impactos generados por las diferentes practicas implementadas en la cadena de suministro. En este sentido, la literatura destaca la importancia de utilizar metodologías que

permitan medir variables como emisiones de gases de efecto invernadero, consumo energético, el uso de recursos hídricos y efectos asociados a la revalorización de residuos (Bogoeva-Gaceva, 2007). Estas evaluaciones permiten determinar si prácticas como la reutilización y revalorización de subproductos realmente contribuyen a disminuir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios.

Sin embargo, se evidenció un déficit en la evaluación de impactos sociales de salud pública y de distribución de beneficio en las comunidades, la mayoría de los estudios se centran en mediciones ambientales aisladas sin tener en cuenta factores económicos y sociales, es importante entonces resaltar la necesidad de investigar sobre las evaluaciones integradas como el análisis de sostenibilidad o modelo híbridos que combinen ciclo de vida, costos y efectos sociales.

Un aspecto importante que se ha destacado en la revisión es la conexión directa entre las buenas prácticas en la gestión de residuos alimenticios y las herramientas cuantitativas que se utilizan para su análisis y optimización. En este contexto, se observa que estas herramientas no se emplean de forma aislada; más bien, actúan como un apoyo para la implementación y evaluación de estrategias específicas dentro de la cadena de suministro. Por ejemplo, las prácticas relacionadas con la gestión logística, como la optimización de rutas y la logística inversa, suelen estar respaldadas por modelos de programación lineal y programación entera mixta, que ayudan a minimizar costos y reducir pérdidas durante la distribución. De manera similar, la revalorización de residuos se apoya en herramientas como el análisis de ciclo de vida y modelos de optimización, lo que facilita la evaluación del impacto ambiental y la viabilidad de alternativas de aprovechamiento. Además, las prácticas vinculadas a la gestión operativa, como la clasificación y el manejo en origen, se

complementan con técnicas de simulación que permiten analizar diferentes escenarios y mejorar la eficiencia de los procesos. En conjunto, esta integración demuestra que la combinación de buenas prácticas y herramientas cuantitativas refuerza la toma de decisiones, ofreciendo un enfoque más estructurado, medible y orientado a la sostenibilidad en la gestión de residuos alimenticios dentro de las cadenas de suministro.

La evaluación ambiental es fundamental para comprender cómo las prácticas sostenibles pueden mitigar el impacto de los residuos alimenticios. Alrededor de 17 estudios revisados la destacan como una herramienta esencial, estas prácticas suelen analizarse mediante metodologías como el análisis de ciclo de vida, la huella de carbono, la huella hídrica y los balances energéticos. Se utilizan principalmente para evaluar tecnologías como la valorización, el compostaje, la digestión anaeróbica y la logística sostenible. Gracias a estas herramientas, es posible medir impactos ambientales como el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de recursos naturales, esto facilita la toma de decisiones informadas para avanzar hacia modelos más sostenibles en la cadena de suministro.

**Tabla 12***Categorías de las buenas prácticas.*

<b>Categoría</b>	<b>Tipo de práctica</b>	<b>Ejemplos frecuentes</b>
<b>Sensibilización y comportamiento</b>	Educación y campañas	Etiquetado inteligente, sensibilización al consumidor
<b>Revalorización de residuos</b>	Valorización tecnológica	Producción de biogás, compost, colágeno a partir de escamas
<b>Gestión logística</b>	Logística inversa	Redistribución, recolección eficiente, trazabilidad
<b>Gestión operativa</b>	Clasificación de residuos	Separación en origen, caracterización en sitio
<b>Normativa y calidad</b>	Certificación / estándares	Seguridad alimentaria, trazabilidad Halal, ISO
<b>Modelo de economía circular</b>	Economía circular	Integración de residuos, aprovechamiento integral
<b>Gobernanza y colaboración</b>	Participación comunitaria	Proyectos locales, alianzas entre actores

Nota. Las categorías escogidas referentes a las buenas prácticas

**HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS****Tabla 13***Categorías de las herramientas cuantitativas.*

<b>Categoría</b>	<b>Enfoque</b>	<b>Herramientas usadas</b>
<b>Toma de decisiones</b>	Análisis multicriterio	Proceso de jerarquía analítica, técnica de ordenación de preferencias, método de redes de influencia, método de compromiso viable
<b>Simulación y modelado</b>	Modelado / Simulación	Dinámica de sistemas, modelos de flujo, análisis del ciclo de vida
<b>Estadística descriptiva</b>	Análisis estadístico	Estimación de residuos, conteo, encuestas
<b>Análisis de producción científica</b>	Análisis de producción científica	VOSviewer, Bibliometrix, Biblioshiny
<b>Evaluación de impactos</b>	Evaluación ambiental	Huella de carbono, eficiencia energética

Nota. Las categorías escogidas referentes a las herramientas cuantitativas

## 7 Conclusiones

La revisión de literatura permitió comprender que el desperdicio de alimentos constituye un fenómeno complejo, multidimensional y profundamente arraigado a las estructuras operativas, sociales, económicas y ambientales de los sistemas alimentarios. Los artículos analizados coinciden con que el desperdicio de alimentos no puede abordarse desde una única perspectiva ya que, el desperdicio de alimentos resulta de múltiples factores que abarcan desde las decisiones tecnológicas y operativas hasta los comportamientos individuales, estructuras de mercado y marcos regulatorios. Precisamente esta complejidad ha impulsado el desarrollo de un cuerpo de investigación que integra herramientas cuantitativas y prácticas sostenibles para abarcar la actual investigación.

En primer lugar, el análisis muestra un avance significativo en la implementación de herramientas cuantitativas para predecir, describir y analizar el desperdicio de alimentos. Métodos como el modelado y simulación, el análisis multicriterio, la estadística descriptiva y la optimización se consolidan como herramientas indispensables para entender y mejorar las dinámicas internas de las cadenas de suministro y evaluar alternativas de intervención. Así mismo, el creciente auge de herramientas como la inteligencia artificial, machine learning y analítica de datos permite el aprovechamiento de estas tecnologías para predecir demandas, gestionar inventarios y a su vez disminuir el desperdicio de los alimentos con una mejor predicción. Con estas herramientas se formulan diagnósticos más precisos y escenarios prospectivos que orienten la toma de decisiones en entornos de incertidumbre.

En segundo lugar, las buenas prácticas que se identificaron a lo largo de la cadena de suministro evidencian que existen intervenciones para mitigar el impacto para cada una de

las etapas. La sensibilización y el cambio, la revalorización de residuos, la gestión logística, la gestión operativa basada en estándares de calidad, la reformulación de marcos normativos y adopción de prácticas de economía circular conformando un conjunto de estrategias efectivas cuando se implementan de manera coordinada que reducen significativamente las pérdidas. La evidencia sugiere que las buenas prácticas más exitosas son aquellas integradas en sistemas colaborativos donde interactúan diversos sectores y organismos de cooperación multidireccional.

En cuanto a los enfoques ambientales el análisis evidenció que los desperdicios alimenticios representan una de las fuentes de mayor impacto ecológico evitable, que contribuye entre el 8% y el 10% de todas las emisiones globales de efecto invernadero. Los estudios basados en el ACV, huella hídrica y huella de carbono han permitido cuantificar cuán masiva es la afectación de este problema y que la estrategia más eficiente son las buenas prácticas desde una perspectiva ambiental. La economía circular aparece como un pilar para orientar la transformación del sistema implementando prácticas como la reutilización, reciclaje, diseño sostenible que permiten recuperar valor y cerrar ciclos productivos.

La literatura también evidencia profundas diferencias entre regiones y niveles de desarrollo. En los países desarrollados, las pérdidas en su mayoría están concentradas en comercialización y el consumo, mientras que en los países no desarrollados principalmente se dan en la producción, almacenamiento y transporte. Estos contrastes subrayan la necesidad de intervenciones inter contextualizadas que respondan a las realidades socioeconómicas, tecnológicas y culturales específicas. Los modelos híbridos emergen como alternativas efectivas en regiones con recursos limitados, demostrando que la sostenibilidad puede construirse a partir de estructuras locales.

Finalmente, esta revisión de literatura manifiesta como la reducción del desperdicio de alimentos en las diferentes etapas de la cadena requieren un enfoque integral que combine herramientas cuantitativas y buenas prácticas orientadas a los principios de sostenibilidad. Los hallazgos muestran la necesidad de avanzar hacia modelos de gestión basados en datos que permitan adaptarse a contextos específicos y sustentados en los diferentes actores de la cadena. En este sentido, la investigación contribuye al sintetizar de manera estructurada las principales herramientas y buenas prácticas utilizadas en la literatura, proporcionando esta base conceptual para el diseño de futuras investigaciones y formulación de estrategias prácticas orientadas a la prevención y gestión sostenible del desperdicio de alimentos.

## **8 Recomendaciones**

Para futuras investigaciones se debe profundizar en la combinación de herramientas cuantitativas, combinación de modelos de optimización, simulación y análisis de datos avanzados, con el fin de abordar de manera más robusta la complejidad y variabilidad de las cadenas de suministro alimentarias, principalmente la incertidumbre de estas cadenas y sus múltiples escenarios dinámicos para así obtener soluciones concretas y amplias.

Se debería seguir el concepto de Smith y Thompson (2022) pues, muestran que analizar los flujos de alimentos ayuda a identificar los puntos críticos donde se generan residuos a lo largo de la cadena de suministro, lo que a su vez facilita la priorización de intervenciones para prevenirlos. De manera similar, Strotmann et al. (2021) subrayan que estandarizar los métodos de medición del desperdicio alimentario es fundamental para evaluar cómo están funcionando las estrategias de prevención y para poder comparar resultados en diferentes contextos. Además, Sun et al. (2023) demuestran que gestionar el

desperdicio alimentario en las ciudades requiere un enfoque integrado que combine la planificación urbana, la infraestructura, la participación de la comunidad y las políticas públicas, lo que resalta la importancia de contar con sistemas de medición y análisis que sirvan de base para tomar decisiones sostenibles.

También, ampliar el enfoque hacia los criterios ambientales y sociales dentro de los modelos cuantitativos superando el enfoque económico que se identificó en la literatura. El uso de enfoques multiobjetivo y multicriterio permitiría evaluar mejor la eficiencia operativa, los impactos ambientales y la generación de beneficios sociales, contribuyendo a la toma de decisiones más alineada a los principios de sostenibilidad y economía circular.

Se sugiere la adopción de herramientas cuantitativas como apoyo permanente dentro de la toma de decisiones estratégicas por parte de las organizaciones, especialmente en áreas de constante cambio como lo es la planificación de demanda, gestión de inventarios, transporte y almacenamiento. La implementación de estas herramientas, en conjunto con sistemas de gestión de calidad y mejora continua contribuyen de manera significativa en la reducción de las pérdidas de alimentos y la optimización del uso de recursos en las distintas etapas de la cadena.

De igual forma, se incentiva a promover esquemas de colaboración y coordinación entre los diferentes actores del sistema alimentarios para que el intercambio de información, el uso de plataformas digitales y las alianzas entre las diferentes organizaciones permitan crear estrategias más efectivas para la reducción del desperdicio alimentario en estos sectores.

En el ámbito de las políticas públicas es recomendable impulsar marcos normativos instrumentos de gestión que permitan la adopción de herramientas cuantitativas y bases de

datos para el monitoreo y gestión del desperdicio de alimentos. El fortalecimiento de estos sistemas de información y la implementación de incentivos para la implementación de prácticas de economía circular pueden facilitar la valorización de los residuos, la redistribución de los excedentes, la reducción de los impactos ambientales y de residuos alimenticios, estas políticas deben diseñarse considerando las diferentes ideologías y realidades socioeconómicas, tecnológicas y culturales de cada región.

Finalmente, se recomienda que las futuras iniciativas tanto académicas como prácticas sean adoptadas a la visión del largo plazo orientadas a las transformaciones de los sistemas alimenticios ya que, la solución del desperdicio no depende de soluciones aisladas sino de la integración coherente de prácticas sostenibles, herramientas cuantitativas entre otros factores.

**Referencias bibliográficas**

Acevedo Correa, D., Montero Castillo, P. M., & Marrugo Ligardo, Y. A. (2023). Food waste management: a view from Colombian public policy. *Revista Venezolana De Gerencia*, 28(102), 769–784. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.102.20>

Alfaro-García, V. G., Espitia-Moreno, I. C., & Ruiz-Morales, B. (2024). Optimization models for sustainable food waste management. *Mathematics*, 12(13), 2000. <https://doi.org/10.3390/math12132000>

Alonso-Muñoz, S., García-Muina, F. E., Medina-Salgado, M.-S., & Rodríguez-Oromendía, A. (2022). Circular economy and food waste management. *British Food Journal*, 124(13), 478–500. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2022-0072>

Arbiol, J., & Cerdá, M. (2023). Understanding food waste management from public policy. *Marine Policy*, 152, 105549. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105549>

Badel, E., Delisée, C., & Lux, J. (2008). 3D structural characterisation, deformation measurements and assessment of low-density wood fibreboard under compression: The use of X-ray microtomography. *Composites Science and Technology*, 68(7–8), 1654–1663. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.02.013>

Becerra, I. C., Díaz, A. M., García, E., Maluendas, A. V., Quintero, L. E., Reina, D., Ríos-Ortegón, M., Samacá, H. A., & Viveros, J. S. (2018). Análisis situacional de la cadena productiva del arroz en Colombia. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). [https://www.upra.gov.co/documents/10184/101496/20190709\\_DOCUMENTO\\_ANALISIS\\_SITUACIONAL.pdf](https://www.upra.gov.co/documents/10184/101496/20190709_DOCUMENTO_ANALISIS_SITUACIONAL.pdf)

Bedoya-Hincapié, C., Pineda-Gómez, P., & Rosales-Rivera, A. (2009). Optimización de propiedades mecánicas y térmicas de un aglomerado sintético por el método de Taguchi. *Ingeniería y Ciencia*, 5(10), 155–170. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3198662.pdf>

Bigdeloo, M., Teymourian, K., & Ebrahimi, A. (2021). Sustainability and circular economy of food wastes: Waste reduction strategies, higher recycling methods and improved valorization. *Waste Management*, 120, 421–442. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.019>

Sustainability and circular economy of food wastes: Waste reduction strategies, higher recycling methods and improved valorization. *Waste Management*, 120, 421–442.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.019>

Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Grozdanov, A., Gentile, G., & Errico, M. E. (2007). Natural fiber eco-composites. *Polymer Composites*, 28(1), 98–107. <https://doi.org/10.1002/pc.20270>

Buenas prácticas corporativas en materia de reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe | Publicaciones [https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Buenas\\_pr%C3%A1cticas\\_corporativas\\_en\\_materia\\_de\\_reducci%C3%B3n\\_de\\_p%C3%A9rdidas\\_y\\_desperdicios\\_de\\_alimentos\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe\\_es\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Buenas_pr%C3%A1cticas_corporativas_en_materia_de_reducci%C3%B3n_de_p%C3%A9rdidas_y_desperdicios_de_alimentos_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es_es.pdf)

Cadena de suministro del mezcal del estado de Zacatecas. Situación actual y perspectivas de desarrollo | López Nava | Contaduría y Administración <http://www.cya.unam.mx/index.php/cya/article/view/63>

Cadenas agroalimentarias | Energía | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura <https://www.fao.org/energy/agrifood-chains/es/>

Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M. U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1016/j.jclepro.2021.126438>

Creazza, A., Li, D., Colicchia, C., Ramudhin, A., & Do, Q. (2021). Smart supply chains and food waste reduction. *International Journal of Production Economics*, 239, 108209. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108209>

Cortés, L., & Márquez, N. (2023). Food waste and food security challenges. *Journal of Food Security & Sustainability*, 9(2), 200–216.

Cheng, E., Sun, X., & Karr, G. S. (2004). Adhesive properties of modified soybean flour in wheat straw particleboard. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 297–302. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.008>

Consideraciones para un diseño de propuesta de una política pública para la gestión de residuos sólidos urbanos en Bucaramanga <https://noesis.uis.edu.co/items/ac00817d-e42c-4362-8e4c-b2c65ed54d8a>

Desarrollo sostenible corporativo en evolución: un estudio de caso de Mysore Paper Mills Limited | Revista Asiática de Ética Empresarial <https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/article/10.1007/s13520-013-0030-3>

Diseño e implementación de metodologías activas de aprendizaje en la asignatura tópicos especiales gestion ambiental de la escuela de estudios industriales y empresariales de la Universidad Industrial de Santander <https://noesis.uis.edu.co/items/79918336-d12e-4909-a1f6-b82d98f3efa9>

El desperdicio de alimentos como externalidad negativa: soluciones contenidas en la normativa francesa y propuestas para el caso español | Revista Catalana de Dret Ambiental <https://revistes.urv.cat/index.php/rcda/article/view/2640>

El Bilali, H., Berjan, S., Ben Hassen, T., Memon, J. A., Vaško, Ž., & Arabi, M. (2022). Food waste drivers and reduction strategies. *Frontiers in Nutrition*, 9, 983639. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.983639>

Energía renovable en la cadena de suministro sostenible: Una revisión | Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/344945>

Estructuras metodológicas PICO y PRISMA 2020 en la elaboración de artículos de revisión sistemática: Lo que todo investigador debe conocer y dominar | Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/16491>

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2023). The state of food security and nutrition in the world 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fayaz, U., et al. (2024). Food waste valorization pathways. *Future Foods*, 19, 100208. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100208>

Galli, F., Cavicchi, A., & Brunori, G. (2021). Food waste governance and circular economy. *Agricultural Systems*, 191, 103159. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103159>

Garrone, P., Melacini, M., & Perego, A. (2014). Food waste reduction: A review of possible actions and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 65, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.025>

García-García, G., Woolley, E., Rahimifard, S., Colwill, J., White, R., & Needham, L. (2017). A methodology for sustainable management of food waste. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6), 2209–2227. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9720-0>

Gestión integral de residuos sólidos <https://digitk.areandina.edu.co/server/api/core/bitstreams/e7930f05-1309-4e41-9594-f1921990fbe2/content>

Giraldo, D. J. V., & Ocampo, C. P. (2020). Análisis de la gestión de residuos sólidos generados por la venta de alimentos en una zona turística de Colombia. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 12(2), 14–25.

Gómez-González, I., et al. (2023). An integrated approach to food waste management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113358. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113358>

Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>

Informe anual de ONU Medio Ambiente <https://www.unep.org/es/resources/unep-annual-report>

Informe anual del Banco Interamericano de Desarrollo 2024: reseña del año | Publicaciones <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Informe-anual-del-Banco-Interamericano-de-Desarrollo-2024-resena-del-ano.pdf>

Integración del enfoque Lean Green en la Cadena de Suministros: Una revisión sistemática de literatura <https://noesis.uis.edu.co/items/b3ea3589-e4f8-4a0d-a519-4ccc28b196cc>

John Elkington, Caníbales con tenedores: el triple resultado de los negocios del siglo XXI | Revista de Ética Empresarial <https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/article/10.1023/A:1006129603978>

Kassem, L., D'Souza, C., & Ozanne, L. (2024). Unlocking value in circular food systems. *Circular Economy and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00338-6>

Koutinas, A., Maina, S., & Kachrimanidou, V. (2017). Valorization of food waste streams. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.07.007>

Kumar, A., & Agrawal, A. (2021). Recent trends in solid waste management and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126494>

Lemaire, A., & Limbourg, S. (2019). How can food supply chains be redesigned to reduce food waste? *European Journal of Operational Research*, 273(3), 982–996. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.020>

Márques, A. D., Almeida, J. F., & Azevedo, S. G. (2022). Smart and sustainable supply chains: A systematic review and future research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 332, 129967. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129967>

Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>

Metodología para la gestión sostenible del desperdicio de alimentos | Valorización de residuos y biomasa <https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/article/10.1007/s12649-016-9720-0>

Olabode, O., Kumar, N., & De, D. (2025). Sustainable food waste management in supply chains using quantitative approaches. *Journal of Cleaner Production*. (Artículo en prensa)

Optimización de la eficiencia energética del sistema de suministro de aire en un sistema de fabricación de botellas de agua - ScienceDirect <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science/article/pii/S095965261400242X?via%3Dihub>

Organización de las Naciones Unidas. *Todos podemos ayudar a reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos*. CRONICA ONU. <https://www.un.org/es/crónica-onu/todos-podemos-ayudar-reducir-la-pérdida-y-el-desperdicio-de-alimentos>

Parsa, H. G., van der Rest, J. P., Smith, S. R., Parsa, R. A., & Bujisic, M. (2018). Why restaurants fail? Part IV: The relationship between restaurant failures and food waste. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 30(1), 15–33. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-04-2017-0256>

Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065–3081 <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>

Prabowo, A. P., & Handayani, H. (2023). Converting food waste into value-added products. *Journal of Environmental Management*, 328, 116900. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116900>

Putra, Z. A., Abdullah, A. Z., & Rahman, M. M. (2022). Food waste as a renewable resource for sustainable bioeconomy development. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101045. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101045>

Reynolds, C., Miroso, M., & Clothier, B. (2020). New estimates of food waste in developed countries: Policy implications and

measurement challenges. *Resources, Conservation & Recycling*, 158, 104814.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104814>

Rodríguez, M., et al. (2022). A systematic review of valorization technologies. *Circular Economy and Sustainability*, 2, 33. <https://doi.org/10.1007/s40974-022-00248-3>

Rodríguez-Pleguezuelo, C. R., et al. (2024). Food waste management strategies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26, 2265–2277.  
<https://doi.org/10.1007/s10163-024-01965-z>

Smith, P., & Thompson, G. (2022). Food flow analysis and waste reduction. *Resources, Conservation & Recycling*, 185, 106456.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106456>

Sostenibilidad y economía circular de los residuos alimentarios: estrategias de reducción de residuos, mayores métodos de reciclaje y mejora de la valorización | PDF [https://www.researchgate.net/publication/348694228\\_Sustainability\\_and\\_Circular\\_Economy\\_of\\_Food\\_Wastes\\_Waste\\_Reduction\\_Strategies\\_Higher\\_Recycling\\_Methods\\_and\\_Improved\\_Valorization](https://www.researchgate.net/publication/348694228_Sustainability_and_Circular_Economy_of_Food_Wastes_Waste_Reduction_Strategies_Higher_Recycling_Methods_and_Improved_Valorization)

Strotmann, C., Göbel, C., Friedrich, S., & Teitscheid, P. (2021). Food waste measurement and prevention. *Sustainability*, 13(5), 2780.  
<https://doi.org/10.3390/su13052780>

Sun, X., et al. (2023). Urban food waste management. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104723. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104723>

Tendencias recientes en el estado de la gestión de residuos sólidos, desafíos y potencial para las futuras ciudades de la India - Una revisión - ScienceDirect [https://www-](https://www.sciencedirect-)

[com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science/article/pii/S2666049020300244?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/bibliotecavirtual.uis.edu.co/science/article/pii/S2666049020300244?via%3Dihub)

Tseng, M. L., Lim, M. K., Wong, W. P., Chen, Y. C., & Zhan, Y. (2018). A framework for evaluating the performance of sustainable supply chain management using the fuzzy decision-making approach. *International Journal of Production Economics*, 204, 263–276. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.008>

Wibisono, M. A., Permadi, D. A., & Hadi, S. (2019). Multi-criteria decision-making approach for food waste management strategies. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117636>