

Green Value Stream Mapping como herramienta clave para la sostenibilidad en procesos industriales y cadenas de suministro: Una revisión sistemática de literatura

Gabriela Moncada Navarro y Alejandra Plata Mendoza

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniera Industrial

Director

Juan Felipe Reyes Rodríguez

PhD in Management

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2025

## Tabla de Contenido

Introducción .....	10
1. Planteamiento del Problema y Justificación .....	12
2. Objetivos.....	15
2.1. Objetivo general.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. Marco de referencia .....	16
3.1. Marco de antecedentes.....	16
3.1.1. Antecedentes asociados a trabajos de grado .....	16
3.1.2. Antecedentes asociados a revisiones de literatura relacionadas .....	17
3.2. Marco Teórico.....	18
3.2.1. Sostenibilidad en la Manufactura.....	18
3.2.2. Lean Manufacturing y Value Stream Mapping (VSM) .....	20
3.2.3. Green Value Stream Mapping (GVSM) .....	20
4. Metodología .....	22
4.1. Fase 1: Localización y recopilación de literatura relevante sobre GVSM .....	23
4.2. Fase 2: Análisis teórico y metodológico del GVSM .....	24
4.3. Fase 3: Identificación de beneficios y limitaciones del GVSM.....	24
4.4. Fase 4: Diseño de una hoja de ruta para la implementación del GVSM .....	25
4.5. Fase 5: Elaboración de un artículo publicable .....	26
5. Resultados .....	26
5.1. Identificación de la bibliografía.....	26
5.1.1. Enfoque metodológico y proceso de búsqueda de literatura .....	26

GVSM COMO HERRAMIENTA DE SOSTENIBILIDAD INDUSTRIAL	3
5.1.2. Análisis bibliométrico.....	28
5.2. Caracterización integral del GVSM.....	32
5.2.1. Variantes del GVSM.....	32
5.2.2. Fundamentos teóricos del GVSM.....	40
5.2.3. Principales aplicaciones y enfoques metodológicos.....	45
5.2.4. Métricas clave.....	55
5.3. Hallazgos clave sobre el GVSM: beneficios, limitaciones y tendencias.....	60
5.3.1. Beneficios del GVSM.....	60
5.3.2. Limitaciones del GVMS.....	68
5.3.3. Tendencias, vacíos y patrones críticos para la mejora del GVSM.....	74
5.4. Propuesta de hoja de ruta metodológica para la implementación del GVSM.....	77
5.4.1. Fase 1: Definir.....	81
5.4.2. Fase 2: Medir.....	93
5.4.3. Fase 3: Analizar.....	100
5.4.4. Fase 4: Mejorar.....	107
5.4.5. Fase 5: Controlar.....	111
5.5. Artículo académico publicable y selección de revista científica.....	113
6. Conclusiones.....	114
7. Recomendaciones y futuras líneas de investigación.....	115
Referencias bibliográficas.....	117

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Cumplimiento de objetivos</i> .....	11
<b>Tabla 2</b> <i>Matriz comparativa variantes del GVSM</i> .....	36
<b>Tabla 3</b> <i>Matriz fundamento teóricos del GVSM</i> .....	43
<b>Tabla 4</b> <i>Sectores industriales de aplicación del GVSM</i> .....	47
<b>Tabla 5</b> <i>Matriz enfoques metodológicos del GVSM y sus aplicaciones.</i> .....	53
<b>Tabla 6</b> <i>Síntesis principales indicadores aplicados en el GVSM</i> .....	56
<b>Tabla 7</b> <i>Síntesis beneficios del GVMS</i> .....	66
<b>Tabla 8</b> <i>Síntesis limitaciones del GVSM</i> .....	72
<b>Tabla 9</b> <i>Indicadores generale sugeridos para la hoja de ruta</i> .....	87
<b>Tabla 10</b> <i>Indicadores específicos por industria para la hoja de ruta</i> .....	88
<b>Tabla 11</b> <i>Recomendaciones desperdicios Lean</i> .....	102
<b>Tabla 12</b> <i>Recomendaciones desperdicios Green</i> .....	102
<b>Tabla 13</b> <i>Fórmulas para cálculo de indicadores estado futuro GVSM</i> .....	110

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Proceso de filtrado y depuración de la literatura</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Análisis bibliométrico producción científica anual</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Análisis bibliométrico producción científica por país</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Análisis bibliométrico Co-ocurrencia palabras clave</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Framework metodológico propuesto para la implementación del GVSM</i> .....	81
<b>Figura 6</b> <i>Plantilla matriz de hallazgos cualitativos</i> .....	84
<b>Figura 7</b> <i>Plantilla diagrama SIPOC del proceso seleccionado</i> .....	85
<b>Figura 8</b> <i>Plantilla ficha técnica: Indicador sostenible</i> .....	89
<b>Figura 9</b> <i>Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 1</i> .....	90
<b>Figura 10</b> <i>Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 2</i> .....	91
<b>Figura 11</b> <i>Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 3</i> .....	91
<b>Figura 12</b> <i>Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 4</i> .....	92
<b>Figura 13</b> <i>Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 5</i> .....	92
<b>Figura 14</b> <i>Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 6</i> .....	93
<b>Figura 15</b> <i>Plantilla formato de recolección de datos</i> .....	94
<b>Figura 16</b> <i>Plantilla iconos VSM tradicional</i> .....	95
<b>Figura 17</b> <i>Plantilla esquema GVSM</i> .....	96
<b>Figura 18</b> <i>Plantilla matriz de indicadores- Estado actual</i> .....	97
<b>Figura 19</b> <i>Plantilla tablero de evaluación TLS</i> .....	99
<b>Figura 20</b> <i>Plantilla iconos visualización de desperdicios GVSM</i> .....	103
<b>Figura 21</b> <i>Plantilla matriz diagnóstico de desperdicios</i> .....	104
<b>Figura 22</b> <i>Plantilla ficha de análisis de indicadores críticos</i> .....	106

**Figura 23** *Plantilla matriz de acciones de mejora por plazo de implementación.....* 109

### **Lista de apéndices**

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional.

**Apéndice A.** *Proceso de búsqueda de literatura y análisis bibliométrico*

**Apéndice B.** *Consolidación artículos revisión de literatura*

**Apéndice C.** *Plantillas para la hoja de ruta propuesta*

**Apéndice D.** *Artículo publicable*

## Resumen

**Título:** Green Value Stream Mapping como herramienta clave para la sostenibilidad en procesos industriales y cadenas de suministro: Una revisión sistemática de literatura<sup>1</sup>

**Autores:** Gabriela Moncada Navarro, Alejandra Plata Mendoza<sup>2</sup>

**Palabras Clave:** Green Value Stream Mapping, sostenibilidad, manufactura esbelta, triple resultado, procesos industriales, indicadores sostenibles

**Descripción:** El presente trabajo de investigación aborda el *Green Value Stream Mapping* (GVSM) como una herramienta estratégica para incorporar a la sostenibilidad en procesos industriales y cadenas de suministro. Por medio de una revisión sistemática de literatura, se analizaron exhaustivamente 50 artículos clave que permitieron la caracterización de fundamentos teóricos, variantes metodológicas, métricas, beneficios y limitaciones del GVSM. Se evidenció que las dimensiones económica y ambiental han sido las más desarrollada en la aplicación de la herramienta, mientras que la dimensión social ha sido la menos explorada, representando una oportunidad de mejora crítica. A partir del análisis bibliométrico y temático, se identificaron enfoques metodológicos como el uso de técnicas multicriterio (AHP, Fuzzy PSI, entre otras), el sistema de semáforo (TLS), y el ciclo DMAIC como guías frecuentes para evaluar y mejorar el desempeño sostenible. Como producto derivado de esta revisión, se diseñó una hoja de ruta metodológica adaptable y replicable, estructurada en cinco fases alineadas con el ciclo de mejora continua, que orienta a las empresas en la implementación del GVSM. Esta propuesta busca superar barreras comunes como la falta de estandarización, el tratamiento aislado de indicadores y la poca integración de la dimensión social, impulsando una toma de decisiones más eficiente y un equilibrio entre los pilares económico, social y ambiental. Así, este trabajo aporta en el desarrollo de herramientas prácticas que faciliten la transición hacia modelos productivos más sostenibles.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director Juan Felipe Reyes Rodríguez. PhD en administración.

### Abstract

**Title:** Green Value Stream Mapping as a Key Tool for Sustainability in Industrial Processes and Supply Chains: A Systematic Literature Review<sup>1</sup>

**Authors:** Gabriela Moncada Navarro, Alejandra Plata Mendoza<sup>2</sup>

**Keywords:** Green Value Stream Mapping, sustainability, lean manufacturing, triple bottom line, industrial processes, sustainable indicators

**Description:** This research paper addresses Green Value Stream Mapping (GVSM) as a strategic tool for incorporating sustainability into industrial processes and supply chains. Through a systematic literature review, 50 key articles were comprehensively analyzed, allowing for the characterization of the theoretical foundations, methodological variants, metrics, benefits, and limitations of GVSM. It was evident that the economic and environmental dimensions have been the most developed in the application of the tool, while the social dimension has been the least explored, representing a critical opportunity for improvement. Based on the bibliometric and thematic analysis, methodological approaches such as the use of multicriteria techniques (AHP, Fuzzy PSI, among others), the traffic light system (TLS), and the DMAIC cycle were identified as common guides for assessing and improving sustainable performance. As a byproduct of this review, an adaptable and replicable methodological roadmap was designed, structured in five phases aligned with the continuous improvement cycle, which guides companies in implementing GVSM. This proposal seeks to overcome common barriers such as a lack of standardization, the isolated treatment of indicators, and poor integration of the social dimension, promoting more efficient decision-making and a balance between economic, social, and environmental pillars. Thus, this work contributes to the development of practical tools that facilitate the transition toward more sustainable production models.

---

<sup>1</sup> Degree work

<sup>2</sup> Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies. Director Juan Felipe Reyes Rodríguez. PhD in Management.

## Introducción

En el contexto actual, la sostenibilidad en procesos industriales es un tema que ha adquirido gran relevancia, especialmente en su aplicación empresarial. Esta creciente importancia se debe, en parte, a la presión ejercida sobre las organizaciones manufactureras por organismos gubernamentales y no gubernamentales para que reduzcan su impacto ambiental negativo y mejoren la seguridad de sus empleados (Swarnakar et al., 2021).

El alcance de la sostenibilidad en procesos industriales y cadenas de suministros ha sido analizado por varios investigadores a través del uso de las prácticas de Manufactura Esbelta (*Lean Manufacturing*). En ese sentido, el *Green Value Stream Mapping* (GVSM), metodología que se deriva del *Value Stream Mapping* (VSM) tradicional, aparece como herramienta *Lean* capaz de integrar principios operativos y de sostenibilidad. Con este enfoque no solo se identifican y eliminan actividades sin valor añadido, también se evalúa el impacto social, económico y ambiental de las operaciones, siguiendo el modelo del *Triple Bottom Line* (TBL).

A pesar de los avances y el creciente interés en esta temática, la literatura carece de un estudio consolidado que recopile y unifique de forma integral las métricas, beneficios, desafíos y demás aspectos claves relacionado con el GVSM. Esta brecha en la literatura, sumado a la falta de una metodología estandarizada, dificulta la comprensión y aplicación práctica de la herramienta en las empresas. Asimismo, la aplicación de enfoques y métodos varía de forma significativa entre industrias. Por tal razón, esta revisión busca superar dichas limitaciones a través de la estructuración y sintetización del conocimiento existente en un solo estudio, simplificando su análisis y aplicación.

El propósito de este proyecto es realizar una revisión sistemática de la literatura existente sobre el GVSM, caracterizando sus fundamentos teóricos, aplicaciones, métricas claves,

beneficios y limitaciones. Además, se busca diseñar una hoja de ruta que brinde orientación a las empresas en la aplicación de esta herramienta, considerando las mejores prácticas documentadas en las investigaciones revisadas y los desafíos presentados, promocionando una transición en las prácticas empresariales para que se realicen de mejor forma y, además, posean un equilibrio económico, social y ambiental.

A continuación, se construye una base de los contenidos a tratar para la elaboración de esta revisión, donde se incluye: revisión de literatura, planteamiento del problema junto con su justificación, objetivos, marco de referencia y teórico, metodología, resultados, propuesta de hoja de ruta metodológica, conclusiones, recomendaciones e investigaciones futuras.

**Tabla 1**

*Cumplimiento de objetivos*

<b>Objetivo</b>	<b>Cumplimiento</b>
Localizar y recopilar literatura sobre el Green Value Stream Mapping (GVSM), identificando fuentes clave que aborden su evolución, aplicaciones y relación con la sostenibilidad.	<b>5.1.</b> Identificación de la bibliografía <b>Apéndice A.</b> Proceso de búsqueda de literatura y análisis bibliométrico
Analizar los fundamentos teóricos del GVSM, examinando sus principios, enfoques metodológicos, aplicaciones en sectores industriales y cadenas de suministro, caracterizando métricas clave para su implementación.	<b>5.2.</b> Caracterización integral del GVSM
Identificar los beneficios y limitaciones del GVSM para determinar su impacto en la sostenibilidad empresarial y las barreras comunes en su aplicación.	<b>5.3.</b> Hallazgos clave sobre el GVSM: beneficios, limitaciones y tendencias
Diseñar una hoja de ruta para la implementación del Green Value Stream Mapping (GVSM), estableciendo pautas generales que orienten a las empresas en su adopción y aplicación.	<b>5.4.</b> Propuesta de hoja de ruta metodológica para la implementación del GVSM <b>Apéndice C.</b> Plantillas para la hoja de ruta propuesta
Elaborar un artículo publicable donde se documenten los hallazgos y resultados obtenidos de la investigación.	<b>Apéndice D.</b> Artículo publicable

## 1. Planteamiento del Problema y Justificación

La sostenibilidad se ha convertido en una prioridad estratégica y un compromiso integral a nivel mundial en los últimos años. Desde la adopción de la agenda 2030 de la ONU para el desarrollo sostenible, se reconoce que alcanzar un equilibrio entre el crecimiento económico, la inclusión social y la protección ambiental es fundamental para garantizar el bienestar de las generaciones actuales y futuras. Es por ello que se establecieron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que orientan los esfuerzos de los actores de la sociedad.

En particular, el ODS 12 promueve modalidades de consumo y producción sostenibles (Organización de las Naciones Unidas, 2024). Actualmente, el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales, el aumento de la población y normativas gubernamentales más estrictas ejercen presión sobre las empresas manufactureras para que mejoren su comportamiento medioambiental (Thanki & Thakkar, 2016).

Las organizaciones que deseen mantenerse competitivas y legítimas frente al mercado deben adaptar sus procesos a prácticas más sostenibles, en respuesta a una presión por parte de los consumidores, quienes valoran cada vez más a las empresas capaces de generar impactos positivos en lo social, económico y ambiental. En este contexto, el sector manufacturero resulta esencial para apoyar la aplicación de los ODS, ya que cumple un rol clave al generar empleo, mejorar el bienestar comunitario y al reducir el impacto medioambiental derivado de las actividades productivas (Marie et al., 2022).

Una de las herramientas más representativas del enfoque *Lean manufacturing* es el VSM, que adopta una visión más amplia del flujo de valor total y permite identificar las actividades que generan despilfarro, reducir los ciclos de proceso y realizar mejoras en ellos (Melin & Barth, 2020).

La versatilidad de su uso lo ha posicionado como una de las herramientas más utilizadas por las organizaciones industriales en sus procesos de mejora, como lo demuestra la revisión de Bertagnolli et al. (2021). Sin embargo, su aplicación tradicional se ha centrado exclusivamente en indicadores económicos, sin incorporar de forma sistemática variables sociales o ambientales.

No obstante, diversos estudios coinciden en que si el VSM lograr representar el rendimiento social y ambiental, aumentaría su eficacia como técnica de gestión (Mohamad et al., 2019). De hecho, se ha demostrado su potencial para integrar las metodologías Lean y Green (Muñoz-Villamizar et al., 2019). En este sentido, el GVSM representa una evolución conceptual y metodológica que profundiza la definición tradicional de desperdillo. Ya que, mientras el VSM se enfoca principalmente en identificar y eliminar desperdicios productivos, el GVSM incorpora también indicadores ambientales y sociales, que le permiten identificar y reducir los desperdicios relacionados con el consumo de recursos, las emisiones contaminantes, las condiciones laborales no sostenibles, entre otros.

En respuesta a la necesidad de evolucionar, han surgido diversas variantes metodológicas del VSM que buscan ampliar su alcance incorporando criterios de desarrollo sostenible, algunas de estas son el GVSM, el *Sustainable VSM* (Sus-VSM), *Objective Green Performance VSM* (OGP-VSM) y el *Energy VSM* (EVSM), entre otras.

Estas herramientas contribuyen directamente al cumplimiento del ODS 12, debido a su objetivo principal de involucrar a la sostenibilidad en los procesos productivos de las empresas, lo que permite promover la producción y el consumo responsable. Asimismo, se vinculan con el ODS 9 y el ODS 13, al favorecer la mejora continua promoviendo la innovación industrial de la mano del cuidado ambiental. Incluso se podría involucrar el ODS 8, ya que su aplicación permite generar entornos de trabajo sostenibles, eficientes y competitivos en la actualidad.

El presente proyecto adopta el término *Green Value Stream Mapping* (GVSM) como marco unificador para referirse a las distintas variantes orientadas a la sostenibilidad. Esta elección corresponde tanto a su amplia adopción en la literatura como a su asociación semántica con prácticas responsables desde el punto de vista medioambiental. Si bien no todos los estudios emplean esta denominación, comparten una base metodológica y un propósito común, lo cual justifica su análisis conjunto bajo un marco teórico común.

A pesar del creciente interés por integrar los principios *Lean* con la sostenibilidad, existe una importante dispersión en la literatura, ya que no existe un concepto claro unificado, ni una metodología estándar que permita aplicar la herramienta. Además, muchas de estas variantes utilizan métricas y enfoques metodológicos que varían significativamente de una industria a otra, lo que dificulta su adopción práctica en contextos reales.

Frente a este panorama, se plantea realizar una revisión de literatura que permita caracterizar estructuradamente el estado actual de conocimiento sobre el GVSM e identificar vacíos, correlaciones y oportunidades de mejora de su aplicación en las diferentes industrias manufactureras, con el fin de proponer una hoja de ruta metodológica que facilite su implementación. Este análisis incluye fundamentos teóricos, principios metodológicos, aplicaciones, métricas clave, beneficios y limitaciones que se presentan al momento de su aplicación. De tal manera que la investigación busca superar la dispersión conceptual y ofrecer claridad sobre su aplicabilidad práctica. Esta hoja de ruta se diseña con una estructura general para orientar la implementación, permitiendo una posible adaptación según particularidades de cada industria. Con esto, se espera contribuir a la transformación sostenible de los sistemas productivos.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Realizar una revisión sistemática de literatura para caracterizar los fundamentos teóricos, aplicación, métricas claves, beneficios y limitaciones del *Green Value Stream Mapping* y proponer una hoja de ruta de implementación para las empresas.

### 2.2. Objetivos Específicos

1. Localizar y recopilar literatura sobre el *Green Value Stream Mapping* (GVSM), identificando fuentes clave que aborden su evolución, aplicaciones y relación con la sostenibilidad.

2. Analizar los fundamentos teóricos del GVSM, examinando sus principios, enfoques metodológicos, aplicaciones en sectores industriales y cadenas de suministro, caracterizando métricas clave para su implementación.

3. Identificar los beneficios y limitaciones del GVSM para determinar su impacto en la sostenibilidad empresarial y las barreras comunes en su aplicación.

4. Diseñar una hoja de ruta para la implementación del *Green Value Stream Mapping* (GVSM), estableciendo pautas generales que orienten a las empresas en su adopción y aplicación.

5. Elaborar un artículo publicable donde se documenten los hallazgos y resultados obtenidos de la investigación.

### 3. Marco de referencia

#### 3.1. Marco de antecedentes

El análisis de antecedentes permite establecer una base teórica y práctica que sustente este proyecto, facilitando la comprensión de temas clave y evidenciando la relación entre sostenibilidad y herramientas *Lean* como el VSM, así como se evolución hacia enfoques más sostenibles como el GVSM, destacando su utilidad y adaptabilidad en distintos contextos.

##### 3.1.1. Antecedentes asociados a trabajos de grado

Quiroga Pinzón (2022), en su revisión sistemática, evidencia cómo herramientas *Lean* como las 5S y el VSM han mejorado la eficiencia operativa en industrias colombianas, especialmente en los sectores textil, alimentario y plástico. Resalta que la mejora continua es común en empresas manufactureras, motivada por la necesidad de reducir costos sin afectar la calidad. Además, se destaca la influencia de factores contextuales como el tamaño y ubicación de las empresas, subrayando la importancia de adaptar las metodologías *Lean* a cada entorno. Estos hallazgos son relevantes para el presente estudio, ya que respaldan el diseño de una hoja de ruta metodológica flexible y contextualizada para aplicar el GVSM.

Duarte Amado (2024) realiza una revisión sistemática de literatura donde identifica las principales metodologías de implementación del *Lean Green*, así como sus beneficios derivados y los desafíos asociados en su adopción. Este enfoque complementa la investigación sobre el GVSM, al destacar metodologías específicas que pueden llegar a integrarse en la hoja de ruta a proponer, y al enfatizar la importancia de considerar barreras y estrategias que permitan su implementación efectiva en diferentes sectores industriales.

Finalmente, Cuartas Díaz y Durán Páez (2024) investigan las oportunidades de implementación de herramientas *Lean* en el sector panelero. Este estudio menciona que dentro de las herramientas *Lean* destacadas se encuentran las 5S, Poka-Yoke y el VSM, adaptadas para mejorar la productividad y promover prácticas sostenibles en el sector y proponen la implementación de un *Smart Value Stream Mapping* para mapear tanto el flujo de materiales como la información relevante, facilitando la identificación de cuellos de botella, desperdicios del proceso y oportunidades de mejora, integrado también con un componente tecnológico.

La relevancia de este estudio para el proyecto actual radica en que, al mostrar la aplicación del VSM en contextos de economía local, fortalece la idea de que el GVSM puede adaptarse en diversos entornos. Asimismo, al proporcionar un ejemplo práctico de adaptación de herramientas *Lean*, contribuye de directamente al objetivo de diseñar una hoja de ruta metodológica para la implementación del GVSM con fines de estandarización. En resumen, el estudio concluye que las herramientas *Lean*, cuando se combinan con enfoques sostenibles adecuados, pueden optimizar la eficiencia operativa y generar un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y social, alineándose con los objetivos del proyecto.

### **3.1.2. Antecedentes asociados a revisiones de literatura relacionadas**

Silva et al. (2024a) presentan en su artículo un marco teórico actualizado que respalda la integración de los enfoques *Lean* y *Green* en contextos industriales, destacando la importancia de metodologías sistemáticas que alineen ambos paradigmas. Aunque abordan directamente el GVSM, sus fundamentos conceptuales justifican el diseño de hojas de ruta orientadas a la sostenibilidad y la mejora continua.

Ferrazzi et al. (2025), por su parte, realizan una revisión sistemática sobre el impacto de prácticas *Lean* en el desempeño ambiental sostenible. Identifican al VSM como una de las

herramientas más efectivas para reducir consumo energético, emisiones de carbono y residuos, reforzando su relevancia como base para extensiones como el GVSM. Sin embargo, los autores reconocen que la investigación sobre la integración *Lean – Green* aún es limitada, lo que resalta la pertinencia de este estudio al centrarse en una herramienta específica y poco explorada: el GVSM. A diferencia del enfoque amplio de Ferrazi et al., el presente trabajo desarrolla una propuesta metodológica concreta para su implementación en entornos manufactureros.

Asimismo, Baliga et al. (2020) presentan un modelo de gestión sostenible de la cadena de suministro (SSCM), incorporando tanto prácticas ambientales como sociales. En concordancia con este enfoque integral, este estudio también considera métricas de sostenibilidad específicas en su propuesta metodológica. No obstante, mientras Baliga et al. abordan el tema desde una perspectiva teórica y a nivel macro, este proyecto se centra en una herramienta puntual, lo cual facilita su aplicabilidad práctica.

En síntesis, mientras los estudios mencionados ofrecen marcos conceptuales generales sobre integración *Lean-Green* y destacan el uso del VSM como herramienta clave, este trabajo aporta un enfoque diferencial al proponer una hoja de ruta metodológica para aplicar el GVSM. Es propuesta fundamentada en la literatura, pero orientada a la acción, constituye un aporte original al ofrecer una guía práctica e integral que no se encuentra en los estudios previos revisados.

## **3.2.Marco Teórico**

### **3.2.1. *Sostenibilidad en la Manufactura***

La sostenibilidad en los procesos industriales y las cadenas de suministro se puede definir como la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la condición de las generaciones futuras en la satisfacción de sus propias necesidades (UN World Commission on Environment and Development, 1987). En el contexto manufacturero, esto implica la creación de

productos por medio de procesos de minimicen los impactos ambientales negativos, conserven energía y recursos naturales, sean seguros para trabajadores, comunidades, consumidores, y además, sean económicamente sólidos (International Trade Administration, 2007).

Khakpour et al. (2023) mencionan que uno de los conceptos principales en los que se basa la manufactura sostenible es el triple resultado (TBL). Los pilares ambientales, sociales y económicos contribuyen a la evaluación de esta en los procesos de fabricación. En el ámbito económico, se centra en la gestión operativa y de costos. En el ámbito social, busca aumentar la participación de los empleados en temas de sostenibilidad, así como un bienestar comunitario, mientras que, en el ámbito ambiental, lo primordial es el uso de los recursos y la reducción de emisiones. El equilibrio de estos tres pilares es crucial para una sostenibilidad integral.

Adicionalmente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU han sido tomados como referencia para guiar las iniciativas de desarrollo sostenible. Especialmente, el ODS 12, relacionado con la producción y consumo responsables, el cual plantea aspectos clave del desarrollo sostenible en la gestión eficiente de los recursos naturales y la reducción de desperdicios (Niklasson, 2019).

En ese sentido, el GVSM contribuye el alcance de este objetivo como metodología que identifica, mide y reduce los desperdicios en los procesos de la industria desde un enfoque sostenible, integrando principios tradicionales de manufactura con métricas de sostenibilidad como el consumo de energía, el uso de materia primas y el índice de contaminación (Chen et al., 2024), permitiendo el direccionamiento de los procesos en las organizaciones a su cumplimiento.

### **3.2.2. *Lean Manufacturing y Value Stream Mapping (VSM)***

El *Lean Manufacturing* o Manufactura Esbelta se centra en la eliminación continua de desperdicios o actividades sin valor añadido que se producen en cualquier proceso, con el fin de aumentar el valor entregado al cliente (Aadithya et al., 2023).

Dentro de sus herramientas principales está el VSM, que facilita la identificación de las fuentes de desperdicio dentro de un sistema de fabricación, y su posterior eliminación gracias a su capacidad de documentar, visualizar y comprender los materiales y el flujo de información en los procesos (Gholami et al, 2020). En otras palabras, permite la identificación de actividades que no añaden valor y la minimización de desperdicios como el tiempo de valor añadido, plazo de entrega, tiempo de ciclo y el *takt time* (Gargalo et al., 2021). Todo lo anterior descrito mediante el mapeo del flujo de materiales e información.

Diferentes investigadores han considerado el VSM eficiente y adaptable en distintos contextos. No obstante, este modelo tiene sus limitaciones. Como lo destacan varios autores, el VSM tradicional dispone de indicadores que se enfocan en medir solamente el rendimiento económico (Swarnakar, 2021; Hedlund et al., 2020; Djatna & Prasetyo, 2019), dejando de lado los aspectos relacionados con la sostenibilidad, como los ambientales y sociales, al realizar el mapeo del proceso (Utama et al., 2022). Esto ha llevado a la ampliación de los principios de la herramienta considerando estas dimensiones adicionales, dando lugar al surgimiento del GVSM.

### **3.2.3. *Green Value Stream Mapping (GVSM)***

El GVSM es una herramienta extendida de los principios del VSM tradicional que integra la sostenibilidad en los procesos industriales, ampliando su perspectiva con la incorporación del componente sostenible mediante métricas ambientales y sociales junto con las económicas. De acuerdo con Azeez y Mahdí (Chen et al., 2024), el GVSM propone mejorar el rendimiento

operativo mientras reconoce las nuevas dimensiones incluidas, ambiental y social, impulsando procesos operativos respetuosos con el medio ambiente y reduciendo la huella de carbono.

El GVSM cuenta con diferentes variantes metodológicas adaptadas a contextos específicos, como el *Sustainable VSM* (Sus-VSM), el *Energy VSM* (EVSM) y el *Life Cycle Assessment VSM* (LCA-VSM). Estas versiones reflejan los diversos enfoques que puede tener la herramienta para abordar la sostenibilidad en los sectores industriales, y se detallaran más adelante en la sección de resultados.

Por otro lado, el GVSM se fundamenta en el *Triple Bottom Line* (TBL) pues evalúa el desempeño en tres dimensiones: económica, social y ambiental. Este enfoque se aplica con la identificación y evaluación de indicadores representativos que aborden los objetivos de sostenibilidad en cada una de las dimensiones. En la dimensión ambiental, es importante incluir indicadores como emisiones de carbono, consumo de energía y agua, uso de material, generación y reciclaje de residuos, para medir el impacto ambiental de los procesos. En la dimensión social, las métricas deben evaluar aspecto como la satisfacción de los empleados, el impacto en las habilidades del personal, la carga física y mental, y el nivel de salud, asegurando que las prácticas sostenibles fomenten el bienestar.

En la dimensión económica, los indicadores se deben enfocar en la eficiencia operativa, considerando medir costos de producción, tiempos de entrega, tiempos de ciclo y costos operativos. La aplicación de estas métricas en el GVSM facilita la identificación de áreas de mejora e impulsa la sostenibilidad empresarial integral.

Además, el GVSM se apoya en herramientas metodológicas complementarias como el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), el *Lean Six Sigma* (TLS) y el modelo *Define, Measure,*

*Analyze, Improve y Control* (DMAIC), conocidas por ser bastante utilizada en la toma de decisiones, especialmente en el contexto del desarrollo sostenible (Larsson & Ratnayake, 2024).

No obstante, así como se obtienen beneficios significativos del GVSM como la reducción de desperdicios, la eficiencia operativa, el cumplimiento de objetivos sostenibles, la mayor facilidad para identificar las áreas de mejora tanto ambientales como sociales (Lee et al., 2021), y la toma de decisiones informadas hacia operaciones sostenibles; también se presentan limitaciones como la falta de valores de referencia estandarizados dificultando la comparación entre procesos (Swarnakar et al., 2021), dificultad para recopilar la información pertinente (Dos Santos et al., 2019), métricas no aplicables a todos los sectores industriales (Gholami et al., 2019) requiriendo un enfoque específico para cada entorno manufacturero (Ebrahimi et al., 2023), reforzándose más la necesidad de una metodología estandarizada que permita su implementación en diversos contextos.

#### **4. Metodología**

La presente investigación siguió un enfoque mixto documental, al tratarse de una revisión sistemática de literatura que incluyó un análisis bibliométrico y temático. Este enfoque integra técnicas cualitativas como cuantitativas, permitiendo un análisis más completo del objeto de estudio. El tipo de investigación cualitativa es el más adecuado cuando se busca comprender fenómenos complejos desde una perspectiva holística, ya que analiza significados, enfoques, limitaciones y aportes presentes en los estudios revisados, más allá de los datos numéricos.

El componente cuantitativo se presenta en el análisis bibliométrico de la literatura, mediante indicadores de frecuencia asociados a términos, autores y países, análisis de co-

ocurrencia de palabras clave, redes de co-citación y otras herramientas estadísticas que contribuyen a identificar tendencias, autores influyentes y oportunidades temáticas.

Al tratarse de una investigación documental, se trabajó exclusivamente con fuentes publicadas, sin recolectar datos de primera mano. La investigación se apoyó tanto de fuentes primarias, como estudios de casos aplicados en industrias manufactureras, como de fuentes secundarias, como revisiones teóricas y marcos metodológicos. Esta combinación permitió una visión integral del estado del conocimiento sobre el GVSM, la cual sustenta la construcción de una hoja de ruta metodológica para su implementación.

Para llevar el estudio, se adoptó una metodología estructurada por fases, alineadas con los objetivos específicos planteados que se desarrollaron de la siguiente manera:

#### **4.1. Fase 1: Localización y recopilación de literatura relevante sobre GVSM**

En esta fase se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura orientada a identificar y recopilar literatura sobre el GVSM. Esta información permitió establecer una base sólida para el análisis de los fundamentos teóricos, beneficios, limitaciones y aplicaciones de la herramienta.

Se adoptó como referencia metodológica el enfoque desarrollado por Klewitz y Hansen (2014), quienes estructuraron su revisión desde la elección de palabras clave hasta el análisis temático, combinando análisis bibliográfico y cualitativo.

##### **Actividades desarrolladas**

1. Se realizó una revisión preliminar para identificar las palabras clave de artículos relevantes, con base en ello se construyó la ecuación de búsqueda utilizando operadores booleanos.
2. Se implementó la ecuación de búsqueda refinada en las bases de datos seleccionadas (Scopus y WOS), para recopilar los resultados arrojados y eliminar los duplicados.

3. Se realizó la primera clasificación de los artículos en relevantes y no relevantes, a través de una revisión por título y resumen.
4. Se clasificaron los artículos preseleccionados en tres listas (A, B y C) según su nivel de relación con los objetivos de la investigación, mediante una revisión más detallada.
5. Se consolidó el conjunto definitivo de artículos, que constituye el corpus de análisis de la investigación para las siguientes fases.

#### **4.2. Fase 2: Análisis teórico y metodológico del GVSM**

Esta fase se desarrolló en el marco del segundo objetivo específico de la investigación, a partir del conjunto consolidado de artículos seleccionados en la fase anterior, con el fin de examinar bases conceptuales y metodológicas, e identificar la implementación de la herramienta en distintos sectores productivos.

##### **Actividades desarrolladas**

1. Se realizó una lectura detallada de los artículos seleccionados, centrándose en el contenido relacionado con los objetivos específicos de la investigación.
2. Se identificaron los principales principios Lean y Green presentes en las distintas variantes del GVSM y se analizó cómo se adaptan a diferentes industrias si se requiere.
3. Se sistematizaron las métricas clave empleadas para evaluar el desempeño sostenible al implementar el GVSM.
4. Se desarrolló una matriz de análisis temático que consolida la información teórica y metodológica de los artículos revisados.

#### **4.3. Fase 3: Identificación de beneficios y limitaciones del GVSM**

Esta fase corresponde al tercer objetivo específico, en esta se analizaron los artículos seleccionados con el fin de extraer los principales beneficios que la implementación del GVSM ha

demostrado en términos sostenibles, así como las limitaciones técnicas, metodológicas o prácticas señaladas por los autores.

#### **Actividades desarrolladas**

1. Se revisaron las secciones de resultados y discusión de la literatura, donde se reportaron impactos positivos o dificultades asociadas a la implementación del GVSM.
2. Se sistematizaron los hallazgos por medio de una matriz comparativa que contrastó los beneficios y limitaciones.
3. Se analizaron las tendencias comunes y patrones críticos que sirvieron de guía para la hoja de ruta metodológica en la siguiente fase.

#### **4.4. Fase 4: Diseño de una hoja de ruta para la implementación del GVSM**

En esta fase se abordó el cuarto objetivo específico de la investigación. El propósito fue traducir los hallazgos teóricos y metodológicos en una hoja de ruta que guía a las organizaciones manufactureras en la aplicación del GVSM. Esta propuesta estructurada diseña un marco flexible y adaptable a las distintas industrias, orientado a la mejora continua bajo criterios sostenibles.

#### **Actividades desarrolladas**

1. Se propuso una estructura metodológica compuesta con fases claras de implementación, basada en los elementos comunes identificados en los estudios revisados.
2. Se definió un conjunto de métricas sostenibles que permitieran evaluar el desempeño ambiental, social y económico, con posibilidad de ajustar algunos según la industria.
3. Se redactó y representó gráficamente la hoja de ruta propuesta, para facilitar su comprensión e implementación.

#### **4.5. Fase 5: Elaboración de un artículo publicable**

Como cierre del trabajo de investigación y en desarrollo del último objetivo específico, se elaboró un artículo académico publicable que recopilaba los principales resultados y hallazgos obtenidos del proyecto, con el fin de aportar en el campo de estudio de la sostenibilidad y la mejora de procesos productivos en el sector manufacturero.

#### **Actividades desarrolladas**

1. Se seleccionó la revista académica objetivo teniendo en cuenta la alineación temática, el reconocimiento y sus lineamientos editoriales.
2. Se adaptó el contenido del documento principal a la plantilla de la revista, priorizando la caracterización del GVSM, beneficios, limitaciones y la propuesta de la hoja de ruta.
3. Se redactó el artículo cumpliendo con los estándares de publicación académica, aplicando el formato y citación correspondiente, y cuidando la coherencia argumentativa.

### **5. Resultados**

#### **5.1. Identificación de la bibliografía**

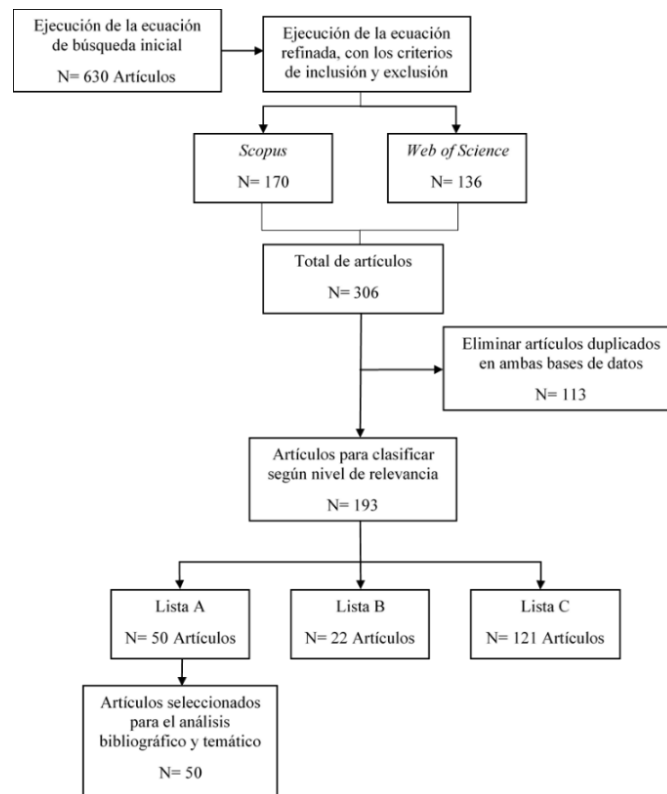
##### ***5.1.1. Enfoque metodológico y proceso de búsqueda de literatura***

Para cumplir con el primer objetivo específico de la investigación se realizó una revisión sistemática de la literatura disponible sobre el GVSM en el sector manufacturero. Este tipo de revisión es ideal para sintetizar la investigación de manera sistemática, transparente y reproducible, proporcionando evidencia para fundamentar teorías, políticas y prácticas de la diversidad de conocimiento que se presenta (Tranfield et al., 2003; Thorpe et al., 2005, citado por Klewitz y Hansen, 2014). Este estudio adopta el enfoque metodológico propuesto por Klewitz y Hansen (2014), por su enfoque similar al de esta investigación, al analizar un panorama heterogéneo de la

literatura reciente, y a partir de ello, generar un marco conceptual integrador, que para el caso de este estudio es la hoja de ruta propuesta. En esta metodología se incluye un análisis tanto bibliográfico cuantitativo como temático más cualitativo.

La identificación de la literatura se desarrolló en cuatro pasos, los cuales se describen a detalle en el **Apéndice A**, donde se documenta la formulación de ecuaciones de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión, la selección de palabras clave y la explicación completa de cada fase del proceso. Por su parte, el **Apéndice B** presenta la muestra final de artículos recopilados, organizados en formato de una matriz.

En el último paso, tras aplicar la estrategia de búsqueda en las bases de datos Scopus y Web of Science, y realizar las fases de depuración y clasificación según los criterios establecidos, se consolidó una muestra final de **50 artículos** que conforman la base de análisis de esta investigación, correspondiente a la lista A, esta cantidad corresponde a los estudios que cumplieron por completo el proceso de filtrado y depuración de literatura. Los demás artículos se clasificaron en listas B y C según su nivel de relevancia. La **Figura 1** ilustra por completo el proceso de filtrado y depuración de la literatura.

**Figura 1***Proceso de filtrado y depuración de la literatura*

### 5.1.2. Análisis bibliométrico

El análisis fue desarrollado utilizando la interfaz de Biblioshiny que corresponde al paquete de Bibliometrix en RStudio. Esta herramienta permitió realizar un análisis combinado de ambas bases de datos utilizadas y generar visualizaciones representativas de la investigación.

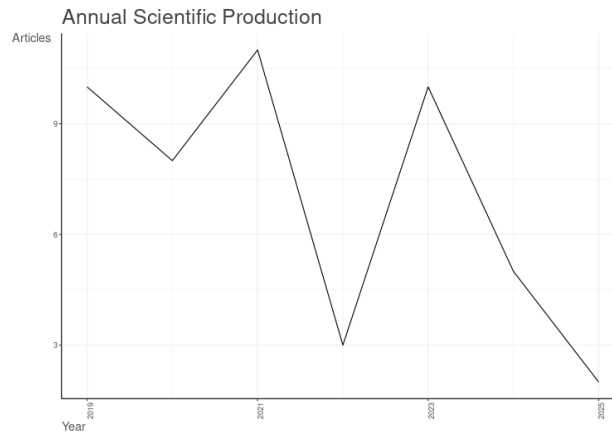
- **Producción científica anual**

La **Figura 2** representa la evolución de la literatura sobre el GVSM en el sector manufacturero. Se observa un crecimiento continuo a partir del año 2019, alcanzando su producción más alta para el 2021 seguida del 2023. Esta tendencia refleja el gradual interés por incluir criterios sostenibles en las herramientas tradicionales de mejora continua. Sin embargo, se registra una disminución en el número de publicaciones a partir del 2024, que podría atribuirse al

hecho de que la búsqueda se realizó el 18 de marzo del presente año, limitando la disponibilidad de artículos más recientes para su inclusión, además muchos de los artículos publicados recientemente no cumplieron con todos los criterios de inclusión definidos para este estudio.

## Figura 2

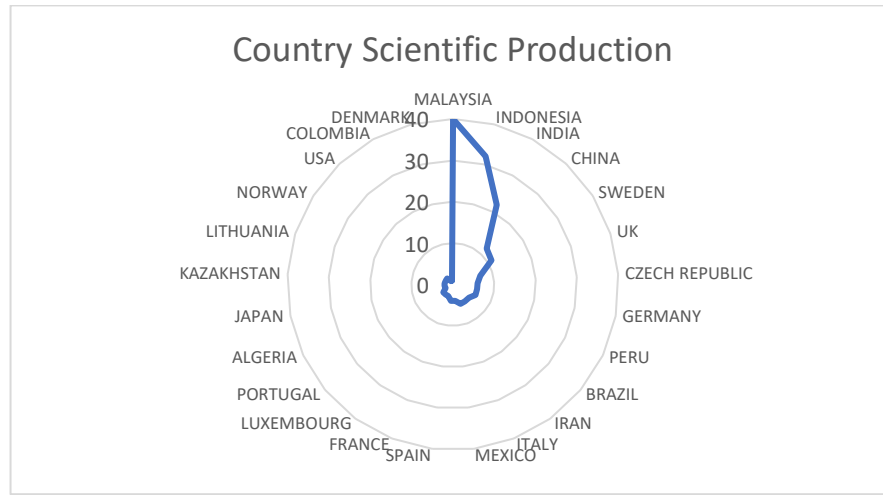
### *Análisis bibliométrico producción científica anual*



- **Producción científica por país**

Los resultados de la distribución geográfica de las afiliaciones institucionales relacionadas a los autores muestran un liderazgo definido por los países asiáticos. Como se evidencia en la **Figura 3**, este análisis destaca a Malasia con 40 afiliaciones, seguida de Indonesia e India, cada uno con 32 y 22 afiliaciones, lo que demuestra un fuerte interés investigativo en países con contextos industriales en desarrollo, donde la sostenibilidad y eficiencia operativa son prioridades estratégicas de la actualidad.

En cuanto a América Latina, se destacan países como Perú (6), Brasil (5), México (4) y Colombia (1), que también han aportado al crecimiento del campo en investigación, pero en menor proporción, seguramente con un potencial futuro por el interés de la industria manufacturera de adoptar herramientas con enfoques como el GVSM.

**Figura 3***Análisis bibliométrico producción científica por país*

- **Co-ocurrencia de palabras clave**

El análisis de co-ocurrencia permite identificar la manera en la que se agrupan los temas principales abordados en la literatura y la relación que existe con este estudio y las temáticas que estructurarán la revisión sistemática de literatura. En esta red, los nodos representan los términos clave más frecuentes, y los vínculos indican la cantidad de veces que esas palabras concurren en un mismo artículo.

La **Figura 4** evidencia que la palabra con mayor concurrencia es “*Value Stream Mapping*”, confirmando su rol como la herramienta tradicional central de esta investigación. Este nodo se conecta directamente con los términos de “*sustainability*”, “*lean*”, “*energy*” y “*circular economy*”, que pertenecen al mismo clúster, lo que demuestra alta cohesión temática entorno a las herramientas *Lean* con la sostenibilidad.

Este análisis no solo destaca la centralidad temática del VSM, sino también como en la literatura actual se vincula esta herramienta con términos relacionados a metodologías sostenibles como LCA, TBL, *circular economy*, e incluso solo el término “*green*”. Estos nodos conceptuales

corresponden a los diferentes enfoques y variantes del VSM sostenible, que en esta investigación se busca sistematizar por medio de la revisión de literatura, como se planteó a través de los objetivos específicos.

En síntesis, estas agrupaciones temáticas reflejan las líneas conceptuales y enfoques metodológicos relacionados con el VSM que se alinean con los objetivos del estudio: caracterizar los fundamentos teóricos y metodológicos del GVSM, así como identificar los indicadores y métricas sostenibles clave para su aplicación.

#### Figura 4

*Análisis bibliométrico Co-ocurrencia palabras clave*



*Nota.* Figura generada con Biblioshiny.

Además de las figuras presentadas, el análisis bibliométrico realizado abarcó otros aspectos relevantes como los autores más citados, las redes de colaboración institucional y la evolución temática del campo, entre otros. Sin embargo, por razones de extensión, en este documento se incluyen únicamente los hallazgos más representativos. Para consultar el análisis completo, se recomienda revisar el **Apéndice A**.

## 5.2. Caracterización integral del GVSM

Tras realizar un análisis exhaustivo y sistemático, como se describió en la metodología, se consolidó una base documental que incluye 50 artículos clave. Esta revisión permitió avanzar en el desarrollo de los 3 primeros objetivos específicos del estudio. Pero a su vez, permitió estructurar la base sólida para desarrollar el objetivo 4, ya que todos los elementos que se analizan en estas secciones fueron fundamentales para su creación.

Esta sección tiene como propósito caracterizar las principales variantes del GVSM, fundamentos teóricos, enfoques metodológicos, sectores de aplicación y métricas claves alineadas a la sostenibilidad, lo cual evidencia el cumplimiento del segundo objetivo específico.

### 5.2.1. Variantes del GVSM

En los últimos años, se ha evidenciado el creciente interés por parte de las empresas del sector manufacturero en adoptar prácticas sostenibles como parte de su estrategia de mejora continua y desarrollo, esto puede deberse principalmente a la presión regulatoria y el cambio en la demanda de los consumidores de ser más conscientes con el medio ambiente. Por ejemplo, las regulaciones establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), han impulsado la integración de herramientas como el GVSM para reducir los desperdicios ecológicos y mapear los consumos de energía (Gholami et al., 2020), debido a que muchas herramientas *Lean* pueden adaptarse y extenderse fácilmente hacia la sostenibilidad (Pattanaik et al., 2019).

Por otro lado, las tendencias de consumo han fomentado en sectores como el de transporte y logística a usar herramientas como el *Sustainable Transport Value Stream Mapping* (STVSM), optimizando las operaciones y respondiendo a los clientes con cadenas de suministros más sostenibles (Lee et al., 2021).

Estas tendencias y transformaciones han provocado que las herramientas tradicionales del enfoque *Lean manufacturing*, que están diseñadas con el objetivo de lograr la eficiencia operativa, deban evolucionar e incluir dimensiones que también consideren factores ambientales y sociales. Es por esto que, en este contexto, surgen diversas variantes del VSM tradicional con énfasis en la sostenibilidad o en al menos 1 de sus dimensiones. Según la revisión realizada, se identificaron más de 15 variantes sostenibles de la herramienta.

Una de las variantes más mencionadas y utilizadas en la literatura es el ***Green Value Stream Mapping (GVSM)*** (Prayugo et al., 2021), varios de los autores de esta revisión, mencionan a Dadashzadeh y Wharton, como pioneros en el desarrollo de esta variante, “utilizando a la herramienta como método para mejorar los aspectos ecológicos de las áreas funcionales de tecnología de la información en las organizaciones” (Gholami & Jamil et al., 2020).

El GVSM combina un análisis comúnmente utilizado en el *Lean manufacturing*, conocido como el VSM, con el objetivo del *Green manufacturing* de reducir la contaminación. Esta herramienta incorpora los 7 principales desperdicios ecológicos reconocidos por la *Global Reporting Initiative (GRI)*, permitiendo que una empresa pueda identificar los distintos tipos de contaminación generados en el proceso de producción y sus áreas de mejora (Chen et al., 2024). Además de esta capacidad analítica, el GVSM es una herramienta estratégica para orientar producciones y cadenas de suministro hacia modelos más sostenibles, al aumentar el valor de su productividad verde tras utilizar la herramienta (Prayugo & Zhong, 2021).

Otra de las variantes con mayor presencia en la literatura es el ***Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM)*** (Rosiani et al., 2023; Saria et al., 2021; Putri et al., 2021; Petrenko et al., 2020; Ke Yin Lee et al., 2021; Jamil et al., 2020; Utama et al., 2022; Djatna & Prasetyo, 2019; Mishra et al., 2020). Surge de mejorar la herramienta tradicional, integrando las tres dimensiones

de la sostenibilidad, económica, social y medioambiental, en un mismo esquema visual. El Sus-VSM fue diseñado originalmente por Faulkner y Badurdeen (2014), quienes son la principal referencia metodológica para los autores que ampliaron esta variante en sus otros estudios. Una de sus características, es la capacidad para identificar y clasificar las actividades del proceso según su aporte en cada uno de los pilares del desarrollo sostenible, permitiendo evaluar el sistema de producción mediante la definición de actividades que no aportan valor añadido (NVA) y proporcionar recomendaciones para mejorar el rendimiento de la producción en términos sostenibles (Putri & Hartini, 2021).

Tanto el GVSM como el Sus-VSM se destacan por integrar los tres pilares de la sostenibilidad, lo que les ha permitido posicionarse como referentes clave dentro de la literatura. Sin embargo, existen otras propuestas conceptuales que también comparten el enfoque integral de la sostenibilidad, como: el *Value Stream Mapping for Sustainability (VSM4S)* (Silva et al., 2024b), el *Smart Sustainable Value Stream Mapping (SS-VSM)* (Batwara et al., 2024), el *Sustainable Supply Chains Value Stream Mapping (SustainSC-VSM)* (Gargalo et al., 2021), el *Extended Value Stream Mapping (X-VSM)* (Bait et al., 2020), el *Sustainable Setup Stream Mapping (3SM)* (Ebrahimi et al., 2021) y el *Cleaner Production Value Stream Mapping (CPVSM)* (Mohama et al., 2019). Aunque estas herramientas son menos citadas, buscan potenciar la herramienta VSM tradicional con componentes sostenibles ajustados a contextos industriales particulares o metodologías específicas que se complementan muy bien para mejorar el desempeño sostenible de las organizaciones.

No obstante, uno de los hallazgos más recurrentes en esta revisión de literatura es que una gran parte de las variantes del GVSM considera principalmente solo uno de los pilares, dejando a un lado la integridad de la herramienta.

Actualmente existen diversas herramientas centradas en la dimensión ambiental, ya que las organizaciones que la implementan tienen como objetivos centrales reducir su impacto ambiental y contar con una producción más respetuosa con el medio ambiente. Esta visión restringida de la herramienta puede limitar el abordar problemáticas sociales u organizacionales de fondo que no permitan un desarrollo sostenible por completo. Sin embargo, en esta investigación es importante analizar estas herramientas para complementar esta dimensión de la sostenibilidad en la revisión y por ende en la hoja de ruta metodológica. Dentro de estas variantes se destaca el *Environmental Value Stream Mapping (EVSM)* (Gholami et al., 2020; Bancovich Erquínigo et al., 2023; Shahbazi et al., 2019), que puede ayudar a las empresas a responder a las crecientes exigencias del mercado, como la demanda de productos y servicios más ecológicos.

También se identifican variantes como el *Energy Value Stream Mapping (E-VSM)* (Verma & Sharma, 2019), el *Circular Value Stream Mapping (C-VSM)* (Mangers et al., 2023), el *Overall Greenness Performance for Value Stream Mapping (OGP-VSM)* (Muñoz-Villamizar et al., 2019), el *Green Modified Value Stream Mapping (GMVSM)* (Zhu et al., 2020), el *Lean-Energy-Six Sigma Value Stream Mapping (LESSVSM)* (Verma et al., 2021), el *Green Integrated Value Stream Mapping (GIVSM)* (Choudhary et al., 2019), entre otras.

Por otro lado, la literatura evidencia que la perspectiva social es la menos abordada en este tipo de variantes. Son pocos los artículos que consideran indicadores como el bienestar del trabajador, la equidad y las condiciones de trabajo. Como lo mencionan Gholami et al. (2019), omitir la dimensión social puede dificultar la adopción de prácticas sostenibles, ya que los trabajadores son actores clave en la implementación de las mejoras en las organizaciones. En respuesta a esta laguna metodológica, surge el *Social Value Stream Mapping (Socio-VSM)* (Gholami et al., 2019) que puede ayudar a las organizaciones a abordar los desafíos operativos y

sociales relacionados con los riesgos existentes para la salud y seguridad de los empleados, así como el cumplimiento de las regulaciones gubernamentales (Gholami et al., 2019).

En la **Tabla 2** se recopilan todas las variantes identificadas en la revisión de los 50 artículos.

**Tabla 2***Matriz comparativa variantes del GVSM*

Nombre de la variante	Principales aportes y observaciones clave	Dimensiones de la Sostenibilidad incluidas			Autores que aplican esta variante
		Económica	Ambiental	Social	
<i>Sustainable Value Stream Mapping</i> (Sus-VSM o SVSM)	Surge como evolución del VSM tradicional, integrando las 3 dimensiones de la sostenibilidad bajo el marco del TBL. La versión diseñada por Faulkner y Badurdeen (2014) es la más citada y ha servido como guía metodológica para múltiples estudios. Esta variante permite complementarse con otras herramientas, ampliando su alcance y priorizando intervenciones sostenibles.	Sí	Sí	Sí	Fitriadi & Mohamad (2025); Rosiani et al. (2023); Marie et al. (2022); Saria et al. (2021); Putri et al. (2021); Petrenko et al. (2020); Batwara et al. (2023); Dewi et al. (2023); Jamil et al. (2020); Larsson et al. (2024); Djatna & Prasetyo (2019).
<i>Environmental Value Stream Mapping</i> (EVSM)	Integra las filosofías <i>Lean</i> y <i>Green</i> , que contribuye a la eliminación de residuos ambientales, permitiendo aumentar la sostenibilidad manteniendo la misma productividad y rendimiento económico en la organización. Dice incluir la dimensión social a través del compromiso de los trabajadores.	Sí	Sí	Sí	Batwara et al. (2023); Gholami et al. (2020); Bancovich Erquínigo et al. (2023); Shahbazi et al. (2019).
VSM y LCA	Integra el VSM con el <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) para evaluar simultáneamente la eficiencia operativa y los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto. Permite identificar puntos críticos en términos de desperdicio y carga ambiental, facilitando decisiones sostenibles basadas en datos cuantitativos.	Sí	Sí	Sí	Ghaziani et al. (2021); Estrada-Gonzalez et al. (2020); Masudin et al. (2025); Djatna & Prasetyo (2019).
<i>Green Value Stream Mapping</i> (GVSM)	Extiende el VSM tradicional integrando indicadores explícitamente ambientales y económicos en el análisis de los procesos productivos. Introduce el concepto de <i>Green productivity</i> para alinear la eficiencia y la sostenibilidad. Incorpora los 7 desperdicios ecológicos según la GRI.	Sí	Sí	No	Batwara et al. (2023); Prayugo et al. (2021); Utama et al. (2022).
<i>Cleaner Production Value Stream Mapping</i> (CPVSM)	Incorpora medidas que utilizan la tecnología de producción más limpia en la técnica del VSM, permitiendo identificar los residuos de manera preventiva. Esta variante es una opción efectiva, ya que es una herramienta sencilla, económica y eficaz para identificar las métricas	Sí	Sí	Sí	Ishak et al. (2019); Mohama et al. (2019).

Nombre de la variante	Principales aportes y observaciones clave	Dimensiones de la Sostenibilidad incluidas			Autores que aplican esta variante
		Económica	Ambiental	Social	
	en el proceso y aplicar mejoras sostenibles como las practicas Kaizen.				
<i>Energy Value Stream Mapping (E-VSM)</i>	Se basa en la metodología estándar del VSM tradicional, añadiendo componentes de energía además del costo, y se analiza con respecto al tiempo. La herramienta identifica el nivel de uso y desperdicios de energía para cada etapa del proceso productivo, buscando las oportunidades de ahorro energético.	No	Sí	No	Batwara et al. (2023); Verma & Sharma (2019).
<i>Waste Flow Mapping (WFM)</i>	Es una adaptación del VSM enfocada exclusivamente en los flujos de residuos, desde su generación hasta su tratamiento final. Permite visualizar rutas, tiempos, cargas y recursos usados en la gestión de residuos, identificando desperdicios, ineficiencias y oportunidades de mejora <i>Lean</i> y ambiental.	Sí	Sí	No	Minh et al. (2019) ; Shahbazi et al (2019).
<i>Value Stream Mapping for Sustainability (VSM4S)</i>	Propone un modelo que combina las ventajas del VSM tradicional con la integración de aspectos sostenibles arraigados a los conceptos del modelo 5SEnSU y su indicador SSIS. Establece que, cuanto mayor sea el número de procesos de un producto, mayor prioridad recibe para su integración en el mapeo.	Sí	Sí	Sí	Silva et al. (2024b).
<i>Smart Sustainable Value Stream Mapping (SS-VSM)</i>	Este marco integra técnicas <i>Lean</i> , sostenibles e inteligentes, aprovechando la era de la cuarta revolución industrial. Esta herramienta hace hincapié en la sostenibilidad e impactos tecnológicos. La variante propone incluir una nueva dimensión de indicadores enfocados en la digitalización para aplicar correctamente la herramienta.	Sí	Sí	Sí	Batwara et al. (2024).
<i>Sustainable Supply Chains Value Stream Mapping (SustainSC-VSM)</i>	Tiene como objetivo combinar sistemáticamente la sostenibilidad, filosofía <i>Lean</i> y la gestión de la cadena de suministro por medio de esta herramienta holística, cuantitativa y cualitativa. La mayoría de los indicadores incorporados en esta metodología son genéricos y se pueden aplicar a diferentes tipos de cadena de suministro.	Sí	Sí	Sí	Gargalo et al. (2021).
<i>Extended Value Stream Mapping (X-VSM)</i>	Es una herramienta para identificar y filtrar el desperdicio de la cadena de suministro cualitativamente. Al combinarse con <i>Sustain Pro</i> adquiere la capacidad de descomponer sistemas complejos en partes más pequeñas y evaluarlas de forma cuantitativa.	Sí	Sí	Sí	Bait et al. (2020).
<i>Sustainable Setup Stream Mapping (3SM)</i>	Utiliza el VSM de forma innovadora, desglosando las operaciones de configuración ( <i>set up</i> ), empleando técnicas SMED para mejorarlas. Los indicadores para evaluar las 3 dimensiones del TBL, se centran en las	Sí	Sí	Sí	Ebrahimi et al. (2021).

Nombre de la variante	Principales aportes y observaciones clave	Dimensiones de la Sostenibilidad incluidas			Autores que aplican esta variante
		Económica	Ambiental	Social	
	estaciones de trabajo y procesos asociados al cambio de formato.				
<i>Circular Value Stream Mapping (C-VSM)</i>	Establece criterios de evaluación para sistemas circulares, considerando los conceptos de valor y desperdicio. Con esta herramienta se puede obtener una visión general de la cadena de suministro y sus interacciones, incluido el flujo de material. Ilustra la influencia que puede tener el diseño de un producto en la correcta funcionalidad de los procesos.	No	Sí	Sí	Mangers et al. (2023).
<i>Overall Greenness Performance for Value Stream Mapping (OGP-VSM)</i>	Ayuda a mejorar la eficacia ambiental dentro de una empresa, a la vez que mejora su productividad. El OGP es una jerarquía de métricas basada en lean que relaciona el consumo de recursos y las emisiones de residuos de una empresa con su nivel de producción.	Sí	Sí	No	Muñoz-Villamizar et al. (2019).
<i>Green Modified Value Stream Mapping (GMVSM)</i>	Adapta la eficiencia y emisiones de carbono como indicadores de evaluación en un sistema de fabricación eficiente y ecológico, para mejorar la productividad y el rendimiento ambiental de una empresa. Se basa en VSM y en el estándar de conceptos de fabricación sostenible.	Sí	Sí	No	Zhu et al. (2020).
<i>Lean-Energy-Six Sigma Value Stream Mapping (LESSVSM)</i>	Variante que integra principios de <i>Lean</i> , consumo energético y <i>Six Sigma</i> en el VSM, incorporando un modelo matemático basado en entropía. Permite identificar estaciones con mayor rechazo y retrabajo, cuantificar pérdidas energéticas no agregada y optimizar el desempeño sostenible del sistema mediante control estadístico y eficiencia energética.	Sí	Sí	No	Verma et al. (2021).
<i>Green Integrated Value Stream Mapping (GIVSM)</i>	Variante que integra de manera sinérgica los paradigmas lean y green dentro del VSM, permitiendo visualizar simultáneamente los desperdicios operacionales y ambientales, y a su vez mejorando la eficiencia operativa y el desempeño ambiental.	Sí	Sí	No	Choudhary et al. (2019).
<i>Social Value Stream Mapping (Socio-VSM)</i>	Variante desarrollada para evaluar la sostenibilidad social en sistemas de manufactura, integrando métricas sobre ergonomía, riesgos laborales, ruido, exposición a químicos y estabilidad laboral. Visualiza y cuantifica los impactos sociales en cada estación del proceso, facilitando decisiones orientadas al bienestar de los empleados.	No	No	Sí	Gholami et al. (2019).

Como se ha documentado, existen múltiples variantes del GVSM, integradas a la sostenibilidad, cada una de ellas con énfasis particulares según sus objetivos y contextos de aplicación. Estas variantes reflejan la evolución del VSM tradicional hacia enfoques más sostenibles y al mismo tiempo, evidencian las interconexiones temáticas identificadas previamente en el análisis de co-ocurrencia del estudio bibliométrico. El vínculo entre los términos “*sustainability*” y “*lean*” se encuentra presente en cada una de las variantes estudiadas en esta revisión, mientras que las conexiones con los términos “*energy*” y “*circular economy*” se plasman en herramientas específicas como el *Energy VSM*, que incorpora criterios de consumo de energía y eficiencia energética; así como el *Circular VSM*, que vincula el mapeo de flujo de valor con los principios de economía circular.

Este tipo de conexiones evidencia como la literatura ha desarrollado enfoques híbridos para dar respuesta a los desafíos de sostenibilidad en diversos contextos industriales. En las siguientes secciones, estas interrelaciones se refuerzan desde la perspectiva de los fundamentos teóricos y enfoques metodológicos asociados al GVSM.

En este trabajo de investigación se optó por acoger el término *Green Value Stream Mapping* (GVSM) como denominación orientadora general, no necesariamente por ser la variante más referenciada o estandarizada, sino porque permite representar de manera integral el enfoque sostenible que busca promover la evolución de la herramienta tradicional. A lo largo de esta revisión de literatura se evidenció que no existe una única variante capaz de abordar por sí sola todos los elementos y pilares fundamentales para su implementación. En este sentido, se adopta el concepto “*Green*” por su capacidad de englobar una visión amplia e integradora de la sostenibilidad, simbolizando conciencia, transición y mejora frente a prácticas tradicionales. Por ello, el GVSM facilita la articulación de todas las dimensiones exploradas en este estudio, bajo un

mismo hilo conductor, orientado a alinear el VSM tradicional con los principios de la sostenibilidad.

### 5.2.2. *Fundamentos teóricos del GVSM*

Uno de los pilares más sólidos y fundamentales en cualquiera de las variantes del GVSM, es la filosofía *Lean Manufacturing*, ya que la herramienta de estudio tradicional surge precisamente de este enfoque y establece la base sobre la cual se desarrollarán las variantes. Justo como lo mencionan Marie et al. (2022), las técnicas *Lean* pueden contribuir al desarrollo sostenible, debido a que sus principios definen el valor de un producto o servicio desde la expectativa del cliente, promoviendo una mejora continua para eliminar desperdicios.

Aunque el enfoque *Lean* ayuda a identificar y eliminar residuos. No siempre tiene en cuenta el impacto medioambiental asociado, lo que ha generado que las organizaciones implementen operaciones ecológicas (Choudhary et al, 2019). Por lo cual, ha surgido la filosofía del *Green manufacturing* como una práctica de fabricación orientada a minimizar los impactos ambientales a lo largo del proceso productivo. Esta lógica conceptual enfatiza la reducción de piezas, la racionalización de materiales y la disminución de componentes, con el fin de hacer la producción más eficiente a través del desarrollo sostenible y su impacto en la competitividad de las organizaciones (Verma & Sharma, 2021).

En este contexto, otro de los fundamentos o marcos teóricos principales en esta revisión, es el enfoque *Lean-Green* como una evolución natural que combina la eficiencia operativa del *Lean manufacturing* con los objetivos ambientales del *Green manufacturing*. Un sistema de producción basado en una filosofía *Lean-Green* probablemente tenga un alto potencial de mejora medioambiental, ya que la cultura de mejora continua, compromiso y eliminación de residuos ya se ha heredado del *Lean manufacturing* (Shahbazi et al, 2019).

Múltiples autores han coincidido en señalar que el GVSM se fundamenta con el principio del ***Triple Bottom Line (TBL)***, el cual logra integrar de manera equilibrada las tres dimensiones de la sostenibilidad: económica, social y ambiental, para evaluar el desempeño sostenible de los procesos productivos. La literatura indica que cada una de las dimensiones es igual de crucial para alcanzar la sostenibilidad en la industria manufacturera, es decir, deben tener la misma importancia a la hora de evaluar el rendimiento de la producción (Dewi et al., 2023). Este principio se ha convertido en marco conceptual para identificar y estructurar los indicadores utilizados en la evaluación de la sostenibilidad dentro del GVSM (Rosiani et al., 2023). La incorporación de indicadores sostenibles permite que la herramienta original crezca más allá del análisis de la eficiencia operativa, transformándola en un marco integral para la toma de decisiones, cuya estructura es fundamental para lograr un balance efectivo en la manufactura sostenible (Yip et al., 2023, citado por Rosiani et al., 2023).

Se podría decir que, de manera transversal al GVSM, subyace el concepto de ***Kaizen*** o ***Mejora continua***, principio heredado de la filosofía *Lean*; con el fin de superar las limitaciones y perseguir las oportunidades de mejora del VSM tradicional, en pro del desarrollo sostenible. Cada variante plasma el ahínco por mejorar y evolucionar continuamente los procesos productivos, incorporando criterios sostenibles que antes no habían sido relacionados con la herramienta, ya sea incorporando metodologías específicas o respondiendo al contexto de aplicación.

La metodología del GVSM propuesta por varios autores, plantea esquemas cíclicos, que involucran diagnósticos iniciales que se registran por medio de un ***VSM actual***, una implementación de mejoras en un ***VSM futuro*** y finalmente una reevaluación periódica. Este tipo de iteraciones permiten ajustar progresivamente los procesos, logrando mejorar el desempeño sostenible alcanzado por una organización. De hecho, el VSM Futuro se crea al definir el plan de

proyectos *Kaizen* para alcanzar los objetivos establecidos en el plan estratégico de la empresa (Silva et al., 2024).

Junto con los fundamentos teóricos ampliamente mencionados a lo largo de este análisis de literatura, se identifican otros enfoques conceptuales que, a pesar de no ser los más referenciados, han sido clave para constituir ciertas variantes del GVSM, dependiendo de la industria aplicada, los objetivos del estudio y las metodologías utilizadas. Por ejemplo, el modelo de *Circular Economy* aparece como principio fundamental en el *Circular Value Stream Mapping* (C-VSM), herramienta que promueve la minimización del uso de recursos vírgenes en la producción, a través del diseño para la circularidad considerando la vida útil de principio a fin del producto (Mangers et al., 2023).

Asimismo, el enfoque *Overall Greenness Performance (OGP)* integrado al VSM, plantea una jerarquía de métricas basadas en la filosofía *Lean*, relacionando el consumo de recursos, la emisión de residuos y el nivel de producción (Muñoz-Villamizar et al., 2019). Otras variantes se orientan de fundamentos como el *Lean Quality, Cleaner Production, Green Productivity*, así como en tecnologías emergentes como los son *Internet of Things (IoT)* y *Additive Manufacturing*, que complementan el análisis del VSM tradicional al tener la capacidad de obtener datos en tiempo real y adaptables a diferentes entornos.

La **Tabla 3** representa un consolidado de todos los fundamentos teóricos involucrados en el GVSM y variantes, según la revisión de literatura. Este recorrido teórico brinda una base sólida para analizar la diversidad de perspectivas desde las cuales se ha enriquecido el GVSM.

Tabla 3

## Matriz fundamento teóricos del GVSM

Fundamento teórico	Aportes conceptuales y metodológicos	Variantes del GVSM asociadas	Autores que lo adoptan como base conceptual
<b>Lean manufacturing</b>	Uno de los pilares más sólidos y fundamentales en cualquiera de las variantes del VSM sostenible es esta filosofía. Busca la mejora continua mediante la eliminación de desperdicios en procesos de producción y toda actividad que no agrega valor, enfocándose en flujos eficientes y procesos esbeltos.	Todas las variantes, ya que el VSM es una herramienta propia del <i>Lean manufacturing</i> .	Todos los autores utilizan la filosofía <i>Lean</i> en esta revisión de literatura.
<b>Green manufacturing</b>	Práctica de fabricación que no daña al medio ambiente en ninguna parte del proceso. Busca minimizar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del producto a través de la reducción de consumo de energía, materiales, emisiones y residuos e incorporar tecnologías limpias. Está alineado con regulaciones como ISO 14001 y ODS.	CPVSM; GVSM; EVSM; Sus-VSM; OGP-VSM; GMVSM	Chen et al. (2024); Ishak et al. (2019); Verma & Sharma (2021); Putri et al. (2021); Bertagnolli et al. (2021); Utama et al. (2022); Pattanaik et al. (2019); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Dewi et al. (2023); Marie et al. (2022); Saria et al. (2021); Swarnakara et al. (2021); Prayugo et al. (2021); Utama & Abifartin (2023); Aouag et al. (2023); Zhu et al. (2020); Djatna y Prasetyo (2019); Mubin et al. (2022).
<b>Integración Lean-Green</b>	Promueve la integración sinérgica de principios <i>Lean</i> (eficiencia y eliminación de desperdicios) con enfoques sostenibles, fomentando una mejora simultánea del rendimiento operativo y del desempeño ambiental/social. Va más allá de solo reducir desechos de producción, también permite reducir los desechos ambientales.	CPVSM; OGP-VSM; WFM; GVSM; EVSM; E-VS; Sus-VSM; GMVSM; WFM; GIVSM	Ishak et al. (2019); Verma & Sharma (2021); Putri et al. (2021); Pattanaik et al. (2019); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Minh et al. (2019); Batwara et al. (2023); Swarnakara et al. (2021); Gholami et al. (2020); Zhu et al. (2020); Bancovich Erquinigo et al. (2023); Shahbazi et al. (2019); Dos Santos et al. (2019); Choudhary et al. (2019).
<b>Triple Bottom Line (TBL)</b>	Propone una visión integral del desempeño organizacional basada en tres dimensiones: económica (eficiencia y costos), ambiental (uso responsable de recursos y reducción del impacto de sus procesos), y social (bienestar de los empleados y comunidades). Su integración con el VSM permite definir las métricas e indicadores clave para evaluar integralmente la sostenibilidad en las empresas.	GVSM; Sus-VSM; EVSM; SVSM; 3SM	Batwara et al. (2023); Dewi et al. (2023); Rosiani et al. (2023); Marie et al. (2022); Betagnolli et al. (2021); Saria et al. (2021); Batwara et al. (2022); Swarnakara et al. (2021); Yin Lee et al. (2021); Utama et al. (2022); Larsson et al. (2024); Dos Santos et al. (2019); Djatna y Prasetyo (2019); Ebrahimi et al. (2021); Mubin et al. (2022).
<b>Kaizen/Mejora Continua</b>	Se basa en la mejora continua a través de pequeños cambios incrementales en los procesos, involucrando a todos los niveles de la organización. Herramienta que permite alcanzar el desarrollo sostenible, mediante la aplicación de principios <i>Lean</i> . Fomenta una cultura participativa donde cada trabajador contribuye a identificar oportunidades de mejora continua.	VSM4S; CPVSM; SS-VSM; Sus-VSM; OGP-VSM; VSM y LCA; GVSM	Silva et al. (2024b); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2024); Fitriadi & Mohamad (2025); Chen et al. (2024); Melin y Barth (2020); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Shahbazi et al. (2019); Aouag y Soltani (2023); Jamil et al. (2020); Prayugo et al. (2021); Utama y Abirfatin (2023); Gargalo et al. (2021).
<b>Overall Greenness Performance (OGP)</b>	Evalúa de forma cuantitativa el grado de sostenibilidad de un proceso productivo, integrando múltiples indicadores ambientales, sociales y económicos en un índice único de desempeño. Es una jerarquía de métricas	OGP-VSM;	Muñoz-Villamizar et al. (2019).

Fundamento teórico	Aportes conceptuales y metodológicos	Variantes del GVSM asociadas	Autores que lo adoptan como base conceptual
	basada en lean que relaciona el consumo de recursos y las emisiones de residuos de una empresa con su nivel de producción.		
<b>Lean Quality</b>	Integra los principios de calidad total con el enfoque <i>Lean</i> , enfocándose en la reducción de defectos, la estandarización de procesos y la mejora continua de la calidad en cada etapa del flujo de valor. Permite a las empresas identificar los residuos y defectos para definir el programa de mejora para ser más sostenible	<i>Lean Quality</i> - SCMS; SVSM; SS-VSM; VSM y LCA; VSM4S; EVSM; Sus-VSM	Marie et al. (2022); Batwara et al. (2024); Etrada-Gonzalez et al. (2020); Silva et al. (2024b); Verma & Sharma (2021); Gholami et al. (2020); Yin Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Mishra et al. (2020).
<b>Cleaner Production</b>	Promueve una estrategia preventiva y proactiva aplicada a procesos, productos y servicios con el fin de aumentar la eficiencia y reducir riesgos para los humanos y el medio ambiente. Es útil para minimizar los residuos y reducir la contaminación ambiental, además, el proceso de CP también mejora la conciencia medioambiental tras adoptar un enfoque mejor y más preventivo que puede disminuir la generación y eliminación de residuos.	CPVSM; WFM; EVSM; VSM y LCA	Mohama et al. (2019); Ishak et al. (2019); Minh et al. (2019); Gholami et al. (2020); Hedlund et al. (2020).
<b>Six Sigma</b>	Filosofía enfocada en mejorar la calidad mediante la reducción de la variabilidad en los procesos y la eliminación de defectos. Utiliza herramientas estadísticas avanzadas para analizar el desempeño de los sistemas, aumentar la estabilidad operativa y garantizar productos y servicios con altos estándares de calidad.	LESSVSM; EVSM; Sus-VSM	Gholami et al. (2020); Verma et al. (2021); Jamil et al. (2020); Utama & Abifartin (2023).
<b>Lean Six Sigma</b>	Integra los enfoques <i>Lean</i> (eliminación de desperdicios y mejora continua) y <i>Six Sigma</i> (reducción de la variabilidad y mejora de la calidad), con el objetivo de optimizar procesos, mejorar el rendimiento y aumentar la satisfacción del cliente. La implementación de <i>Lean Six Sigma</i> en sostenibilidad mejora el desempeño económico y ambiental.	Sus-VSM; EVSM; LESSVSM;	Verma & Sharma (2021); Swarnakara et al. (2021); Utama & Abirfatirn (2023); Verma et al. (2021); Gholami et al. (2020); Jamil et al. (2020).
<b>Circular Economy</b>	Modelo económico regenerativo que propone sustituir el enfoque lineal de producción por uno circular, donde los materiales y recursos se mantienen en uso el mayor tiempo posible. Busca cerrar los ciclos de producto mediante estrategias de reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje, reduciendo así la generación de residuos y el impacto ambiental.	C-VSM; VSM y LCA	Mangers et al. (2023); Ghaziani et al. (2021); Batwara et al. (2023); Marquina et al. (2021); Hedlund et al. (2020); Masudin et al. (2025).
<b>Additive manufacturing</b>	Promueve la sostenibilidad al reducir desperdicios materiales y energéticos. Facilita la personalización del flujo de valor, mejora la trazabilidad, la eficiencia energética y permite adaptar el sistema productivo a diferentes condiciones.	Sus-VSM	Larsson & Ratnayake (2024).
<b>Internet of Things (IoT)</b>	Mejora la capacidad del GVSM para capturar datos en tiempo real, reducir incertidumbre y tomar decisiones más informadas. Facilita la	SS-VSM; GVSM; SVSM	Batwara et al. (2022) ; Batwara et al. (2024)

Fundamento teórico	Aportes conceptuales y metodológicos	Variantes del GVSM asociadas	Autores que lo adoptan como base conceptual
	supervisión continua del desempeño sostenible a través de sensores conectados, optimizando procesos y trazabilidad de los flujos de valor.		

### 5.2.3. Principales aplicaciones y enfoques metodológicos

A lo largo de la literatura se evidenciaron distintos estudios de caso en los que se involucraron diversas industrias manufactureras, adaptando y aplicando las variantes del GVSM de acuerdo con sus necesidades y particularidades. Por medio de un análisis se pudieron identificar diferentes hallazgos como el hecho de que el sector donde se implementa la herramienta influye directamente en la estructura, selección de indicadores y resultados esperados de la implementación. Como lo mencionan Saria et al. (2021), “las ponderaciones las determinan los expertos de las empresas de los casos estudiados. Por tanto, es necesario determinar el peso estándar de cada indicador para un sector específico”.

Por esta misma flexibilidad de la herramienta, la revisión de literatura identificó más de 40 industrias en las que se implementaban las diferentes variantes del GVSM, lo que demuestra su adaptabilidad a múltiples contextos manufactureros. Para facilitar el análisis de estos hallazgos, los sectores industriales se agruparon según sus características productivas o tipo de bien transformado en 6 grandes grupos sectoriales: químico y procesos, industria automotriz y de automotores, alimentos, agrícolas y derivados, reciclaje y circularidad ambiental, tecnologías avanzadas, electrónicas y energías renovables y la industria tradicional.

El sector automotriz, muestra una notable inclinación hacia enfoques sistemáticos de mejora continua, aquí la integración *Lean-Green* es protagonista. Por medio del estudio de Gohoungodji et al. (2020) se analizó que los principales impulsores de innovación sostenible en esta industria son la disponibilidad de recursos, comportamiento organizacional y presión del

mercado (Melin y Barth, 2020). El sector agroalimentario, enfatiza en la sensibilidad de la industria a las condiciones del entorno y la variabilidad de insumos, lo que condiciona el diseño y estructura del GVSM.

En cuanto al sector de manufactura química se incluyen industrias como la galvanoplastia, cromado y fabricación de productos como refrigeradores, donde las variantes del GVSM relacionadas a este grupo demostraron ser herramientas clave para mitigar impactos ambientales asociados al uso de químicos y recursos necesarios en los procesos productivos. Ahora, en el grupo de manufactura avanzada y tecnológica, se destacó el uso del GVSM como herramienta de diagnóstico sobre los impactos a lo largo del ciclo de vida de los productos, en cuanto a la selección de sus métricas clave se muestra una tendencia a aspectos como la innovación tecnológica, emisiones de carbono y la formación del personal.

Finalmente, dentro del grupo de reciclaje y circularidad se visualizó la implementación del GVSM en entornos productivos tradicionales, cadenas de logística inversa y procesos de recuperación energética. El estudio de Mangers et al. (2023) sobre reciclaje de botellas PET, integró indicadores que miden la eficiencia de cierre del ciclo de los materiales y la trazabilidad de los residuos, aspectos que no suelen ser prioridad en otros tipos de sectores.

El último grupo representado por las industrias tradicionales como la de astilleros, construcción y la fabricación de muebles, muestran al GVSM implementado con enfoques operativos orientados a la eficiencia. La **Tabla 4** presenta una recopilación de los grupos sectoriales manufactureros involucrados en esta revisión de literatura.

**Tabla 4***Sectores industriales de aplicación del GVSM*

<b>Sector industrial</b>	<b>Aspectos críticos (sociales/ambientales)</b>	<b>Variantes aplicadas (acrónimos)</b>	<b>Autores representativos</b>
<b>Automotriz</b>	Consumo energético y emisiones de gases GEI como principal foco ambiental, necesidad de innovación sostenible, formación del personal, balance entre productividad y sostenibilidad.	SVSM, OGP-VSM, WFM, EVSM	Saria et al. (2021); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Minh et al. (2019); Dewi et al. (2023); Swarnakara et al. (2021); Mishra et al. (2019); Shahbazi et al. (2019).
<b>Agroalimentario</b>	Impacto ambiental por residuos orgánicos y consumo de recursos como el agua, trazabilidad de la cadena productiva, condiciones laborales en zonas rurales, equilibrio entre seguridad alimentaria y sostenibilidad.	Sus-VSM, VSM y LCA, E-VSM, SustainSC-VSM	Putri et al. (2021); Ghaziani et al. (2023); Melin & Barth (2020); Estrada-Gonzalez et al. (2020); Utama & Abirfatin (2023); Masudin et al. (2025); Bancovich Erquínigo et al (2023); Gargalo et al. (2021); Djatna & Prasetyo (2019); Vostriakova et al. (2021).
<b>Procesos químicos y metalúrgicos</b>	Emisiones contaminantes y manejo de residuos peligrosos, consumo intensivo de energía y agua, condiciones laborales expuestas a químicos, cumplimiento de normativas ambientales.	CPVSM, Sus-VSM, GMVSM, LESSVSM	Chen et al. (2024); Mohama et al. (2019); Jamil et al. (2020); Zhu et al. (2020); Verma et al. (2021); Mubin et al. (2022).
<b>Manufactura avanzada y tecnología</b>	Uso intensivo de energía y recursos en este tipo de procesos, generación de residuos tecnológicos, necesidad de innovación sostenible, reducción de la huella ecológica sin sacrificar la calidad o rendimiento.	SVSM, X-VSM, 3SM, Socio-VSM	Marie et al. (2022); Bait et al. (2020); Larsson & Ratnayake (2024); Aouag & Soltani (2023); Ebrahimi et al. (2023); Gholami et al. (2020).
<b>Reciclaje y circularidad ambiental</b>	Eficiencia en la recuperación de materiales, gestión de residuos posconsumo, trazabilidad y control en el ciclo de vida del producto, reducción de emisiones.	CPVSM, C-VSM, GIVSM	Ishak et al. (2019); Mangers et al. (2023); Hedlun et al. (2020); Choudhary et al. (2019).
<b>Tradicional</b>	Desperdicios físicos visibles, baja tecnificación, eficiencia operativa como eje, falta de formación de las empresas en temas de sostenibilidad, dependencia de prácticas convencionales.	Sus-VSM, GVSM	Rosiani et al. (2024); Fitriadi & Mohamad (2025); Prayugo et al. (2021); Utama et al. (2022); Marie et al. (2022).

Con base en el análisis de la diversidad sectorial donde se ha aplicado la herramienta del GVSM, fue posible identificar patrones relevantes para construir un plan de acción metodológico más ajustado a la realidad de las industrias manufactureras.

El análisis de estos 50 artículos incluidos para la revisión de literatura ha permitido identificar la heterogeneidad del GVSM, la cual refleja la capacidad para adaptarse a diferentes contextos industriales y la falta de estandarización del proceso de su implementación. Es por ello

que esta sección presenta y analiza las metodologías más utilizadas, así como aquellas menos frecuentes, pero igualmente valiosas, evidenciando su aplicación práctica, industria en la que se implementa, variantes a las que está asociada y transversalmente, su relevancia para la construcción de la hoja de ruta sólida que oriente su implementación en las organizaciones.

La herramienta metodológica más empleada y destacada en la literatura es el *Traffic Light System (TLS)*, o también conocido como el sistema de semáforo. Esta técnica metodológica facilita la interpretación de la herramienta, clasificando los valores de eficiencia de los indicadores sostenibles a través de un sistema de clasificación de 3 colores: el rojo representa un rendimiento por debajo del objetivo, el amarillo señala la necesidad de mejora y el verde significa un rendimiento excelente del indicador y debe mantenerse (Rosiani et al., 2023). Los valores límites de aprobación para cada color se definen según la capacidad, objetivos y políticas de la organización, por ende, también el valor objetivo de cada indicador. Este tipo de clasificación no solo se aplica a los indicadores individuales de cada dimensión, sino también a los indicadores compuestos que miden el desempeño o desarrollo sostenible.

Es importante resaltar que muchos de los autores de la literatura analizada se basan en la metodología y estructura del modelo *SVSM desarrollado por Hartini et al. (2020)*, que implementa el TLS para clasificar el logro real de cada indicador y las acciones necesarias para su mejora (Saria et al., 2021). La integración de esta herramienta ha demostrado ser efectiva en cualquier industria, ya que su capacidad de adaptación flexible permite que no sea solo útil como un mecanismo de evaluación, sino también una guía para la toma de decisiones a favor de una mejora continua. Su fácil interpretación ayuda a la comunicación transversal del desempeño sostenible del proceso productivo, fomentando la participación de todo el personal involucrado, reforzando el compromiso organizacional con la sostenibilidad.

La participación del personal se hace efectiva gracias a otra de las metodologías implementadas para desarrollar el GVSM, denominada ***Focus Group Discussions (FGD)***. Esta herramienta cualitativa es implementada para integrar la experiencia, conocimiento y opiniones de los distintos actores de la organización, como los operarios, supervisores, líderes y directivos. Su uso es clave para adaptar el GVSM a las condiciones reales del proceso de producción, sobre todo en las fases de diagnóstico inicial para determinar los objetivos y enfoques de la empresa según sus necesidades, y al momento de construir y definir los mapas de flujo de valor actual y futuro.

Los indicadores de la manufactura sostenible se definen con base en las discusiones minuciosas de los grupos focales (Mubin et al., 2022), al igual que la fórmula para calcular la eficiencia de cada indicador (Rosiani et al, 2023). Asimismo, esta técnica metodológica es clave para facilitar las comparaciones por pares de los indicadores del TBL, por medio de una evaluación comparativa de los pesos de los indicadores y puestos de trabajo (Dewi et al, 2023), alcanzando una valoración coherente con lo propuesto en el diagnóstico inicial. Como lo evidencia Chen et al. (2024) los FGD también son muy eficaces para generar ideas de mejora y garantizar que el personal operativo se comprometa a implementarlas.

Otra de las metodologías más completas y estructuradas identificadas, que puede utilizarse como un buen complemento para la implementación del GVSM, es el ciclo ***DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)***, herramienta propia del enfoque ***Six Sigma***. Su aplicación ha sido esencial para superar una de las limitaciones más comunes del GVSM, la ausencia de una estructura secuencial y estandarizada que oriente su aplicación. Esta metodología se ha validado por su amplia aplicabilidad en diferentes contextos industriales. Según Utama y Aborfatin (2023), el ciclo DMAIC proporciona un enfoque estructurado para identificar y eliminar ineficiencias en los procesos de manufactura. De forma complementaria, Gholami et al. (2020) señalan que “este

modelo puede brindar a la herramienta del GVSM, una orientación explícita y holística, orientada a los proyectos, para la aplicación y cumplimiento de las iniciativas del Lean Green”.

Las metodologías DMAIC y *Lean Six Sigma sostenible* se combinan para mejorar el rendimiento eficiente y sostenible de la fabricación. La mayoría de los estudios DMAIC tienen como objetivo mejorar el rendimiento de la fabricación mediante la reducción de desperdicios (Utama & Abirfatin, 2023).

La noción de desperdicio es uno de los pilares de la filosofía *Lean manufacturing*, al igual que en la herramienta del VSM, y por ende, también en su adaptación sostenible: GVSM. Como lo definen Choudhary et al. (2019), las actividades que no agregan valor alguno al proceso operativo, a la cadena de suministro o a el cliente pueden considerarse desperdicio.

El enfoque más conocido para identificar y eliminar estas ineficiencias son los *siete tipos de desperdicio Lean*, identificados por el *sistema de producción Toyota (TPS)*, los cuales consisten en: transporte excesivo, inventario y movimiento, la existencia de tiempo de espera, reelaboración y sobreproducción y defectos (Vostriakova et al., 2021).

Como evolución natural de este enfoque, el GVSM ha incorporado también los *siete tipos de desperdicio Green*, que pueden ser útiles tanto para las evaluaciones medioambientales como las financieras (Choudhary et al., 2019). Estos desperdicios reconocidos por la *Global Reporting Initiative* (GRI) incluyen la energía, el agua, los materiales, residuos, transporte emisiones e impacto a la biodiversidad. Según Chen et al. (2024) la evaluación de estos tipos de residuos reveló los avances de la fábrica en sus esfuerzos por reducir las emisiones de carbono, ya que al centrarse en los residuos identificados, una empresa puede acelerar su transición para lograr una reducción integral de sus emisiones.

El uso de *técnicas de toma de decisiones multicriterio (MDCM)* ha sido recurrentemente mencionada en la revisión de literatura como complemento para el GVSM. Este tipo de herramientas permiten establecer la importancia relativa de los indicadores, alternativas y metodologías, a través de un sistema de ponderación. Tal como lo afirman Aouag y Soltani (2023), es necesario mejorar el enfoque del *Lean manufacturing* mediante el uso de otros métodos, como el MDCM, para resolver complejidades relacionadas con su proceso de aplicación.

Herramientas como el AHP, el modelo 5SEnSU, el ANP, el análisis DEMATEL, FUZZY, MCDAF, TOPSIS, Delphi, ELECTRE II, entre otras, han sido ampliamente utilizadas para ponderar indicadores, jerarquizar alternativas de mejora continua o asignar pesos relativos a puestos de trabajo. Entre las metodologías más aplicadas de este tipo se encuentra el *Proceso analítico jerárquico (AHP)*, en la mayoría de los casos de estudio ha sido aplicado para realizar comparaciones por pares entre los indicadores sostenibles, facilitando su ponderación mediante una escala de Saaty. Esta estrategia novedosa combina la capacidad de visualización de procesos del GVSM con la capacidad del AHP para priorizar y asignar pesos a múltiples métricas de sostenibilidad (Rosiani et al., 2023). Por otro lado, el peso de los indicadores mediante AHP también se utiliza como puntaje clave dentro de la evaluación de sostenibilidad de la manufactura (Mubin et al., 2022), lo que resalta su importancia para la toma de decisiones orientadas a la mejora continua y al desempeño sostenible de los procesos productivos.

En complemento, diversos artículos de la revisión han propuesto y aplicado diferentes metodologías para realizar el cálculo de un *tipo de índice global del nivel de sostenibilidad* de los procesos productivos a partir de los resultados del GVSM y sus indicadores inicialmente establecidos. Este tipo de índices cuantifican en forma conjunta el rendimiento sostenible, para compararlo entre alternativas de mejora, realizar el respectivo seguimiento y tomar decisiones

fundamentadas en este. Uno de los índices más utilizados es el *Manufacturing Sustainability Index (MSI)*, el cual es calculado con la consolidación de los indicadores sociales, económicos y ambientales y su eficiencia, junto también a la ponderación de los puestos de trabajo. Al igual que con los indicadores de cada dimensión de la sostenibilidad, este índice global suele ser clasificado por el *Traffic Light System (TLS)*, ya que al utilizarlo para clasificar índices MSI, las empresas manufactureras pueden supervisar su rendimiento sostenible de forma más eficaz y conocer la implementación de la fabricación sostenible de manera holística, facilitando también la toma de decisiones en cuanto a estrategias y acciones de mejora (Dewi et al., 2023).

Otros indicadores del mismo tipo implementados en esta revisión son: el *Green productivity Index (GPI)*, el *Eco-Indicator*, el *Manufacturing Sustainability Score (MSS)*, el *Sustainability Index (SI)*, el *modelo de evaluación del SI de Garbie*, entre otros. En general, todos los índices responden al mismo objetivo, una tendencia metodológica hacia la cuantificación global de la sostenibilidad. A pesar de diferir en sus fórmulas, unidades de análisis y métodos de cálculo, todos coinciden en su propósito fundamental de consolidar los resultados individuales del GVSM en un valor integral que facilite la interpretación y toma de decisiones.

Como complemento a este análisis, la **Tabla 5** consolidada los enfoques metodológicos y herramientas técnicas destacadas en la literatura.

Tabla 5

Matriz enfoques metodológicos del GVSM y sus aplicaciones.

Herramienta metodológica	Aportes clave en la aplicación del GVSM	Sector industrial en el que se haya aplicado la herramienta					Variante del GVSM que utilicen la herramienta	Autores que utilicen la herramienta	
		Automotriz	Agroalimentario	Químicos/metales	Tecnología	Reciclaje			Tradicional
<b>Traffic Light System (TLS)</b>	Facilita la evaluación visual y cuantitativa del rendimiento sostenible mediante escalas de colores que representan niveles de desempeño por dimensión del TBL. Apoya decisiones rápidas en entornos operativos al identificar de forma clara las áreas críticas del proceso. Su aplicación es útil para comunicar resultados complejos sobre el GVSM, de forma simple y comprensible para todos los niveles organizacionales.	X	X	X			X	SVSM; Sus-VSM	Dewi et al. (2023); Rosiani et al. (2024); Marie et al. (2022); Utama et al. (2022); Mubin et al. (2022); Saria et al. (2021); Utama & Abifartin (2023).
<b>Focus Group Discussions (FGD)</b>	Permite recopilar percepciones, experiencias y sugerencias de empleados, expertos o partes interesadas sobre los procesos actuales, indicadores relevantes y posibles mejoras sostenibles. Su uso es clave para adaptar el GVSM a las condiciones reales del proceso de producción, sobre todo en las fases del diagnóstico inicial para determinar los objetivos y enfoques de la empresa según sus necesidades.	X	X	X			X	SVSM; Sus-VSM	Dewi et al. (2023); Chen et al. (2024); Rosiani et al. (2024); Utama & Abifartin (2023); Mubin et al. (2022).
<b>Ciclo DMAIC</b>	Proporciona una estructura paso a paso (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) que facilita una implementación organizada del GVSM con enfoque en mejora continua. Su aplicación ha sido esencial para superar una de las limitaciones más comunes del GVSM, la ausencia de una estructura secuencial y estandarizada que oriente su aplicación.		X	X	X		X	Sus-VSM; EVSM; SVSM; LESSVSM	Chen et al. (2024); Marie et al. (2022); Gholami et al. (2020); Jamil et al. (2020); Utama & Abifartin (2023); Verma et al. (2021).
<b>Siete tipos de desperdicio Lean</b>	Ofrecen una base conceptual clave para identificar actividades que no agregan valor en los procesos productivos. Estos son: la sobreproducción, espera, transporte, sobreprocesamiento, inventario, movimiento y defectos. Se utilizan como guía para mapear el estado actual del proceso y detectar ineficiencias desde una perspectiva Lean.	X	X	X		X	X	CPVSM; SVSM; OGP-VSM; GVSM; Sus-VSM; EVSM; E-VSM; GMVSM	Chen et al. (2024); Marie et al. (2022); Ishak et al. (2019); Melin & Barth (2020); Muñoz-Villamizar (2019); Batwara et al. (2023); Zhu et al. (2020); Vostriakova et al. (2021); Choudhary et al. (2019).

Herramienta metodológica	Aportes clave en la aplicación del GVSM	Sector industrial en el que se haya aplicado la herramienta					Variante del GVSM que utilicen la herramienta	Autores que utilicen la herramienta	
		Automotriz	Agroalimentario	Químicos/metales	Tecnología	Reciclaje			Tradicional
<b>Siete tipos de desperdicio Green</b>	Adaptan los principios de los desperdicios tradicionales <i>Lean</i> al contexto ambiental. Identifican fuentes de impacto negativo como el consumo excesivo de energía, emisiones innecesarias, uso ineficiente de materiales, generación de residuos, exceso de recursos hídricos, contaminación y riesgos ambientales. Facilita el mapeo de aspectos ambientales críticos y orientar mejoras concretas hacia la reducción del impacto ecológico.			X		X	X	GVSM, GIVSM, EVSM	Chen et al. (2024); Choudhary et al. (2019); Gholami et al. (2020); Prayugo et al. (2021).
<b>Técnicas de toma de decisiones multicriterio (MDCM)</b>	Permiten analizar y jerarquizar múltiples criterios sostenibles (ambientales, sociales y económicos) al momento de priorizar procesos, indicadores o alternativas de mejora. En la literatura se mencionan diversas técnicas MCDM aplicadas en variantes del GVSM, como AHP, ANP, TOPSIS, ELECTRE-II y Fuzzy Logic, que han sido utilizadas para evaluar opciones de manera estructurada y justificar decisiones complejas. Este tipo de herramientas permiten establecer la importancia relativa de los indicadores, alternativas y metodologías, a través de un sistema de ponderación.	X	X		X		X	VSM4S; SVSM; Sus-VSM; SS-VSM	Silva et al. (2024b); Pattanaik et al. (2019); Batwara et al. (2024); Utama et al. (2022); Larsson et al. (2024); Aouag et al. (2023); Rosiani et al. (2024); Saria et al. (2021); Dewi et al. (2023); Yin Lee et al. (2021); Utama & Abifartin (2023); Mubin et al. (2022).
<b>Tipo de índice global del nivel de sostenibilidad</b>	Consiste en la construcción de un único valor agregado que representa el desempeño sostenible de un proceso, combinando múltiples indicadores de las dimensiones económica, ambiental y social. Su uso en la implementación del GVSM ha facilitado la comparación entre escenarios, líneas de producción o estados actual/futuro del proceso, permitiendo tomar decisiones más integrales y comunicar resultados sostenibles de forma clara y comprensible.	X	X		X		X	SVSM; VSM4S; GVSM; Sus-VSM	Marie et al. (2022); Saria et al. (2021); Utama et al. (2022); Silva et al. (2024b); Dewi et al. (2023); Prayugo et al. (2021); Utama & Abifartin (2023); Mubin et al. (2022).
<b>SIPOC</b>	Herramienta de mapeo de alto nivel que permite comprender y delimitar un proceso antes de detallarlo con el GVSM. Su estructura se compone de: Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes. En el GVSM ha sido utilizado como paso previo para garantizar que el mapeo se enfoque en		X					SLSS	Utama & Abifartin (2023).

Herramienta metodológica	Aportes clave en la aplicación del GVSM	Sector industrial en el que se haya aplicado la herramienta						Autores que utilicen la herramienta	
		Automotriz	Agroalimentario	Químicos/metales	Tecnología	Reciclaje	Tradicional		Variante del GVSM que utilicen la herramienta
	los procesos más relevantes, especialmente en industrias con procesos complejos o múltiples proveedores.								
<b>Life Cycle Assessment (LCA)</b>	Herramienta metodológica que permite evaluar de forma cuantitativa los impactos ambientales de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En combinación con el VSM, el LCA permite identificar puntos críticos y tomar decisiones más sostenibles sobre procesos, materiales o rediseños de flujo.	X	X	X		X		VSM y LCA, EVSM, WFM, Sus-VSM	Chen et al. (2024); Ghaziani et al. (2023); Estrada-Gonzalez (2020); Hedlund et al. (2020); Masudin et al. (2025); Shahbazi et al. (2019); Djatna & Prasetyo (2019).

Esta diversidad de enfoques metodológicos demuestra tanto la versatilidad del GVSM para ser aplicado en distintos contextos industriales, como su capacidad para integrar fundamentos conceptuales y técnicos que responden a los desafíos reales de la sostenibilidad en la manufactura. Esta misma adaptabilidad metodológica representa un insumo clave para el desarrollo de soluciones más integrales y efectivas en distintos sectores industriales.

#### 5.2.4. Métricas clave

Uno de los elementos fundamentales en la implementación de la herramienta del GVSM es la selección adecuada de las métricas sostenibles que permitan evaluar los impactos y residuos de las operaciones de la industria manufacturera desde un enfoque integral de la sostenibilidad. A partir de la revisión de literatura de los 50 artículos seleccionados en la lista A, se consolidó un conjunto de indicadores asociados según las dimensiones de la sostenibilidad en el TBL.

Las métricas clave utilizadas en esta herramienta de mapeo se seleccionan considerando su alineación con los objetivos de cada una de las dimensiones del TBL como referente base del GVSM y su aplicabilidad en entornos industriales reales. Esta selección es fundamental ya que, proporciona criterios objetivos y medibles para medir el desempeño de la sostenibilidad manufacturera (Utama & Abirfatin, 2023).

La **Tabla 6** presenta una síntesis de los principales indicadores identificados en los distintos estudios, los cuales fueron seleccionados con base en la literatura, la validación por expertos y su aplicación en diferentes entornos industriales reales.

**Tabla 6**

*Síntesis principales indicadores aplicados en el GVSM*

Categorías	Indicadores identificados	Variantes del GVSM que los aplican	Autores que los reportan en sus estudios
<b>Dimensión económica</b>			
Costos	Costo material, costos de producción, costo energético, costo logístico por km, costos operativos por reprocesos, costos laborales directos e indirectos, costo de inventario de MP, costo por tratamiento de residuos, costos de mejora <i>Lean &amp; Green</i> , depreciación de máquinas e instalaciones.	Sus-VSM, SVSM, VSM4S, X-VSM, EFM, CPVSM, GVSM, SS-VSM, SustainSC-VSM	Fitriadi & Mohamad (2025); Chen et al. (2024); Rosiani et al. (2024); Saria et al. (2021); Putri et al. (2021); Bait et al. (2020); Bertagnolli et al. (2021); Estrada-Gonzalez (2020); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2023); Dewi et al. (2023); Swarnakara et al. (2021); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020), Utama & Abirfatin (2023); Larsson et al. (2024); Aouag & Soltani (2023); Hedlund et al. (2020); Masudin et al. (2025), Shahbazi et al. (2019); Dos Santos et al. (2019); Gargalo et al. (2021); Ebrahimi et al. (2023).
Tiempos	Tiempo de ciclo, <i>takt time</i> , tiempo de cambio, tiempo de entrega, <i>lead time</i> .	Sus-VSM, CPVSM, SVSM, VSM4S, OGP-VSM, GVSM, SS-VSM, GMVSM, E-VSM, SustainSC-VSM, GIVSM	Rosiani et al. (2024); Marie et al. (2022); Ishak et al. (2019); Saria et al. (2021); Putri et al. (2021); Silva et al. (2024b); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Batwara et al. (2023); Dewi et al. (2023); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Utama & Abirfatin (2023); Hernandez Marquina et al. (2021); Masudin et al. (2025); Zhu et al. (2020); Bancovich Erquínigo et al. (2023); Gargalo et al. (2021); Vostriakova et al. (2021); Mubin et al. (2022); Choudhary et al. (2019); Mishra et al. (2019).
Calidad	DPMO, calidad del producto, tasa de defectos, cumplimiento de entregas.	SVSM, SustainSC-VSM, LeanQuality-SCMS, E-VSM	Rosiani et al. (2024); Marie et al. (2022); Saria et al. (2021); Putri et al. (2021); Dewi et al. (2023); Gholami et al. (2020); Utama et al. (2022); Gargalo et al. (2021); Mubin et al. (2022); Choudhary et al. (2019).
Inventario	Inventario, trabajo en proceso, productos terminados.	Sus-VSM, SVSM, <i>Lean Quality</i> -SCMS, GVSM	Rosiani et al. (2024); Marie et al. (2022); Saria et al. (2021); Batwara et al. (2024); Dewi et al. (2023), Swarnakara et al. (2019); Mishra et al. (2019).
Eficiencia	VA/NVA, <i>Process Cycle Efficiency</i> (PCE), <i>value stream efficiency</i> (%), <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE), porcentaje de desperdicio, flexibilidad.	Sus-VSM, CPVSM, OGP-VSM, GVSM, E-VSM, GMVSM, LESSVSM	Verma & Sharma (2019); Fitriadi & Mohamad (2023); Rosiani et al. (2024); Ishak et al. (2019); Silva et al. (2024b); Pattanaik et al. (2019); Batwara et al. (2024); Swarnakara et al. (2019); Gholami et al. (2020); Lee et al.

Categorías	Indicadores identificados	Variantes del GVSM que los aplican	Autores que los reportan en sus estudios
			(2021); Larsson et al. (2024); Shahbazi et al. (2019); Ebrahimi et al. (2023); Choudhary et al. (2019); Mishra et al. (2019).
<b>Dimensión social</b>			
Salud y seguridad	Tasa de accidentes, condiciones de salud y seguridad en el trabajo, nivel de ruido, exposición a químicos, ergonomía, riesgo del ambiente de trabajo	Sus-VSM, CPVSM, VSM4S, X-VSM, GVSM, SS-VSM, Socio-VSM	Fitriadi & Mohamad (2023); Marie et al. (2022); Ishak et al. (2019); Putri et al. (2021); Silva et al. (2024b); Bait et al. (2020); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2023); Swarnakara et al. (2019); Lee et al. (2021); Utama & Abirfatim (2023); Hernández Marquina et al. (2021); Aourag & Soltani (2023); Shahbazi et al. (2019); Djatna & Prasetyo (2019).
Condiciones laborales	Nivel salarial, carga mental, carga física, formación de los empleados, estabilidad del empleo a cambios tecnológicos, condiciones de trabajo, disponibilidad de mano de obra, ausentismo, participación de los empleados, diversidad.	Sus-VSM, CPVSM, VSM4S, GVSM, SS-VSM, E-VSM, Socio-VSM	Rosiani et al. (2024); Ishak et al. (2019); Saria et al. (2021); Silva et al. (2024b); Bertagnolli et al. (2021); Pattanaik et al. (2019); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2024); Dewi et al. (2023); Gholami et al. (2020); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Utama & Abirfatim (2023); Larsson et al. (2024); Djatna & Prasetyo (2019) Mubin et al. (2022); Mishra et al. (2019).
Bienestar	Bienestar y satisfacción del personal, beneficios sociales, compromiso y motivación laboral, clima organizacional proactivo, nivel de satisfacción del trabajador.	SVSM, GVSM, SS-VSM, E-VSM, Socio-VSM	Rosiani et al. (2024); Marie et al. (2022); Saria et al. (2021); Silva et al. (2024b); Batwara et al. (2024); Dewi et al. (2023); Swarnakara et al. (2019); Gholami et al. (2020); Lee et al. (2021); Larsson et al. (2024); Aouag & Soltani (2023); Bancovich Erquínigo et al. (2023); Shahbazi et al. (2019); Ebrahimi et al. (2023).
<b>Dimensión ambiental</b>			
Residuos	Reciclaje de residuos, tasa de desperdicios, consumo de residuos peligrosos, porcentaje de residuos clasificados	CPVSM, SVSM, C-VSM, X-VSM, GVSM, SS-VSM, E-VSM, SustainSC-VSM	Marie et al. (2022); Ishak et al. (2019); Verma & Sharma (2019); Saria et al. (2021); Mangers et al. (2023); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2024); Swarnakara et al. (2019); Gholami et al. (2020); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Prayugo et al. (2021); Utama et al. (2022); Larsson et al. (2024); Masudin et al. (2025); Zhu et al. (2020); Shahbazi et al. (2019); Gargalo et al. (2021); Vostriakova et al. (2021).
Emisiones	Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contaminación del aire, huella de carbono, acidificación.	Sus-VSM, VSM4S, EFM, OGP-VSM, CPVSM, GVSM, SS-VSM, E-VSM, GMVSM, SustainSC-VSM, GIVSM	Chen et al. (2024); Rosiani et al. (2024); Ishak et al. (2019); Saria et al. (2021); Silva et al. (2024b); Bertagnolli et al. (2021); Estrada-Gonzalez et al. (2020); Pattanaik et al. (2019); Muñoz- Villamizar et al. (2019); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2023); Swarnakara et al. (2019); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Prayugo et al. (2021); Utama et al. (2022); Aouag & Soltani (2023); Hedlund et al. (2020); Masudin et al. (2025); Zhu et al. (2020); Shahbazi et al. (2019); Gargalo et al. (2021); Choudhary et al. (2019); Mishra et al. (2019).
Consumo de recursos	Consumo de energía, eficiencia energética operativa, consumo de combustibles fósiles, energía con y sin valores agregado (eva/enva), consumo de aguas, control de materias, agotamiento de recursos naturales	Sus-VSM, CPVSM, SVSM, VSM4S, C-VSM, X-VSM, EFM, OGP-VSM, GVSM, SS-VSM, E-VSM, LESSVSM, EVSM	Fitriadi & Mohamad (2025); Chen et al. (2021); Rosiani et al. (2024); Marie et al. (2022); Ishak et al. (2019); Verma & Sharma (2019); Saria et al. (2021); Putri et al. (2020); Mangers et al. (2023); Bait et al. (2020); Bertagnolli et al. (2021); Estrada-Gonzalez et al. (2020); Pattanaik et al. (2019); Muñoz- Villamizar et al. (2019); Batwara et al. (2023); Dewi et al. (2023); Swarnakara et al. (2019); Gholami et al. (2020); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Prayugo et al. (2021); Utama et al. (2022);

Categorías	Indicadores identificados	Variantes del GVSM que los aplican	Autores que los reportan en sus estudios
			Larsson et al. (2024); Hernández Marquina et al. (2021); Aouag & Soltani (2023); Hedlund et al. (2020); Masudin et al. (2025); Bancovich Erquinigo et al. (2023); Shahbazi et al. (2019); Gargalo et al. (2021); Djanta & Prasetyo (2019); Vostriakovaa et al. (2021); Mubin et al. (2022).

Es evidente la diversidad y cantidad de indicadores identificados para cada una de las dimensiones de la sostenibilidad. El análisis de los mismos permitió constatar varios hallazgos clave sobre la manera en que estos son seleccionados, aplicados y evaluados en la literatura revisada. En primer lugar, se destaca que la dimensión social es la menos desarrollada dentro de la literatura, tanto en la identificación de indicadores como en la profundidad de su análisis. Esta situación representa una limitación importante considerando que “la sostenibilidad implica la evaluación de los impactos sociales y ambientales teniendo en cuenta los intereses de todas las partes interesadas implicadas en la fabricación; además se determinó que los empleados son el grupo de partes más afectado” (Gholami et al., 2019).

Ante esta oportunidad de mejora, el presente análisis se propuso identificar y sistematizar las distintas métricas sociales aplicadas en aquellos estudios que sí consideran este pilar de la sostenibilidad dentro de sus propuestas metodológicas. Esta recopilación sirve como base para promover un enfoque verdaderamente integral en el GVSM, por medio de la hoja de ruta propuesta, que busca considerar de forma equilibrada los aspectos sociales, económicos y ambientales en los procesos de producción.

En segundo lugar, a lo largo de la revisión se evidenció reiteradas veces que no todos los estudios logran incorporar simultáneamente las tres dimensiones del TBL. Varias variantes del GVSM incorporaban entre una o dos de estas, sin embargo, hubo excepciones que propusieron una cuarta dimensión complementaria. Por medio de esta revisión de literatura se recuerda una y

otra vez que la selección de los indicadores puede variar en función del sector, la organización y los objetivos de sostenibilidad que se persigan, lo que explica por qué ha sido difícil establecer un marco metodológico estandarizado para la aplicación de esta herramienta, dado que, las prácticas sostenibles que son vitales en una industria pueden no ser tan significativas en otra (Batwara et al., 2023).

Un ejemplo de este hallazgo es que los autores Batwara et al. (2024) recomiendan para las organizaciones el uso del *Smart Sustainable Value Stream Mapping* (SS-VSM), identificando cuidadosamente los indicadores alineados con sus objetivos estratégicos. Por esto, proponen implementar una nueva dimensión vinculada al contexto de la industria IoT y la digitalización, que contempla indicadores como el flujo de información digital e indicadores de rendimiento digital.

Asimismo, otro ejemplo relevante es el estudio de Hernández Marquina et al. (2021), quienes adaptan el GVSM incluyendo criterios de evaluación propios de los sistemas circulares. Por lo tanto, su propuesta agrupa los aspectos a medir en cuatro dimensiones: los tres pilares tradicionales de la sostenibilidad (económico, social y ambiental) y un pilar adicional de indicadores circulares, basados en los conceptos de longevidad y circularidad.

Por último, se identificó que en la mayoría de los artículos analizados, los indicadores sostenibles no tienen en cuenta las posibles interdependencias entre ellos en la evaluación del rendimiento de la fabricación sostenible (Dewi et al., 2023), limitando la capacidad de la herramienta de identificar como una mejora en un indicador puede influir en otro, ya sea positiva o negativa. Esta situación dificulta la toma de decisiones integral y alineada con los principios de la sostenibilidad, por ello, se refuerza la necesidad de una hoja de ruta metodológica que permita estructurar su aplicación de manera articulada entre indicadores.

### 5.3. Hallazgos clave sobre el GVSM: beneficios, limitaciones y tendencias

En esta sección se identifican los principales beneficios del *Green Value Stream Mapping* partiendo del análisis exhaustivo de los artículos seleccionados, con el objetivo de determinar su impacto en la sostenibilidad empresarial. También se abordan las limitaciones más frecuentes y las tendencias comunes que orientan futuras mejoras.

#### 5.3.1. Beneficios del GVSM

El *Green Value Stream Mapping* (GVSM) se posiciona como una herramienta clave para avanzar hacia modelos productivos sostenibles, al permitir una visualización integral de los flujos de materiales, información y energía. Esta representación facilita la detección de ineficiencias y actividades sin valor, apoyando decisiones más informadas y promoviendo una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad.

En la dimensión económica, el GVSM ha demostrado ser una herramienta eficaz para **reducir costos operativos** mediante la reorganización de flujos logísticos y de residuos, lo cual permite disminuir costos relacionados con mano de obra, transporte y disposición final de materiales (Minh et al., 2019). Igualmente, la identificación y eliminación de actividades sin valor agregado favorece una gestión más eficiente del uso de insumos, energía y materia prima, generando ahorros sostenidos a largo plazo (Gholami et al., 2020; Choudhary et al., 2019). Además, su aplicación ha impulsado prácticas complementarias como el rediseño de procesos, la estandarización operativa y la integración de proveedores locales, lo que contribuye a mejorar la eficiencia en los costos de producción y a fortalecer la competitividad de las empresas en mercados sensibles tanto al precio como a la sostenibilidad.

Asimismo, el GVSM ha demostrado ser efectivo para **mejorar la productividad** industrial mediante la reducción de reprocesos, defectos y sobreprocesamiento. Esto se obtiene al identificar

ineficiencias en el flujo de valor e integrar herramientas *Lean* priorizadas con métodos multicriterio como AHP y ELECTRE-II (Pattanaik et al., 2019). Además, su combinación con enfoques como DMAIC y modelos basados en entropía permite controlar la variabilidad y diseñar procesos más estables y eficientes (Verma et al., 2021; Verma & Sharma, 2021), fortaleciendo el desempeño operativo y reduce pérdidas asociadas a fallas en la producción.

Del mismo modo, la implementación del GVSM se ha asociado con la **reducción de los tiempos de ciclo** al permitir la identificación de inefficiencias como pérdidas de velocidad, reprocesos y tiempos muertos. Su integración con herramientas como el LCA, los 5 porqués y el AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos) simplifican la localización de causas raíz y la aplicación de mejoras que optimizan el ritmo de producción (Djatna et al, 2019).

Igualmente, la herramienta permite observar zonas de acumulación o bloqueo dentro del flujo de valor, facilitando la **reducción de cuellos de botella** por medio del rediseño de procesos y una mejor asignación de recursos. En enfoques como el SS-VSM, se incluyen tecnologías inteligentes que permiten identificar cuellos de botella en tiempo real y ajustar dinámicamente las operaciones para mantener la fluidez del sistema (Batwara et al., 2024).

El GVSM favorece **ahorros a largo plazo** al fomentar ciclos de mejora continua que reducen residuos y optimizan recursos de forma progresiva. Su integración con metodologías como DMAIC y herramientas multicriterio permiten establecer mapas de estado futuro, aplicar controles estadísticos y priorizar acciones que impactan directamente en el consumo energético, la sobreproducción y el uso eficiente de materiales (Jamil et al., 2020; Aouag & Soltani, 2023).

También, contribuye a una **toma de decisiones financieras más informada** al integrar indicadores económicos, ambientales y sociales en el análisis de desempeño. Herramientas como simuladores y lógica difusa permiten anticipar escenarios, comparar alternativas y priorizar

inversiones con base en datos reales, lo que reduce la incertidumbre y mejora la eficiencia en la gestión de recursos (Batwara et al., 2024; Mishra et al., 2019).

A su vez, **aumenta la competitividad** empresarial al facilitar decisiones estratégicas basadas en datos que mejoran la eficiencia y reducen impactos ambientales. Su aplicación, respaldada por simulaciones y herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida (ACL), permiten optimizar procesos y alinear la producción con criterios sostenibles (Mishra et al., 2019; Masudin et al., 2025), fortaleciendo la posición de las empresas en mercados donde la sostenibilidad es un factor diferenciador y mejorando así su desempeño económico y su reputación corporativa.

En términos ambientales, uno de los beneficios más destacados es la **reducción en el consumo de energía y agua**. La aplicación del GVSM en diferentes contextos ha permitido identificar etapas del proceso con consumos innecesarios y establecer estrategias específicas para minimizar estos desperdicios. En varios estudios se ha demostrado que su integración con metodologías *Lean*, *Green*, *Six Sigma*, así como herramientas multicriterio y tecnologías inteligentes, facilita la detección de estos consumos y la posterior optimización de los recursos sin dejar de lado el rendimiento operativo (Verma & Sharma, 2021; Marie et al., 2022; Dewi et al., 2023).

Además de optimizar el uso de recursos, el GVSM ayuda significativamente en la **reducción de emisiones contaminantes y la generación de residuos**. Mediante la construcción del estado futuro, la integración de herramienta *Lean-Green* y el análisis del inventario de carbono, esta metodología permite identificar las principales fuentes de impacto ambiental y proponer estrategias de mitigación relacionados al consumo de energía, transporte y materiales contaminantes. Su alcance se amplía al incorporar enfoques complementarios como gemelos digitales adaptados a la economía circular y revisiones sistemáticas del desempeño ambiental, que

facilitan la anticipación de escenarios, el rediseño de productos y la minimización de impactos en etapas clave del ciclo de vida. (Gholami et al., 2020 ; Chen et al., 2024 ; Mangers et al., 2023 ; Lee et al., 2021).

Otro aporte relevante del GVSM es su contribución a la **reciclabilidad de materiales** y la **incorporación de economía circular** en los procesos productivos. Esta herramienta ha facilitado la determinación de oportunidades para el aprovechamiento de recursos y la reutilización de componentes a lo largo del ciclo de vida del producto (Mangers et al., 2023). En algunos estudios se propone ampliar el alcance del VSM tradicional para añadir etapas posteriores a la vida útil, como el reciclaje, la reutilización o la disposición final, transformando los residuos en oportunidades de negocio (Bancovich Erquínigo et al., 2023). Adicionalmente, se han utilizado indicadores relacionados a las estrategias 3R (reducir, reutilizar, reciclar) para evaluar y rediseñar procesos que combinan las prácticas *Lean* con principios de circularidad (Saria et al., 2021)

También ayuda al **cumplimiento regulatorio y normativo** en contextos donde las exigencias ambientales son cada vez más estrictas. Los estudios destacan que el seguimiento del consumo energético y el manejo eficiente de residuos mediante el GVSM no solo mejora el desempeño ambiental interno, sino que permite cumplir con normativas como la ISO 50001 y otras regulaciones locales e internacionales (Petrenko et al., 2020; Minh et al., 2019). Ignorar esos marcos regulatorios trae consigo sobrecostos y baja competitividad.

Igualmente, las herramientas *Lean* han demostrado ser útiles para rediseñar rutas, clasificar residuos, reducir costos y apoyar decisiones alineadas con regulaciones ambientales y expectativas de organismos como ONG y consumidores (Muñoz-Villamizar et al., 2019; Gholami et al., 2019). En este sentido, enfoques como el Socio-VSM o el E-VSM, integrados con *Lean-Green-Six Sigma*, han permitido adaptar los procesos a marcos regulatorios exigentes (Verma & Sharma, 2021;

Gholami et al., 2020). Incluso organismos como la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU) han promovido el uso del GVSM para reducir impactos ambientales. En sectores como la industria automotriz las regulaciones se han convertido en motor clave en su adopción (Batwara et al., 2023), posicionando al GVSM no solo como una herramienta de sostenibilidad, sino también como apoyo para garantizar el cumplimiento normativo y la legitimidad organizacional.

Finalmente, el GVSM promueve una **visión ambiental integral** al facilitar la evaluación conjunta de las dimensiones económica, ambiental y social de la sostenibilidad. Esta herramienta permite mapear procesos considerando indicadores como consumo energético, carga física del operario y eficiencia operativa, lo que favorece un análisis equilibrado e interdisciplinario (Rosiani et al., 2024). En enfoques como el SS-VSM, se han incorporado técnicas como Fuzzy PSI para integrar simultáneamente el rendimiento operativo con los impactos sociales y ambientales (Batwara et al., 2024). Además, diversos estudios han resaltado el valor del VSM orientado a la sostenibilidad, al consolidar el enfoque del triple resultado en la evaluación de procesos productivos (Lee et al., 2021).

En la dimensión social, la menos desarrollada en comparación con las otras, el GVSM ha demostrado contribuir a la **mejora en la salud y seguridad laboral**. Varios estudios destacan su utilidad para identificar y reducir riesgos laborales como exposición al ruido, posturas forzadas y problemas ergonómicos, mediante el uso de herramientas como REBA, OWAS y evaluaciones de carga física (Gholami et al., 2019; Jamil et al., 2020). Asimismo, se han añadido variables como las condiciones del entorno, el nivel de ruido y la formación de los trabajadores dentro de los indicadores de sostenibilidad, lo que refuerza la capacidad del GVSM para integrar la seguridad ocupacional en el análisis de valor (Marie et al., 2022).

Del mismo modo, sobresale el impacto positivo del GVSM en la **satisfacción y bienestar del trabajador**, vinculado a otro beneficio importante: **la evaluación y reducción de la carga física y mental**. La herramienta permite determinar exigencias físicas y cognitivas asociadas a cada estación de trabajo, facilitando ajustes que reflejan el compromiso organizacional con la salud ocupacional. Esta mejora se ha relacionado con un incremento en la motivación, desempeño y condiciones laborales. Estudios han demostrado cómo la aplicación del GVSM, en combinación con métricas sociales y herramientas de análisis ergonómico, permiten identificar factores que afectan la productividad, rediseñar estaciones de trabajo y reducir riesgos musculoesqueléticos y ambientales sin afectar la eficiencia operativa (Rosiano et al., 2024; Dewi et al., 2023; Gholami et al., 2019).

Dentro de los beneficios sociales se destaca otro aspecto relevante: **la mejora en la imagen corporativa**: Aunque este beneficio presenta conexiones con las dimensiones económica y ambiental, se clasifica principalmente como un aporte social debido a su impacto en la percepción externa de la organización. La integración de herramientas como el SVMS junto con metodologías como DMAIC, ha demostrado fortalecer la imagen de las empresas frente a grupos de interés, sobre todo en contextos que exigen altos estándares de sostenibilidad (Marie et al., 2022). Esto soporta investigaciones previas que señalan que la adopción de enfoques *Lean-Green* contribuyen al rendimiento del Triple Resultado (TBL) y a una mejor reputación corporativa. De modo complementario, modelos como el VSM4S destacan que incorporar la sostenibilidad en el análisis de flujo de valor mejora la imagen de las organizaciones y facilita el acceso a mercado exigentes.

En síntesis, los beneficios del GVSM contribuyen directamente al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), consolidándolo como una herramienta clave para impulsar la sostenibilidad organizacional. Los aportes en eficiencia, productividad y reducción de

costos se alinean con el ODS 9, al promover procesos industriales más innovadores y sostenibles. Las mejoras en tiempo de ciclo, uso de recursos y reciclabilidad refuerzan el ODS 12, mientras que la mitigación de emisiones y el cumplimiento normativo respaldan el ODS 13. Finalmente, los beneficios sociales, como la mejora en la salud, seguridad y bienestar laboral se relacionan con el ODS 8, al fomentar condiciones de trabajo más seguras y dignas. Así, el GVSM no solo optimiza procesos, también fortalece el compromiso de las organizaciones con el desarrollo sostenible.

A continuación, la **tabla 7** resume los beneficios del GVSM, organizados según la dimensión del enfoque *Triple Bottom Line* (TBL) a la que corresponden.

**Tabla 7**

*Síntesis beneficios del GVMS*

Beneficio	Dimensión enfoque TBL	Autores
<b>Reducción de costos operativos:</b> Identificación de desperdicios y reorganización de procesos para optimizar recursos y reducir gastos.	Económica	Minh et al. (2019); Gholami et al. (2020); Choudhary et al. (2019); Prayugo & Zhong (2021); Hedlund et al. (2020); Chen et al. (2024); Saria et al. (2021); Verma et al. (2021); Fitriadi & Mohamad (2023); Verma & Sharma (2019); Estrada-González et al. (2020).
<b>Mejoras en la productividad:</b> Disminución de reprocesos y defectos mediante herramientas <i>Lean</i> y metodologías avanzadas, elevando la eficiencia operativa.	Económica	Verma et al. (2021); Verma & Sharma (2021); Pattanaik et al. (2019); Lee et al. (2021); Zhu et al. (2019); Marica et al. (2022); Saria et al. (2021); Estrada-González et al. (2020); Swarnakara et al. (2021); Prayugo & Zhong (2021); Utama et al. (2022); Larsson & Ratnayake (2024); Bancovich Erquínigo et al. (2023); Vostriakova et al. (2021); Mubin et al. (2022); Putri et al. (2021); Bertagnolli et al. (2021); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Minh et al. (2019).
<b>Reducción de tiempos de ciclo:</b> Eliminación de tiempos muertos e ineficiencias mediante análisis de causas raíz, acelerando el flujo productivo	Económica	Djatna et al. (2019); Gargalo et al. (2021); Fitriadi & Mohamad (2025); Rosiani et al. (2023); Marica et al. (2022); Gholami et al. (2020); Ebrahimi et al. (2023).
<b>Reducción cuellos de botella:</b> Visualización y rediseño de procesos con acumulaciones para optimizar la fluidez productiva.	Económica	Batwara et al. (2024); Rosiani et al. (2024); Ishak et al. (2019); Gargalo et al. (2021); Masudin et al. (2025); Shahbazi et al. (2024).
<b>Ahorros a largo plazo:</b> Mejoras sostenidas mediante eliminación continua de residuos y optimización del uso de recursos.	Económica	Jamil et al. (2020); Aouag y Soltani (2023); Gholami et al. (2020); Bertagnolli et al. (2021); Lee et al. (2021); Mishra et al. (2019); Swarnakara et al. (2021).
<b>Toma de decisiones financieras informada:</b> Simulación y análisis inteligente para anticipar impactos,	Económica	Batwara et al. (2024); Mishra et al. (2019); Lee et al. (2021); Utama & Abirfatin (2023); Hernandez Marquina et al. (2021); Masudin et al. (2025); Shahbazi et al. (2019); Gargalo et al. (2020); Rosiani et al.

Beneficio	Dimensión enfoque TBL	Autores
optimizar inversiones y reducir incertidumbre.		(2024); Ghaziani et al. (2023); Swarnakara et al. (2021); Estrada-González et al. (2020).
<b>Aumento de la competitividad:</b> Decisiones basadas en datos que reducen costos, optimizan procesos y fortalecen el posicionamiento en mercados sostenibles.	Económica	Mishra et al. (2019); Masudin et al. (2025); Gholami et al. (2020); Silva et al. (2024b); Estrada-González et al. (2020); Batwara et al. (2024); Swarnakara et al. (2021); Utama & Abirfatin (2023); Gargalo et al. (2021); Choudhary et al. (2019); Verma & Sharma (2019); Dewi et al. (2023).
<b>Reducción en el consumo de energía y agua:</b> Identificación de ineficiencias y aplicación de tecnologías para optimizar el uso de recursos.	Ambiental	Verma & Sharma (2021); Verma et al. (2021); Marie et al. (2022); Rosiani et al. (2024); Dewi et al. (2023); Verma & Sharma (2019); Fitriadi & Mohamad (2025); Chen et al. (2024); Putri et al. (2021); Fitriadi & Mohamad (2023).
<b>Reducción de emisiones contaminantes y generación de residuos:</b> Identificación de puntos críticos y rediseño de procesos para disminuir impactos ambientales.	Ambiental	Gholami et al. (2020); Chen et al. (2024); Mangers et al. (2023); Lee et al. (2021); Jamil et al. (2020); Prayugo & Zhong (2021); Utama & Abirfatin (2023); Mariea et al. (2022); Minh et al. (2019); Batwara et al. (2024); Zhu et al. (2019); Bancovich Erquínigo et al. (2023); Verma et al. (2021); Mangers et al. (2023); Bait et al. (2020); Bertagnolli et al. (2021).
<b>Reciclabilidad de materiales y la economía circular:</b> Identificación de oportunidades de reciclaje y reutilización para integrar la circularidad en los procesos.	Ambiental	Mangers et al. (2023); Bancovich Erquínigo et al. (2023); Sari et al. (2021); Prayugo y Zhong (2021); Gholami et al. (2020); Hernandez Marquina et al. (2021); Hedlund et al. (2020); Masudin et al. (2025).
<b>Visión ambiental integral:</b> Evaluación del desempeño sostenible desde las tres dimensiones del enfoque TBL (económica, social y ambiental).	Ambiental	Rosiani et al. (2024); Batwara et al. (2024); Lee et al. (2021); Zhu et al. (2019); Larsson & Ratnayake (2024); Swarnakara et al. (2021); Gholami et al. (2020); Prayugo & Zhong (2021); Utama et al. (2022); Hernandez Marquina et al. (2021); Aouag & Soltani (2023); Gargalo et al. (2021); Djatna & Prasetyo (2019); Mangers et al. (2023); Ghaziani et al. (2023); Dewi et al. (2023).
<b>Cumplimiento regulatorio y normativo:</b> Beneficia la alineación de los procesos con normativas ambientales, fortaleciendo la legitimidad organizacional.	Ambiental	Verma & Sharma (2021); Gholami et al. (2020); Jamil et al. (2020); Batwara et al. (2022); Petrenko et al. (2020); Minh et al. (2019); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Gholami et al. (2019); Ghaziani et al. (2021); Choudhary et al. (2019); Masudin et al. (2025); Mariea et al. (2022); Saria et al. (2021); Ghaziani et al. (2023); Mohama et al. (2019).
<b>Mejora en la salud y seguridad laboral:</b> Identificación riesgos laborales y aplicación de mejoras ergonómicas que promueven entornos de trabajo más seguros.	Social	Jamil et al. (2020); Marie et al. (2022); Gholami et al. (2019); Mohama et al. (2019); Lee et al. (2021); Rosiani et al. (2024).
<b>Satisfacción y bienestar del trabajador:</b> Mejoras en el ambiente laboral y promueve una mayor motivación y desempeño del personal.	Social	Dewi et al. (2023); Gholami et al. (2019); Lee et al. (2021); Utama & Abirfatin (2023); Fitriadi & Mohamad (2023); Mohama et al. (2019).

Beneficio	Dimensión enfoque TBL	Autores
<b>Evaluación y reducción de la carga física y mental:</b> Identificación y disminución de exigencias laborales que afectan el rendimiento y la salud del trabajador.	Social	Rosiani et al. (2024); Aouag & Soltani (2023).
<b>Mejora en la imagen corporativa:</b> Fortalecimiento de la reputación y el posicionamiento de las organizaciones en mercados con alta exigencia en sostenibilidad.	Social- Económica	Marie et al. (2022); Silva et al. (2024b); Utama & Abirfatin (2023); Larsson & Ratnayake (2024).

### 5.3.2. Limitaciones del GVMS

Como se mencionó anteriormente, la implementación del *Green Value Stream Mapping* trae múltiples beneficios; no obstante, también enfrenta limitaciones metodológicas, técnicas y contextuales que dificultan su aplicabilidad y alcance. Una de las más destacadas identificadas en esta revisión sistemática es el **insuficiente desarrollo y atención que se le da a la dimensión social** dentro de sus aplicaciones. Aunque el concepto de sostenibilidad se basa en el equilibrio entre los pilares económico, ambiental y social, la mayoría de los artículos analizados enfatizan los dos primeros, dejando a un lado aspectos igualmente importantes, como lo son el bienestar de los trabajadores, la igualdad laboral y las condiciones de trabajo. Incluso cuando estos se mencionan, se abordan de forma superficial, reforzando la brecha metodológica existente y limitando la capacidad del GVSM para diagnosticar de forma integral los procesos organizacionales.

Esta omisión se observa tanto en sectores de alta exigencia física como en contextos tecnificados, donde los indicadores sociales siguen estando ausentes, a pesar de los avances en herramientas y marcos metodológicos. La falta de variables relacionadas con la salud ocupacional, la carga física y mental, o el entorno laboral, limita el potencial del GVSM para impulsar

transformaciones verdaderamente sostenibles en las organizaciones. Desde el punto de vista del objetivo general de esta investigación, estas limitaciones justifican la necesidad de proponer una hoja de ruta metodológica que incluya criterios sociales de forma estructurada, promoviendo un enfoque más equilibrado y alineado con los principios del desarrollo sostenibles y las necesidades del capital humano (Prayugo & Zhin, 2021; Muñoz-Villamizar et al., 2019; Gholami et al., 2019).

Otra limitación recurrente es la **falta de replicabilidad de las metodologías aplicadas en el GVSM**. La mayoría de los estudios se desarrollan a partir de casos únicos en sectores industriales específicos, lo que dificulta su adaptación en otros contextos y limita la validación externa de los modelos. Este enfoque restringido reduce la posibilidad de generalizar los hallazgos y compromete la aplicabilidad transversal de las herramientas propuestas. En adición, en varios artículos, la asignación de pesos a los indicadores depende de criterios subjetivos o validados solamente de forma cualitativa, lo que reduce la objetividad del análisis (Saria et al., 2021; Aouag & Soltani, 2023). Estas limitaciones metodológicas refuerzan la necesidad de desarrollar marcos más robustos, con indicadores comprobables y sistemas de ponderación validados, que hagan más fácil su aplicación en distintos sectores industriales y permitan contrastar resultados de forma sistemática (Muñoz-Villamizar et al., 2019; Utama et al., 2022)

Una tercera limitación identificada es la **carencia de estándares o criterios comparables** para la medición de la sostenibilidad bajo el modelo GVSM. A pesar de que varios estudios desarrollan sus propios indicadores, jerarquías o fórmulas adaptadas a sus casos específicos, esta flexibilidad metodológica ha generado una alta disparidad entre enfoques, dificultando la comparación de resultados entre estudios y la consolidación de una base de conocimiento común. Mientras algunos trabajos evalúan el impacto ambiental con indicadores como consumo energético

y emisiones de CO<sub>2</sub>, otros añaden métricas adicionales como longevidad y circularidad, pero sin escalas, unidades o marcos de referencia comunes (Hernández Marquina et al., 2021).

En varios casos, los valores utilizados para interpretar los resultados provienen de regulaciones locales o políticas internas, lo que compromete su comparabilidad a nivel interorganizacional o internacional. Esta debilidad fue reconocida por algunos autores, quienes recomiendan crear valores estándar y desarrollar métodos para indicadores aún no formalizados para de esta forma evaluar la sostenibilidad de manera objetiva, replicable y comprable (Swarnakar et al., 2021).

Otra limitación transversal identificada es la **alta dependencia de datos específicos y detallados**, dificultando su implementación en empresas sin registros sistematizados o con baja trazabilidad. La correcta implementación del modelo necesita información precisa sobre tiempos de ciclo, defectos, consumo energético, generación de residuos, condiciones laborales, ergonomía y niveles de satisfacción, entre otros. Esta exigencia representa una barrera significativa para organizaciones que no cuentan con sistemas de información robustos, trazabilidad adecuada o una cultura organizacional orientada a la medición continua. En varios estudios, la recopilación de datos ha implicado visitas técnicas, entrevistas especializadas y seguimiento periódico, lo que restringe su aplicabilidad en entornos de baja digitalización o recursos limitados. Además, modelos más avanzados como los basados en gemelos digitales requieren infraestructuras tecnológicas consolidadas y acceso a datos técnicos confiables, lo cual reitera las desigualdades en la adopción de estas herramientas (Jamil et al., 2020; Mangers et al., 2023). Esta limitación resalta la necesidad de adaptar las metodologías GVSM a distintos niveles de madurez organizacional y desarrollar estrategias flexibles de recolección de información que garanticen su aplicabilidad sin comprometer la calidad del análisis.

Asimismo, fue identificada la **complejidad metodológica o técnica** que implica la aplicación del *Green Value Stream Mapping*, especialmente por la integración simultánea de las dimensiones económica, ambiental y social. A diferencia del VSM tradicional, que cuenta con estructura y métricas estandarizadas, el GVSM requiere conocimientos avanzados en sostenibilidad, selección de indicadores y manejo de herramientas analíticas y competencias técnicas para aplicar métodos como el análisis multicriterio, simulación o la digitalización de procesos. Esta exigencia limita su implementación, particularmente en pymes que carecen de personal especializado, recursos financieros e infraestructura tecnológica. Algunos artículos han resaltado que la construcción de modelos sostenibles ha requerido una alta inversión de tiempo, talento humano y herramientas especializadas, mientras que otros reconocen explícitamente que la sostenibilidad digitalizada continúa siendo poco accesible para contextos de bajo nivel de madurez organizacional (Swarnakar et al., 2021; Batwara et al., 2024). Estas evidencias reafirman la necesidad de desarrollar versiones metodológicas más simplificadas y adaptables, que permitan una implementación progresiva del GVSM sin comprometer su rigurosidad técnica.

Dentro de las limitaciones identificadas también se encuentra el **análisis aislado de indicadores** de sostenibilidad. Aunque muchos estudios agrupan indicadores económicos, sociales y ambientales, estos suelen analizarse de forma independiente, obstaculizando la comprensión general de sus efectos cruzados y limitando el diagnóstico integral del desempeño sostenible. Esta desconexión metodológica impide identificar cómo el avance en una dimensión puede afectar a otra, ya sea de forma positiva o negativa, generando decisiones desequilibradas o parciales. La ausencia de modelos que integran explícitamente estas interdependencias ha sido señalada como una debilidad metodológica que afecta la calidad del análisis y la efectividad de las estrategias de mejora (Dewi et al., 2023; Rosiani et al., 2024). Así, se refuerza la necesidad de enfoques que

promuevan una visión sistémica e interrelacionada de la sostenibilidad, alineada con los principios del Triple Resultado.

Finalmente, se destaca la **ausencia de herramientas de digitalización para la captura y monitoreo continuo de datos**. Aunque algunos estudios avanzan hacia modelos vinculados con la Industria 4.0, varios aún dependen de métodos manuales como observaciones directas, entrevistas o mediciones con cronómetros, lo que aumentan la posibilidad de errores humanos, subjetividad y baja precisión en los diagnósticos. Esta situación limita la trazabilidad y dificulta el control de variables críticas como consumos, tiempos o comportamientos operativos. Asimismo, persisten barreras económicas y tecnológicas que restringen el acceso de muchas empresas a sensores, sistemas de recolección automatizadas o plataformas de análisis en tiempo real, lo que reduce la capacidad de aplicar el GVSM con criterios de eficiencia y sostenibilidad digital (Bancovich Erquínigo et al., 2023; Choudhary et al., 2024).

Con el objetivo de sintetizar las principales barreras determinadas en la aplicación del GVSM, fue elaborada la **Tabla 8** que clasifica las limitaciones según su origen.

**Tabla 8**

*Síntesis limitaciones del GVSM*

Limitación	Origen de la Limitación (Variante GVSM o Enfoque Metodológico)	Autores
<b>Insuficiente desarrollo y atención de la dimensión social:</b> Se priorizan las dimensiones económica y ambiental, omitiendo aspectos clave como el bienestar laboral, la carga física o las condiciones sociales del proceso, lo que impide una sostenibilidad integral.	Variante GVSM, Sus-VSM, EVSM, VSM clásico, <i>Lean Quality</i> + <i>Six Sigma</i> + <i>Sustainability Index</i> (SI), <i>Cleaner Production</i> VSM (CPVSM), SVSM adaptado a entornos ETO, SVSM (basado en Hartini), SVSM + Delphi + DEMATEL-ANP, SVSM con estado actual/futuro, Simulación de escenarios, <i>Cleaner Production</i> VSM (CPVSM), <i>Green</i> VSM (productividad y ambiental)	Prayugo y Zhong (2021); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Utama & Abirfatin (2023); Batwara et al. (2023); Jamil et al. (2020); Lee et al. (2021); Utama et al. (2022); Larsson & Ratnayake (2024); Masudin et al. (2025); Chen et al. (2024); Fitriadi & Mohamad (2023); Marica et al. (2022); Ishak et al. (2019); Verma & Sharma (2021); Putri et al. (2021); Petrenko et al. (2020); Mangers et al. (2023); Ghaziani et al. (2021); Bertagnolli et al. (2021); Estrada-González et al. (2020); Minh et al. (2019); Silva et al. (2024b); Mohama et al. (2019).
<b>Falta de replicabilidad de las metodologías aplicadas en el GVSM:</b> Algunas metodologías	GVSM y DMAIC+TRIZ, Sus-VSM + LCA. <i>Extended</i> VSM y Fuzzy EDAS, Encuesta a expertos + análisis estadístico, DMAIC, Pareto,	Muñoz-Villamizar et al. (2019); Utama et al. (2022); Aouag & Soltani (2023); Chen et al. (2024); Saria et al. (2021); Estrada-González et al. (2020); Mohama

Limitación	Origen de la Limitación (Variante GVSM o Enfoque Metodológico)	Autores
GVSM se aplican a casos únicos con indicadores específicos, dificultando su adaptación a otros sectores y limitando su validación externa y comparabilidad.	FMEA, Ishikawa, SVSM adaptado a entornos ETO, Encuesta a expertos con análisis estadístico, SMED extendido con sostenibilidad, SVSM + Delphi + DEMATEL-ANP, Estudio de caso empírico, LG6: Lean-Green-Six Sigma + VSM, VSM adaptado a logística agroalimentaria, Modified SVSM (con AHP y TLS), Green VSM (productividad y ambiental)	et al. (2019); Hernandez Marquina et al. (2021); Dos Santos et al. (2019); Djatna & Prasetyo (2019); Ebrahimi et al. (2023); Batwara et al (2023); Dewi et al. (2023); Gholami et al. (2019); Lee et al. (2021); Prayugo & Zhong (2021); Utama & Abirfatin (2023); Larsson & Ratnayake (2024); Zhu et al. (2020); Mangers et al. (2023); Bait et al. (2020); Bertagnolli et al. (2021); Melin & Barth (2020); Pattanaik et al. (2019); Minh et al. (2019).
<b>Carencia de criterios comparables:</b> La diversidad de indicadores, escalas y unidades usadas en cada estudio dificulta la comparación entre casos GVSM y limita la consolidación de una base metodológica común.	Encuesta a expertos + análisis estadístico, <i>Circular Value Stream Mapping</i> (Circular VSM), <i>Smart Sustainable VSM</i> (SS-VSM), Environmental VSM, Encuesta a expertos con análisis estadístico, VSM adaptado a logística agroalimentaria	Swarnakar et al. (2021); Jamil et al. (2020); Larsson & Ratnayake (2024); Hedlund et al. (2020); Dos Santos et al. (2019); Mubin et al. (2022); Gholami et al. (2019); Fitriadi & Mohamad (2023); Mariea et al. (2022); Verma & Sharma (2021); Saria et al. (2021); Putri et al. (2021); Ghaziani et al. (2023); Pattanaik et al. (2019); Minh et al. (2019).
<b>Alta dependencia de datos específicos y detallados:</b> Implementar el GVSM requiere información operativa, ambiental y social detallada, lo que dificulta su aplicación en organizaciones con baja trazabilidad o sin sistemas robustos de recolección de datos.	GVSM y DMAIC+TRIZ, Simulación en MATLAB, <i>Lean Quality + Six Sigma + Sustainability Index</i> (SI), <i>Circular Value Stream Mapping</i> (Circular VSM), <i>Cleaner Production VSM</i> (CPVSM), SVSM (basado en Hartini), VSM4S + 5SEnSU, Simulación de escenarios, eficiencia de carbono, Modified SVSM (con AHP y TLS), SVSM con simulación ARENA	Jamil et al. (2020); Mangers et al. (2023); Utama & Abirfatin (2023); Utama et al. (2022); Hernandez Marquina et al. (2021); Masudin et al. (2025); Bancovich Erquinigo et al. (2023); Dos Santos et al. (2019); Verma et al. (2021); Gargalo et al. (2021); Mubin et al. (2022); Verma & Sharma (2019); Chen et al. (2024); Ishak et al. (2019); Silva et al. (2024b); Mangers et al. (2023); Ghaziani et al. (2023); Bait et al. (2020); Estrada-González et al. (2020).
<b>Complejidad metodológica o técnica:</b> El GVSM exige conocimientos avanzados en sostenibilidad, indicadores, análisis multicriterio y digitalización, lo que dificulta su implementación en pymes sin personal especializado o infraestructura adecuada.	Metodología: Simulación de eventos discretos, <i>Extended VSM</i> y Fuzzy EDAS, Simulación de eventos discretos, DMAIC, Pareto, FMEA, Ishikawa, DMAIC + SVSM + AHP, SMED extendido con sostenibilidad, LESSVSM (Lean, Energy, Six Sigma) y DMAIC + modelo entropía, Social VSM + REBA + EHPS, LG6: <i>Lean-Green-Six Sigma</i> + VSM, SVSM con simulación ARENA	Swarnakar et al. (2021); Batwara et al. (2024); Gholami et al. (2020); Jamil et al. (2020); Utama et al. (2022); Larsson & Ratnayake (2024); Hernandez Marquina et al. (2021); Aouag y Soltani (2023); Hedlund et al. (2020); Shahbazi et al. (2019); Dos Santos et al. (2019); Verma et al. (2021); Gargalo et al. (2021); Vostriakova et al. (2021); Choudhary et al. (2019); Verma & Sharma (2019); Fitriadi & Mohamad (2025); Ishak et al. (2019); Verma & Sharma (2021); Silva et al. (2024b); Petrenko et al. (2020); Mangers et al. (2023); Bait et al. (2020); Pattanaik et al. (2019); Muñoz-Villamizar et al. (2019); Mohama et al. (2019); Batwara et al. (2023); Batwara et al. (2024).
<b>Análisis aislado de indicadores:</b> Se analizan los indicadores económicos, sociales y ambientales de forma separada, sin reconocer sus interdependencias, lo que limita el diagnóstico integral y puede generar desequilibrios en la toma de decisiones.	Variante GVSM, Integración VSM + SMED, VSM + SMED + criterios TBL, VSM4S + 5SEnSU, ELECTRE, análisis multicriterio	Dewi et al. (2023); Rosiani et al. (2024); Lee et al. (2021); Ebrahimi et al. (2023); Mishra et al. (2019); Verma & Sharma (2019); Chen et al. (2024); Fitriadi & Mohamad (2023); Petrenko et al. (2020); Ghaziani et al. (2023); Melin & Barth (2020).

Limitación	Origen de la Limitación (Variante GVSM o Enfoque Metodológico)	Autores
<b>Ausencia de herramientas de digitalización para la captura y monitoreo continuo de datos:</b> Dependencia de registros manuales, lo que limita la precisión del análisis GVSM y dificulta el monitoreo continuo, especialmente en empresas con restricciones económicas o baja adopción tecnológica.	<i>Green Integrated VSM (GIVSM)</i> , <i>Sus-VSM</i> + <i>LCA</i> , <i>BPMN</i> + <i>FMEA</i>	Bancovich Erquínigo et al. (2023); Choudhary et al. (2019); Prayugo y Zhong (2021); Djatna & Prasetyo (2019); Fitriadi & Mohamad (2025); Marica et al. (2022); Batwara et al. (2024).

### 5.3.3. Tendencias, vacíos y patrones críticos para la mejora del GVSM

A partir de la revisión sistemática de los artículos analizados, son identificadas una serie de tendencias comunes, vacíos metodológicos y patrones críticos que deben considerarse como guías en la formulación de la hoja de ruta metodológica para que sea sólida, replicable y adaptable en la implementación del GVSM.

- **Vacío identificado: Baja representación de la dimensión social**

A pesar del enfoque transversal, persiste una brecha metodológica en la aplicación del GVSM: la dimensión social es la menos desarrollada frente a los indicadores económicos y ambientales (Utama & Abirfatin, 2023; Prayugo & Zhong, 2021; Lee et al., 2021). La mayoría de los estudios se enfocan en la reducción de costos operativos, tiempo de ciclo, eficiencia energética, reducción de residuos y emisiones, mientras que aspectos como el bienestar del trabajador, la equidad y las condiciones de trabajo son poco considerados. Esta inclinación puede justificarse en el interés tradicional de las organizaciones por obtener beneficios inmediatos, medibles que impacten su rentabilidad, eficiencia operativa y regulación normativa (Gholami et al., 2019). Este desequilibrio limita el enfoque integral del GVSM, pues, como lo mencionan Gholami et al. (2022), omitir la dimensión social dificulta la adopción de prácticas sostenibles, ya que los trabajadores son actores clave en la implementación de las mejoras en las organizaciones.

- **Oportunidad de mejora: Necesidad de estandarización metodológica parcial**

Los estudios muestran una alta personalización metodológica del GVSM según el contexto de cada industria, empresa o proceso. Esta flexibilidad, aunque valiosa, genera falta de estandarización y dificulta la replicabilidad y comparación entre casos. Las herramientas de análisis utilizadas (AHP, TOPSIS, Fuzzy PSI), los indicadores seleccionados y sus ponderaciones varían considerablemente. En varios artículos es recurrente la sugerencia de establecer referencias comunes, ponderaciones estándar por sector y métodos que permitan comparar el desempeño sostenible de diferentes empresas bajo los mismos criterios (Swarnakar et al., 2021; Jamil et al., 2020; Larsson & Ratnayake, 2024, Dos Santos et al., 2019). El que cada estudio formule su propia combinación de indicadores y asigne diferentes pesos a estos, reduce la generalización de los resultados y la aplicación transversal del GVSM, sobre todo en organizaciones de bajo nivel técnico o que apenas están iniciando operación.

Esta situación plantea una clara oportunidad de mejora: diseñar un marco de referencia común con indicadores base y unidades comparables, adaptables según el sector, pero que conserven una estructura general que facilite la expansión y aplicación transversal del GVSM.

- **Correlación emergente: Digitalización y toma de decisiones basada en datos**

Una tendencia en ascenso es la integración de herramientas digitales en la aplicación del GVSM como gemelos digitales, simuladores (ARENA, Minitab), lógica difusa (Fuzzy PSI), IoT y métodos multicriterio (AHP, TOPSIS). La revisión evidencia una correlación directa entre el uso de estas tecnologías y una mayor precisión en los datos recolectados para el diagnóstico y la toma de decisiones en el GVSM. Esta correlación es especialmente fuerte en metodologías como el *Smart Sustainable VSM* (Batwara et al., 2024) o el *Digital Twin VSM* (Mangers et al., 2023).

No obstante, esta tendencia también expone un patrón crítico: la desigualdad tecnológica, pues la implementación de este tipo de modelos suele estar limitada a sectores con mayor capacidad de inversión. Las pequeñas y mediana empresas, con menos capacidad de inversión, formación técnica o resistencia organizacional, encuentran barreras estructurales para adoptar sistemas avanzados (Batwara et al., 2024; Choudhary et al., 2019).

- **Vacío y patrón crítico: Análisis aislado de indicadores sin conexión entre dimensiones**

Un vacío metodológico recurrente es la falta de interrelación entre los indicadores sociales, económicos y ambientales. A pesar de que varios estudios aplican métricas para las tres dimensiones del TBL, estas se analizan de forma aislada, sin tener en cuenta los efectos cruzados entre ellas (Dewi et al., 2023). Esta desvinculación disminuye el potencial del GVSM como herramienta integradora para la toma de decisiones estratégicas. Por esto, se hace necesario incluir metodologías que permitan establecer relaciones efectivas entre los indicadores, facilitando una gestión dinámica de la sostenibilidad.

- **Oportunidad de mejora: Expansión del GVSM hacia modelos circulares**

Una tendencia relevante es la integración de conceptos de economía circular y sostenibilidad global en la evolución del GVSM. Algunos casos de estudio incorporan indicadores como reciclabilidad, longevidad del producto, logística inversa o posconsumo (Hernández Marquina et al., 2021; Mangers et al., 2023; Gholami et al., 2020). Esta evolución presenta una oportunidad para ampliar el alcance del GVSM más allá del proceso lineal tradicional hacia modelos de producción regenerativos. No obstante, también se identifican limitaciones, ya que aún se necesitan más investigaciones entre estos nuevos modelos y las versiones más extendidas del VSM o el *Lean manufacturing* tradicional, por lo que es recomendable su integración progresiva.

#### 5.4. Propuesta de hoja de ruta metodológica para la implementación del GVSM

Como resultado de la revisión de literatura sistemática sobre el *Green Value Stream Mapping* (GVSM) y su implementación en diferentes sectores manufactureros, se plantea una hoja de ruta estructurada en fases que orientan de forma sistemática la aplicación de esta herramienta, dándole cumplimiento al cuarto objetivo de la investigación. El diseño general de la hoja de ruta se fundamenta en el ciclo de mejora continua de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y en la síntesis de buenas prácticas, enfoques e indicadores identificados en las más de 15 variantes del GVSM revisadas, entre ellas el *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM), lo que permitió construir una metodología flexible, fundamentada y alineada con los principios de la sostenibilidad.

A lo largo de las fases se emplean actividades metodológicas, se recomiendan herramientas técnicas y se determinan indicadores de desempeño, con el objetivo de evaluar y mejorar las dimensiones económica, ambiental y social del proceso de producción, además de responder directamente a las principales limitaciones identificadas en la implementación del GVSM. Para facilitar la comprensión metodológica y apoyar el desarrollo didáctico de cada fase, se incluyen plantillas y esquemas ilustrativos a lo largo de la hoja de ruta disponibles en el **Apéndice C**.

Esta hoja de ruta metodológica se fundamenta en los principios del *Lean manufacturing* y el enfoque *Green manufacturing*, los cuales priorizan la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la mejora continua de los procesos productivos de una empresa. Esta fusión conceptual y práctica permitió incorporar herramientas y metodologías representativas de ambas filosofías en la estructuración de la hoja de ruta a lo largo de cada una de las fases, con el fin de diseñar un modelo más completo, adaptable y efectivo para la implementación del GVSM en las empresas manufactureras, que responda a los desafíos operativos, económicos, ambientales y sociales.

La propuesta busca ser flexible de modo que pueda ajustarse a diferentes sectores manufactureros, así como al nivel de madurez organizacional de cada empresa. Esta flexibilidad no implica una falta de estructura, por el contrario, al basarse la hoja de ruta en el ciclo DMAIC y en la síntesis de metodologías e indicadores identificados en estudios académicos y experiencias industriales previas, toda la recopilación de herramientas comunes y casos prácticos efectivos presentes en la literatura reduce la dispersión conceptual y establece una base metodológica estandarizada. La flexibilidad se incluye de manera controlada, especialmente en la selección de métricas según el tipo de industria, lo que permite que las organizaciones adapten el enfoque según el tipo de industria sin dejar de lado la coherencia metodológica ni la trazabilidad del proceso.

Este diseño estructurado pero adaptable busca precisamente superar la limitación observada en los estudios de caso, donde el GVSM se aplica a contextos únicos. Aquí, en cambio, se propone un marco replicable que puede ajustarse a diferentes escenarios sin sacrificar su rigor ni su comparabilidad.

Asimismo, uno de los aportes más significativos de la creación de esta hoja de ruta metodológica es su capacidad para mitigar otra de las principales limitaciones identificadas en la literatura: la escasa inclusión de la dimensión social en la implementación del GVSM o de sus variantes. Muchas de estas herramientas presentan un enfoque fragmentado de la sostenibilidad, priorizando solo una o dos de sus dimensiones, por ello, se estructuró una propuesta que promueve una visión integral de la sostenibilidad alineada con el marco del *Triple Bottom Line* (TBL), el cual establece el equilibrio de las dimensiones económica, ambiental y social en los procesos productivos. En particular, variantes como el *Social Value Stream Mapping* (Socio-VSM) sirvieron como referencia valiosa para estructurar la dimensión social dentro de esta hoja de ruta metodológica. Esta transversalidad se aborda desde el comienzo al definir los objetivos de la

aplicación de la herramienta en la respectiva empresa, hasta las actividades y recomendaciones contenidas en cada fase, fomentando constantemente una aplicación más completa, coherente y equilibrada del GVSM.

Por otro lado, antes de iniciar con la aplicación de la hoja de ruta metodológica, se recomienda a las empresas del sector manufacturero tener en consideración las siguientes claves para asegurar una implementación exitosa del *Green Value Stream Mapping* (GVSM).

- Compromiso organizacional: La implementación necesita el compromiso de todos los niveles de la organización, empezando por la alta dirección y terminando en el personal operativo. Es importante orientar todos los esfuerzos hacia una cultura de mejora continua y enfoque sostenible (Chen et al., 2024; Verma & Sharma, 2021; Silva et al., 2024b).
- Enfoque participativo: Se sugiere adaptar un enfoque colaborativo, incluyendo, como se mencionó antes, a los operarios y trabajadores involucrados en el proceso, ya que estos cuentan con un conocimiento profundo y específico del funcionamiento de los procesos a estudiar y, asimismo, pueden idear soluciones útiles partiendo de su experiencia (Dos Santos et al., 2019; Masudin et al., 2025; Silva et al., 2024b; Petrenko et al., 2020; Melin & Barth, 2020).
- Adaptabilidad del enfoque: Esta hoja de ruta es una guía sistematizada pero flexible. La herramienta en cuestión se puede ajustar al contexto específico, objetivos estratégicos, recursos disponibles y grado de desarrollo de la empresa. Su ejecución busca no solo mejorar los procesos desde un enfoque operativo y sostenibles, sino también responder a las exigencias normativas y regulatorias que enfrentan las empresas en la actualidad. Al considerar marcos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la norma ISO 14001 y las políticas de economía circular, esta hoja de ruta facilita la reducción del

impacto ambiental, el fortalecimiento de condiciones laborales dignas y el cumplimiento de estándares legales, adaptándose al panorama normativo de cada sector y país (Chen et al., 2024 ; Ishak et al., 2019 ; Mangers et al., 2023 ; Pattanaik et al., 2019 ; Estrada-González et al., 2020 ; Masudin et al., 2025 ; Larsson & Ratnayake, 2024).

- Disponibilidad y veracidad de los datos: La calidad de los resultados, así como del análisis que se realice, dependen bastante de la sinceridad, precisión y completitud de los datos que se empleen. Es indispensable que cada empresa sea honesta con la entrega de la información sobre sus operaciones, sus recursos y demás categorías (Gholami et al., 2020; Jamil et al., 2020; Hedlund et al., 2020; Masudin et al., 2025; Silva et al., 2024b).
- Visión integral del proceso: En caso donde la empresa presente limitaciones de tiempo o recursos, se recomienda acotar la aplicación del GVSM a una parte crítica del proceso, por ejemplo, la fase con mayor volumen de producción, mayor consumo energético o mayor tasa de reprocesos. De lo contrario, se puede implementar el mapeo en todo el proceso de producción (Swarnakara et al., 2021).

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, se procede a presentar la hoja de ruta propuesta para la implementación exitosa del GVSM en las organizaciones manufactureras, la cual esta estructura en las siguientes 5 fases consecutivas:

**Figura 5**

*Framework metodológico propuesto para la implementación del GVSM*

Framework metodológico para la implementación del GVSM basado en DMAIC		
FASE	SUBFASE	PRODUCTO ESPERADO
DEFINIR	1.1. Conformación del equipo y alineación organizacional	-Acta de conformación -Cronograma del proyecto
	1.2. Diagnóstico preliminar cualitativo del proceso	Diagnóstico preliminar del proceso con matriz de hallazgos cualitativos y diagrama SIPOC
	1.3. Definición de objetivos e indicadores del proyecto	-Ficha técnica indicadores -Peso total de los indicadores en la evaluación global
MEDIR	2.1. Recolección de datos inicial	Datos del proceso registrados registrados en formato
	2.2. Construcción del mapa de flujo de valor actual	GVSM actual validado
	2.3. Cálculo de indicadores e índice de sostenibilidad actual	Matriz de indicadores estado actual con resultados
	2.4. Evaluación TLS (semáforo)	Tablero de evaluación TLS
ANALIZAR	3.1. Análisis de desperdicios	Mapa con desperdicios clasificados y matriz diagnóstico de desperdicios
	3.2. Análisis causa-raíz	Ficha análisis de indicadores críticos
MEJORAR	4.1. Diseño del mapa de flujo de valor futuro	GVSM futuro
	4.2. Ejecución de mejoras mediante herramientas Lean y Green	Plan de implementación de mejora con matriz acciones por plazo
	4.3. Cálculo de indicadores e índice de sostenibilidad proyectado	Indicadores e Índice de Sostenibilidad esperado
CONTROLAR	Seguimiento y control	Plan de seguimiento, nueva iteración del ciclo GVSM, retroalimentación documentada

*Nota.* Este esquema presenta las cinco fases del modelo DMAIC adaptadas a la lógica Lean-Green, incluyendo sus respectivas subfases y los productos esperados de cada una. La estructura permite visualizar de forma resumida la ruta metodológica planteada en el presente estudio.

#### 5.4.1. Fase 1: Definir

El propósito de esta fase es determinar el alcance y los objetivos que se quieren lograr con la implementación del GVSM en función de los intereses estratégicos de la organización, con el fin de dar un enfoque al diagnóstico. Además, se busca abordar la baja atención que se le suele dar a la dimensión social, integrándola desde el inicio como parte de los objetivos clave, así como la inclusión de indicadores que midan los impactos de esta. También se comienza a subsanar la falta de replicabilidad, al estructurar esta hoja de ruta sobre una base metodológica clara con todas las fases y actividades en las siguientes secciones. Esta estructura permite replicar el enfoque en distintos sectores manufactureros, adaptando únicamente los indicadores y prioridades, sin comprometer la trazabilidad ni la lógica metodológica. Esta fase corresponde a la etapa “Definir”

del ciclo DMAIC, al establecer los objetivos, alcance y lineamientos del proyecto que guían la implementación del GVSM.

Asimismo, esta fase permite superar la carencia de estándares comparables al proponer una estructura base de indicadores generales y específicos por industria. También ayuda a mitigar, en parte, la dependencia de datos muy detallados al orientar la elección de indicadores en función de la disponibilidad real de información en cada caso. Adicionalmente, la asignación de pesos internos a los indicadores seleccionados permite estandarizar su importancia relativa y facilita su análisis comparativo entre procesos y casos, sin dejar de lado el contexto específico de cada organización.

Esta fase, además de que establece los cimientos de la aplicación, permite promover un enfoque equilibrado e integral de la sostenibilidad. Si la definición de objetivos contempla de manera balanceada las tres perspectivas del desarrollo sostenible, se fortalece el carácter holístico del GVSM, por lo cual, este primer paso de la implementación se alinea con el principio *Lean* de la mejora continua desde la planificación estratégica del proyecto, al promover una visión sistemática y la participación de todas las partes involucradas en la definición de los objetivos sostenibles.

- **Subfase 1.1: Conformación del equipo y alineación organizacional**

- Conformar un equipo multidisciplinario

Es necesario conformar un equipo multidisciplinario de trabajo donde se incluyan representantes de las áreas claves del proceso productivo como: producción, calidad, sostenibilidad, seguridad y salud en el trabajo, mantenimiento, personal operativo, entre otras, según lo que resulte más pertinente para la toma de decisiones significativas para la empresa en temas de sostenibilidad. La variedad de perfiles profesionales y operativos facilita la

obtención de una visión integral del flujo de valor, permitiendo identificar de manera más exacta las oportunidades de mejora sostenibles.

Además de garantizar la participación de áreas clave de la empresa, se recomienda que en la conformación de este equipo se vele por una representación equitativa de las tres dimensiones de la sostenibilidad. Esto implica incluir roles que puedan aportar una mirada social identificando factores relacionados con las condiciones laborales, salud ocupacional y participación del personal, una mirada ambiental que aporte en aspectos como el consumo de recurso, gestión de residuos y emisión de gases, y finalmente una visión económica que tenga en cuentas costos operativos, productividad y eficiencia de los procesos. Así, la hoja de ruta refuerza su compromiso con una implementación del GVSM más justa, integral y participativa.

- Asignar un líder al proyecto GVSM y definir cronograma

Se debe designar un líder del proyecto GVSM y este, de la mano con el equipo, deberán construir un cronograma preliminar donde se plasmen las actividades principales a desarrollar, los entregables en cada subfase y los tiempos calculados para cada etapa. De este modo, el líder se encargará de coordinar el desarrollo de las fases metodológicas, asegurar la integración entre áreas y realizar seguimiento al cronograma establecido.

- **Subfase 1.2: Diagnóstico preliminar cualitativo del proceso**

El objetivo de esta subfase es identificar cualitativamente los problemas percibidos, condiciones laborales, posibles desperdicios y oportunidades de mejora sostenibles desde el punto de vista de los diferentes autores del proceso.

- Realizar un *Focus Group*

Es preciso realizar por lo menos un *Focus Group*, incluyendo tanto a operarios como a los jefes, fomentando la participación de al menos un representante de cada área


del proceso productivo a intervenir. La idea con el grupo es generar un debate orientado a identificar los problemas operativos, ambientales y sociales de la organización.

- Consolidar hallazgos en una matriz

Es necesario documentar y consolidar sus hallazgos en un matriz de hallazgos cualitativos, donde se evidencien los temas discutidos, la frecuencia con la que se mencionaron y la gravedad percibida de cada uno.

### Figura 6

#### Plantilla matriz de hallazgos cualitativos

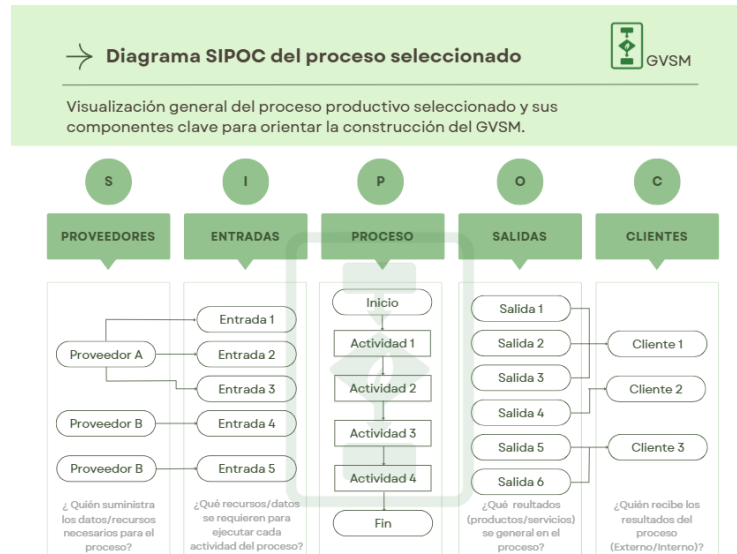
→ **Matriz de hallazgos cualitativos**


Percepciones clave identificadas en la sesión de Focus Group

TEMA IDENTIFICADO	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA DE MENCIÓN	NIVEL DE GRAVEDAD PERCIBIDA	ÁREA DONDE SE IDENTIFICA	OBSERVACIONES ADICIONALES
Redactar un título breve que enuncie el tema	Explicar el tema identificado y como afecta el proceso	Nº de veces que el tema fue mencionado por los participantes	Según la afectación que genere en el proceso, se clasifica como: <b>Alta, Media o Baja</b>	Especificar en que parte del proceso se identifica el hallazgo	Incluir información complementaria relevante

- Diagrama SIPOC

Finalmente, se debe documentar el flujo general del proceso empleando la herramienta SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*), el cual ayuda a entender las interacciones globales del sistema y sirve de base para las siguientes fases de análisis, como, por ejemplo, la construcción del GVSM.

**Figura 7***Plantilla diagrama SIPOC del proceso seleccionado*

- **Subfase 1.3: Definición de objetivos e indicadores del proyecto**

- Establecer objetivos

Luego de realizar el diagnóstico preliminar, sigue el establecimiento de los objetivos específicos que direccionarán la implementación del GVSM. Estos varían según las prioridades de la empresa. Pueden estar enfocados en eficiencia operativa, reducción de impactos ambientales, mejoras en el bienestar laboral, entre otros. Todo depende del enfoque estratégico sostenible que se plantee.

Además, en esta etapa es importante considerar que los objetivos definidos deben estar alineados con los marcos regulatorios y las políticas vigentes en el sector o país donde opera la organización. Esto hace que el proyecto no busque solamente mejoras internas, sino que ayude de forma directa al cumplimiento de normativas ambientales, sociales y laborales, como la ISO 14001, la ISO 45001 o las estrategias de economía circular promovidas por los gobiernos. Por lo tanto, se recomienda que al momento de establecer los objetivos se identifiquen las exigencias regulatorias relevantes, de modo que el GVSM

funcione como una herramienta para anticiparse a sanciones, elevar la competitividad y reforzar la legitimidad de las empresas frente a sus grupos de interés.

Finalmente, es clave que este proceso de definición de objetivos promueva un enfoque equilibrado que contemple los 3 pilares de la sostenibilidad, priorizando metas operativas, ambientales y sociales.

- Definición de indicadores y ficha técnica

A continuación, se seleccionan los indicadores de sostenibilidad que serán evaluados a lo largo del proyecto, pero dando prioridad a aquellos que:

- Se puedan medir con los datos disponibles, o en su defecto, se puedan calcular.
- Evidencien el desempeño de cada dimensión del Triple Resultado.
- Posibiliten establecer una línea de comparación y metas futuras.

Los **indicadores generales** sugeridos para todas las industrias se pueden observar en la siguiente tabla. Por lo general esta identificación y selección de métricas clave, se realiza en medio de un Focus Group, como se plantea en la anterior subfase para desarrollar el diagnóstico inicial. Las **Tabla 9** y **Tabla 10** fueron construidas con base en un análisis comparativo de distintas aplicaciones del GVSM en sectores industriales variados, lo que permitió identificar tanto métricas generales como particularidades relevantes por sector.

Además, esta selección se fundamenta en el marco del *Triple Bottom Line* (TBL), el cual plantea la necesidad de integrar de forma equilibrada las dimensiones económica, social y ambiental para una evaluación más completa del desempeño sostenible. Mitigando la limitación de la literatura en cuanto a la escasa inclusión de la dimensión social en el GVSM con respecto a las demás y respondiendo al beneficio de fomentar una visión ambiental integral del proceso integrando indicadores clave desde el inicio del diagnóstico.

En el aspecto económico, se priorizan los indicadores orientados a la eficiencia operativa como todos los tipos de costos necesarios en el proceso de producción, los tiempos de entrega, la calidad del producto, inventarios y demás métricas claves asociadas. En la dimensión ambiental, se seleccionaron indicadores que promuevan prácticas de producción más limpias al evaluar aspectos como el consumo de recursos naturales, agua y energía, emisiones atmosféricas, gestión de residuos, impactos ambientales generados por los procesos productivos como la huella de carbono. Finalmente, para la dimensión social se incorporan indicadores desde tres enfoques complementarios que dirigen la selección de estos: seguridad y salud en el trabajo, condiciones y bienestar laboral, participación y satisfacción de los empleados de la empresa en evaluación. Esta elección permite no solo evaluar el desempeño social, sino también responder al beneficio identificado de mejorar la satisfacción y el bienestar del trabajador como factor clave para la sostenibilidad organizacional.

Seguir cada uno de los enfoques específicos para la selección de los indicadores sostenibles de cada dimensión, permite subsanar la exclusión parcial de alguna de las dimensiones en la implementación del GVSM u otras variantes. La estructura e intención de esta hoja de ruta es fomentar una herramienta metodológica integral.

**Tabla 9**

*Indicadores generale sugeridos para la hoja de ruta*

<b>Económicos</b>	<b>Sociales</b>	<b>Ambientales</b>
Tiempo de ciclo, <i>Takt time</i> , costo unitario de producción, productividad, nivel de inventarios, tasa de defectos o reprocesos, <i>lead time</i> .	Carga física (REBA, OWAS), arga mental (NASA-TLX), tasa de rotación de personal, tasa de ausentismo laboral, nivel de satisfacción del trabajador, horas de formación, número de incidentes reportados.	Consumo energético (kWh/und), consumo de agua (L/und), generación de residuos (kg/und), emisiones de CO2 (kgCO2), % de residuos reciclados, uso de materiales reciclados.

Luego de definir una base común de métricas sostenibles, se debe realizar la selección de indicadores específicos, los cuales se encuentran agrupados por tipo de industria, permitiendo que cada empresa seleccione aquellos que sean más relevantes de acuerdo con su actividad, nivel de madurez en sostenibilidad, exigencias regulatorias particulares y la disponibilidad de datos. Por ejemplo, mientras que una empresa del sector alimentario puede dar prioridad a métricas como el consumo de agua y la formación en buenas prácticas de manufactura, una del sector automotor puede enfocarse en la eficiencia energética y el tratamiento de residuos industriales. Esta elección puede apoyarse en herramientas como el AHP para ponderar los indicadores según su importancia relativa, y más adelante, en la subfase 2.4, se articula con el sistema TLS, el cual ajusta sus umbrales de clasificación de acuerdo con los valores de referencia aceptados en cada sector.

Así, se asegura que la ruta de implementación conserve un marco común, sin dejar de adaptarse a diferentes contextos. En la **Tabla 6** se sintetiza una serie de indicadores clasificados por tipo de industria que pueden servir como referencia para ajustar la medición a distintos sectores manufactureros.

**Tabla 10**

*Indicadores específicos por industria para la hoja de ruta*

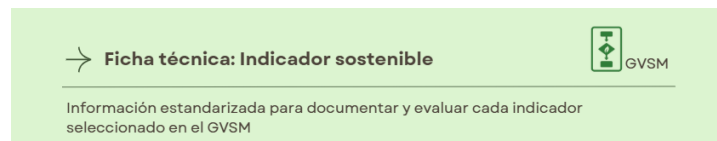
	<b>Económicos</b>	<b>Sociales</b>	<b>Ambientales</b>
<b>Industria alimentaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Costos por reprocesos y pérdidas de materia prima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Formación en BPM</li> <li>•Manipulación segura</li> <li>•Fatiga por turnos prolongados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Residuos orgánicos por lote</li> <li>•Consumo de vapor</li> <li>•Agua usada en limpieza</li> </ul>
<b>Industria automotriz y de autopartes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Entregas <i>just-in-time</i></li> <li>•Eficiencia de prensas y cambios de molde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Exposición a ruido/vibración</li> <li>•Posturas ergonómicas en línea de ensamblaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Emisiones por pintura/galvanizado</li> <li>•Residuos aceitosos tratados</li> <li>•Energía por unidad</li> </ul>
<b>Industria de electrónica y plásticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tratamiento de residuos electrónicos</li> <li>•Piezas desechadas por fallos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Riesgo por descarga electrostática</li> <li>•Fatiga visual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Solventes peligrosos</li> <li>•RAEE generados</li> <li>•Materiales no biodegradables</li> </ul>
<b>Industria metalmecánica y de acabados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rendimiento del galvanizado</li> <li>•Costos por ajustes técnicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Inhalación de gases</li> <li>•Exposición a calor</li> <li>•Ausencia de pausas activas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Efluentes por baños químicos</li> <li>•Uso de ácidos</li> <li>•Nivel de ruido elevado</li> </ul>

	Económicos	Sociales	Ambientales
Otras industrias manufactureras	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Costo por retrabajo</li> <li>•Uso de espacio por unidad</li> <li>•OEE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cumplimiento de pausas activas</li> <li>•Percepción de carga laboral</li> <li>•Bienestar ocupacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Uso de químicos industriales</li> <li>•Segregación de residuos</li> <li>•Trazabilidad de reciclables</li> </ul>

Para cada indicador que sea seleccionado se debe llenar una **ficha técnica** que incluya el nombre del indicador, la forma en la que se calcula, la unidad de medida, el propósito de evaluarlo, la frecuencia con la que se mide y la fuente de datos (sistema, encuesta, observación directa, etc.).

### Figura 8

#### Plantilla ficha técnica: Indicador sostenible



NOMBRE DEL INDICADOR		DIMENSIÓN DEL TBL	ECONÓMICA	
PROPÓSITO DE EVALUACIÓN	¿Qué mide el indicador? ¿Qué se busca evaluar o mejorar?		AMBIENTAL	
FORMA/FÓRMULA DE CALCULAR	Operación matemática o criterio utilizado para determinar su valor	UNIDAD DE MEDIDA		
		FRECUENCIA DE MEDIDA	¿Cada cuanto se mide?	
OBSERVACIONES ADICIONALES	Cualquier aclaración o recomendación especial	FUENTE DE INFORMACIÓN	ENTREVISTAS	
			OBSERVACIÓN	
			REGISTROS	
RESPONSABLE SEGUIMIENTO	Área o cargo encargado de medir o monitorear el indicador		OTRA	

#### - Asignación de pesos internos entre indicadores

Cabe destacar que cada una de las tres dimensiones de la sostenibilidad tendría el mismo peso porcentual en la evaluación global del proceso, es decir, 33.3%, de modo que ninguna dimensión va a prevalecer sobre la otra. Sin embargo, dentro de cada dimensión, algunos indicadores pueden tener más importancia que otro, lo cual se evidenciará en su ponderación interna.

Para asignar la importancia relativa de cada uno de los indicadores dentro su dimensión (económica, social o ambiental), se recomienda aplicar el método *Analytic Hierarchy Process*


(AHP), ya que han sido ampliamente utilizada en la literatura revisada por su efectividad en la toma de decisiones multicriterio. Su incorporación en esta hoja de ruta permite determinar pesos ponderadores mediante comparaciones por partes, facilitando una priorización objetiva, estructurada y alineada con los principios del GVSM.

El procedimiento que se sugiere es el siguiente:

- Organizar jerárquicamente los indicadores de cada dimensión, es decir, estructurar el problema en niveles, de lo más general a lo más específico.


### Figura 9

#### *Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 1*

→ Formatos estandarización método AHP 				
Formato 1: Estructura jerárquica				
DIMENSIÓN	NIVEL	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CÓDIGO	OBSERVACIONES
Económica, ambiental o social	Posición jerárquica del indicador dentro de su dimensión	Nombre completo del indicador	Identificador único combinando dimensión (D1, D2, D3) e indicador. (Ej: D1-I2)	Aclaraciones, criterios de medición u otras notas

- Construir una matriz de comparaciones por pares para cada dimensión, evaluando la importancia relativa de cada indicador frente a los demás en una escala del 1 (igual importancia) al 9 (importancia extrema).

**Figura 10**  
Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 2

→ Formatos estandarización método AHP 

Formato 2: Matriz de comparaciones por pares (Una por dimensión)

DIMENSIÓN (ECONÓMICA, AMBIENTAL O SOCIAL)				
INDICADORES	INDICADOR 1	INDICADOR 2	INDICADOR 3..	INDICADOR 4...
INDICADOR 1				
INDICADOR 2				
INDICADOR 3..				
INDICADOR 4...				


**ESCALA DE SAATY**  
 1 = Igual importancia  
 3 = Moderadamente más importante  
 5 = Fuertemente más importante  
 7 = Muy fuertemente más importante  
 9 = Extremadamente más importante  
 1/3, 1/5, etc = Menor importancia proporcional

**¿Cómo llenar la matriz?**

- Escribe en las filas y columnas los indicadores de una misma dimensión.
- Compara cada indicador con los demás usando la escala de Saaty; indica cuál es más importante y cuánto más lo es.
- Asigna valores del 1 al 9 si un indicador es más importante, o fracciones (1/3, 1/5...) si es menos importante.
- En la diagonal (ej: Indicador 1 vs. Indicador 1), escribe siempre el número 1.
- Rellena la matriz simétricamente: si (1,2) = 3, entonces (2,1) = 1/3.

- Normalizar la matriz y calcular los pesos promedios por fila, lo que dará como resultado el peso interno de cada indicador.

**Figura 11**  
Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 3

→ Formatos estandarización método AHP 

Formato 3: Matriz normalizada (Una por dimensión)

DIMENSIÓN				
INDICADORES	INDICADOR 1 (NORM)	INDICADOR 2 (NORM)	INDICADOR 3 (NORM)..	PESO INTERNO (PROMEDIO FILA)
INDICADOR 1				
INDICADOR 2				
INDICADOR 3..				
...				


**¿Cómo llenar la matriz?**

- Suma los valores de cada columna en la matriz de comparaciones.
- Divide cada valor de la celda original por el total de su columna (normalización).
- Calcula el promedio de cada fila; este será el peso interno del indicador.
- Estos pesos se usarán luego para aplicar la proporción del 33.3% en el peso global.

- Verificar la consistencia del juicio con el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR). Si  $CR < 0,1$  los resultados son válidos.

**Figura 12**

*Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 4*


→ **Formatos estandarización método AHP** 

Formato 4: Verificación de consistencia AHP (Una por dimensión)


DIMENSIÓN			
INDICADORES	PESO AHP (W)	SUMA PONDERADA (M*W)	(M*W)/W
INDICADOR 1 (Nombre del indicador igual que en matrices anteriores)	Peso obtenido de la matriz normalizada (promedio por fila)	Resultado de multiplicar la matriz original de comparaciones por la columna de pesos W	Divide el valor de la suma ponderada por su respectivo peso W + esto da un valor aproximado de $\lambda$ .
INDICADOR 2			
INDICADOR 3...			
<b>PROMEDIO (<math>\lambda_{m\acute{a}x}</math>)</b>	.....	.....	Promedio de esta columna

**Figura 13**

*Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 5*

→ **Formatos estandarización método AHP** 

Formato 4.1: Tabla resumen consistencia (Una por dimensión)

PARÁMETRO	RESULTADO
$\lambda_{m\acute{a}x}$	Promedio obtenido de la matriz anterior
CI (Índice de consistencia)	 <div style="border: 1px solid green; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Cálculos adicionales</b></p> <math display="block">CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}</math> <math display="block">CR = \frac{CI}{RI}</math> <p>(con RI según la tabla estándar)</p> </div>
CR (Razón de consistencia)	
¿CR < 0,17?	

- Aplicar los pesos obtenidos dentro del 33,3% según corresponda en cada dimensión, construyendo así el peso final de cada indicador en la evaluación global.

**Figura 14***Plantilla formatos estandarización método AHP- Parte 6*

→ **Formatos estandarización método AHP**


Formato 5: Ponderación Final Global

INDICADOR	DIMENSIÓN	PESO INTERNO AHP	PESO DIMENSIÓN (33.3%)	PESO FINAL (MULTIPLICADO)
INDICADOR 1	Categoría de sostenibilidad a la que pertenece	Peso relativo del indicador dentro de su dimensión, calculado mediante AHP (valor entre 0 y 1)	Valor fijo correspondiente al peso global de la dimensión en la evaluación total	Resultado de multiplicar el peso interno por el peso de su dimensión. Representa el peso total del indicador en la evaluación global.
INDICADOR 2				
INDICADOR 3				
INDICADOR 4..				

**5.4.2. Fase 2: Medir**

El objetivo es caracterizar el estado actual del proceso productivo desde un enfoque sostenible a través de la obtención y análisis de datos relacionados con los indicadores seleccionados en la fase anterior. En esta fase se consolidan los resultados de las tres dimensiones aportando en la falta de correlación que se presenta entre indicadores y también se mitiga la complejidad metodológica o técnica al integrar enfoques complementarios como el TLS, haciendo que el análisis sea más estructurado, comprensible y equilibrado.

Esta fase se alinea con la etapa “Medir” del ciclo DMAIC, ya que permite recopilar, valorar, organizar y cuantificar los datos para establecer el punto de partida de la empresa y evaluar su desempeño sostenible. En coherencia con los principios *Lean*, esta etapa impulsa la toma de decisiones basada en datos reales del estado actual de la empresa, en lugar de suposiciones, para asegurar la objetividad y efectividad en la identificación de oportunidades de mejora y eliminación de ineficiencias del proceso productivo.

- **Subfase 2.1: Recolección de datos inicial**

- Recopilación de información

En esta etapa se obtiene la información del proceso en su estado actual para realizar con esta el análisis posterior. Esta recolección de datos se realiza mediante métodos mixtos que incorporen visitas a la planta, entrevistas semiestructuradas a operarios y supervisores, revisión de documentos internos y observación directa de procesos productivos. De este modo, se recolectan tanto datos cuantitativos, como cualitativos relevantes para el diagnóstico.

- Documentación de procesos clave


Los datos deben corresponder a los indicadores definidos anteriormente en la Fase 1 y por medio de estos poder cubrir aspectos clave como tiempos de ciclo, inventarios, consumo de recursos, generación de residuos, condiciones laborales, entre otros.

- Registro de datos en formatos

Asimismo, debe tenerse en cuenta el registrar esta información en formatos estandarizados donde se incluyan campos para unidad de medida, frecuencia de medición, fuente de los datos y observaciones específicas que puedan enmarcar los valores reportados.

### Figura 15

#### *Plantilla formato de recolección de datos*

 <b>Formato de Recolección de Datos</b>					
Datos necesarios para aplicar indicadores (Subfase 2.1)					
ID	PROCESO/ ACTIVIDAD	INDICADOR	VALOR REGISTRADO	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE MEDICIÓN
N° secuencial de cada registro	Nombre del proceso o actividad donde se recolecta el dato	Variable que se está midiendo (Ej:Tiempo de ciclo)	Resultado numérico o cualitativo medido	Unidad asociada al valor	Día en que se tomó el dato




- **Subfase 2.2: Construcción del mapa de flujo de valor actual**

- Dibujar el flujo del estado actual del proceso

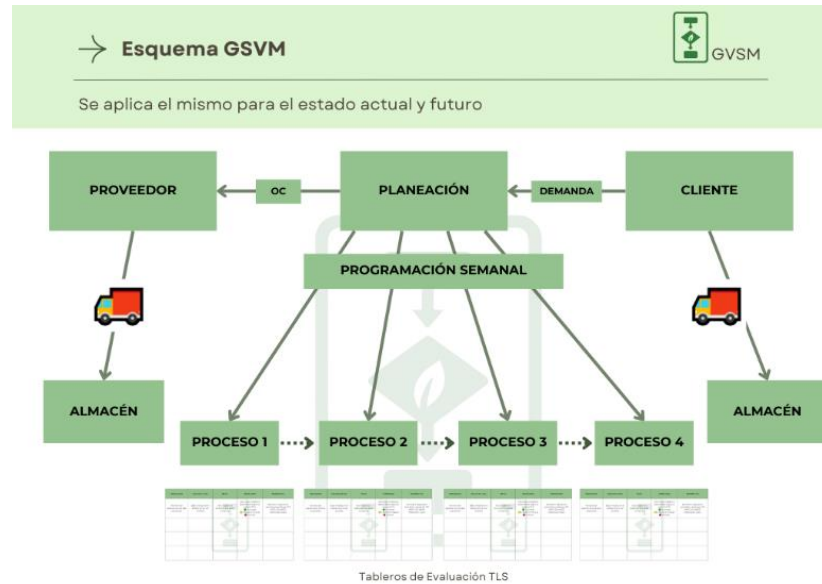
Con base en la información recolectada se continua con la elaboración del mapa de flujo de valor verde (GVSM) del estado actual. Este debe representar gráfica y claramente las principales actividades, flujos de materiales e información, puntos de almacenamiento, espera y transporte, junto con indicadores sostenibles asociados a cada etapa. Se utilizarán los íconos estándar del VSM tradicional, complementados con los indicadores del triple resultado.

**Figura 16**

*Plantilla iconos VSM tradicional*

 <b>Plantilla iconos VSM tradicional</b> 			
Íconos del VSM tradicional (Subfase 2.2)			
ÍCONO	NOMBRE DEL ÍCONO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO DE INDICADORES SOSTENIBLES QUE SE PUEDEN ASOCIAR
	Proceso	Etapa del proceso	CT, energía, residuos
	Inventario	Acumulación de productos	Volumen, días, espacio
	Flujo de materiales	Movimiento de productos	Distancia, emisiones
	Flujo de información	Flujo de datos/comunicaciones	Exactitud, tiempos, errores
	Tiempo de espera	Tiempo sin avance	Tiempo muerto, eficiencia
	Cliente	Demanda final	Calidad esperada, entregas a tiempo
	Proveedor	Entrada de materiales	Certificaciones, frecuencia
	Control de producción	Gestión de órdenes	Productividad, exactitud
	Electrónica/ERP	Sistemas digitales	Energía TIC, conectividad
	Transporte	Movimiento externo	Kilómetros, CO <sub>2</sub> , costos

**Figura 17**  
*Plantilla esquema GVSM*



- Validar el mapa con el equipo


Una vez terminado el mapa de flujo de valor actual, este debe ser validado con todo el equipo operativo y los representantes del proceso, esto puede ser en una reunión conjunta. La idea con esta actividad es asegurar la coherencia con la realidad del sistema de producción y realizar la corrección de posibles errores u omisiones en la interpretación del proceso manufacturero a estudiar.

- **Subfase 2.3: Cálculo de indicadores e índice de sostenibilidad actual**

- Calcular los indicadores definidos

En esta subfase se calculan los valores actuales de los indicadores definidos usando la información obtenida a través del proceso de recolección de datos durante la subfase 2.1. Es importante asegurar la consistencia en las unidades de medida, la periodicidad y la fuente de los datos para su validez.

**Figura 18***Plantilla matriz de indicadores- Estado actual*

→ **Matriz de Indicadores - Estado Actual**  GVSM

Cálculo de los indicadores (Subfase 2.3)

INDICADOR	DIMENSIÓN	VALOR ACTUAL	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR NORMALIZADO	PESO FINAL (%)	ÍNDICE PARCIAL	OBSERVACIONES
Nombre exacto del indicador evaluado	Económica, Ambiental o Social	Dato calculado a partir de la recolección	La unidad estándar usada para medir	Valor entre 0 y 1 para igualar escalas	Ponderación final obtenida en el AHP	Multiplicación entre el valor normalizado y el peso final del indicador	
<b>Índice de Sostenibilidad Global (ISG)</b>	—	—	—	—	—	Suma de todos los índices parciales	—

- Calcular el Índice de Sostenibilidad actual

Adicional al análisis individual de indicadores, se recomienda calcular un índice de sostenibilidad global del estado actual que una el desempeño de las tres dimensiones: económica, social y ambiental. Este índice forma la **línea base del proceso actual**, a partir de la cual se evaluarán los impactos de las mejoras implementadas en fases posteriores.

Su incorporación corresponde a los beneficios identificados en la literatura, donde destacan su utilidad para consolidar los resultados del GVSM en un valor cuantitativo único que facilite la interpretación y la toma de decisiones sostenibles. Más que imponer una única fórmula, se propone brindar a las empresas la flexibilidad de seleccionar el índice que mejor se adecue a su sector y realidad de sus procesos productivos, apoyándose en los diferentes enfoques reportados, tales como *Manufacturing Sustainability Index* (MSI), *Green productivity Index* (GPI), *Eco-Indicator*, *Manufacturing Sustainability Score* (MSS), *Sustainability Index* (SI), modelo de evaluación del SI de Garbie, entre otros.

- **Subfase 2.4: Evaluación TLS (semáforo)**

- Tabla de clasificación desempeño indicadores

Finalmente, se hace una evaluación visual del desempeño de los indicadores e índice global por medio del sistema de semáforo (*Traffic Light System – TLS*), con el objetivo de simplificar la priorización de intervenciones. Esta herramienta fue incorporada en esta metodología propuesta debido a su uso recurrente y efectividad comprobada en distintas variantes del GVSM, donde ha demostrado facilitar la clasificación visual de indicadores y apoyar la toma de decisiones sobre el desempeño sostenible de la empresa. Con tal efecto, se crea una tabla de clasificación con tres niveles:

- Verde: El indicador cumple con el estándar o meta establecida.
- Amarillo: El valor se acepta, pero requiere seguimiento o mejora.
- Rojo: El indicador presenta un desempeño crítico que demanda intervención urgente.

Este sistema no solo orienta mejoras operativas o sostenibles, también permite determinar rápidamente aquellas áreas cuyo desempeño podría implicar incumplimientos normativos o riesgos legales. Por ejemplo, indicadores en rojo vinculados con emisiones, residuos peligrosos, condiciones laborales o consumo energético puede señalar posibles violaciones a normativas como ISO 14001, reglamentos ambientales nacionales o estándares de seguridad laboral. Además, su incorporación responde al beneficio identificado en la literatura de facilitar el cumplimiento normativo mediante herramientas visuales de alerta temprana. Así, la herramienta se vuelve un apoyo visual y práctico para alinear las acciones de mejora con los marcos regulatorios exigidos por el entorno.

Como complemento, se sugiere incluir en la tabla de clasificación TLS una columna adicional o símbolo visual que indique si el indicador está vinculado a alguna regulación específica (por ejemplo: ISO 14001, resoluciones ambientales locales, legislación laboral, etc.). Esto permite hacer más visible la conexión entre el desempeño observado y las obligaciones legales asociadas, facilitando la toma de decisiones correctivas y la preparación ante auditorías.

**Figura 19**

*Plantilla tablero de evaluación TLS*

→ **Tablero de Evaluación TLS**

Estructura sugerida para agregar debajo de cada proceso en el GVSM (Subfase 2.4)

INDICADOR	VALOR ACTUAL	META	SEMÁFORO	NORMATIVA
Nombre del aspecto que se está evaluando	Dato medido en el estado actual del proceso	Valor objetivo o estándar que debe cumplirse	icono que muestra el desempeño según el sistema TLS: ● (cumple) ● (requiere mejora) ● (crítico).	Normas o regulación aplicable si existe (ej. ISO 14001, ISO 45001, Resolución local)
		↓	⬇	

- Visualización de resultados

Además de permitir una visualización clara del desempeño sostenible de los procesos productivos de la empresa, el TLS se convierte en una herramienta clave para la toma de decisiones, debido a que su clasificación facilita la identificación inmediata de los aspectos críticos que requieren intervención prioritaria, lo que permite definir con mayor claridad y orden el plan de acción a seguir para mejorar la condición de los indicadores que no cumplen con el objetivo plasmado. Los resultados pueden observarse en un tablero por dimensión o área, lo que permite la interpretación y toma de decisiones estratégicas en la siguiente fase de forma más sencilla, transformando el análisis de datos en decisiones

concretas y decisivas, alineadas con los objetivos sostenibles y estratégicos de la organización.

### **5.4.3. Fase 3: Analizar**

El objetivo es establecer las causas raíz de los problemas críticos que influyen en el desempeño sostenible del proceso, partiendo del análisis exhaustivo del estado actual representado en el GVSM. A su vez, busca superar una de las principales limitaciones reportadas en la literatura, la cual tiene que ver con analizar los indicadores de forma aislada, promoviendo la identificación de relaciones causa-efecto entre indicadores por medio de técnicas como los cinco porqués y la combinación de enfoques *Lean* y *Green* en el análisis del GVSM actual, respaldando una visión más integral del desempeño del proceso, en términos de productividad y de sostenibilidad ambiental.

Esta fase corresponde a la etapa “Analizar” del ciclo DMAIC, dada su misión de interpretar los datos recolectados en la fase anterior, identificar relaciones de dependencia entre métricas y determinar las causas raíz de los indicadores críticos que afectan el desempeño sostenible de la empresa en sus procesos manufactureros. En línea con los principios *Lean*, esta sección incluye la identificación de desperdicios como parte del análisis integral, pero desde una visión ampliada al incluir la perspectiva *Green*. Así, no solo se trata de eliminar elementos sin valor añadido, sino de comprender su impacto ambiental, social y económico, lo cual permite fundamentar las decisiones y acciones de la siguiente fase, orientadas hacia las mejoras sostenibles de alto impacto.

- **Subfase 3.1: Análisis de desperdicios**

- Revisar el GVSM actual e identificar los desperdicios y actividades con y sin valor agregado (VA/NVA)

Esta subfase se enfoca en analizar el mapa de flujo de valor actual elaborado en la fase 2 con el objetivo de identificar los desperdicios presentes en el proceso, desde dos categorías principales, la perspectiva clásica con los 7 desperdicios *Lean* (sobreproducción, espera, transporte, exceso de procesos, inventario, movimiento y defectos) y también el enfoque *Green* con los desperdicios ecológicos (emisiones, uso excesivo de recursos, contaminación, uso ineficiente de materiales, gestión deficiente de residuos, consumo de insumos no renovables, uso intensivo de empaques contaminantes). A partir de esta identificación, se evidencian de manera implícita las actividades que no agregan valor al producto, ni al cliente (NVA), como la acumulación de inventarios, tiempos de espera, movimientos repetitivos de materiales o trabajadores, cuellos de botella, reprocesos y consumos desequilibrados de recursos.

Como punto de partida, esta subfase se fundamenta en la alineación conceptual entre los desperdicios identificados y los principios que sostienen tanto el *Lean Manufacturing* como el *Green Manufacturing*. En ese sentido, los 7 desperdicios *Lean* se abordan desde el enfoque de eficiencia operativa, asociándose con el principio *Lean* de eliminar todo aquello que no agrega valor al cliente. Por otro lado, los desperdicios *Green* establecidos responden directamente a los principios del *Green Manufacturing* como la disminución del impacto ambiental, el uso eficiente de recursos, la prevención de la contaminación y la sostenibilidad del sistema productivo.

Además, la identificación combinada de los desperdicios *Lean* y *Green* permite detectar los indicadores sostenibles más afectados por ineficiencias del proceso. Cada desperdicio detectado tiene una relación directa o indirecta como uno o más indicadores, por lo que su mapeo no solo muestra los puntos críticos del flujo, también permite

establecer interconexiones entre las tres dimensiones. A partir de esta etapa, los indicadores vinculados a múltiples desperdicios o con impactos cruzados deben clasificarse como crítico, y serán priorizados en el análisis causa-raíz de la siguiente subfase.

Para lo cual, se comienza con la revisión general del mapa de flujo de valor del estado actual (construido en la Fase 2), los indicadores sostenibles calculados anteriormente, la evidencia acumulada por medio de la observación directa y las entrevistas a los actores del proceso. Para cada tipo de desperdicios se recomienda lo siguiente:

**Tabla 11**

*Recomendaciones desperdicios Lean*

<b>DESPERDICIOS LEAN</b>	
<b>Sobreproducción</b>	Comparar el ritmo de producción con la demanda real, identificar acumulaciones innecesarias de productos terminados o en proceso.
<b>Esperas</b>	Observar los tiempos de inactividad entre actividades, preguntar a operarios por qué hay detenciones o esperar prolongadas.
<b>Transporte</b>	Seguir de forma visual el recorrido físico de los materiales, anotar movimiento cruzados, largos o sin objetivo claro.
<b>Procesamiento ineficiente</b>	Analizar si hay pasos redundantes o controles que no agregan valor ni son requeridos por normas.
<b>Inventario</b>	Revisar si los niveles de materia prima o producto en proceso sobrepasan lo necesario para mantener un flujo continuo.
<b>Movimiento</b>	Observar desplazamiento repetitivos o innecesarios del personal durante su labor, evaluar la ergonomía del entorno.
<b>Defectos</b>	Identificar puntos donde suceden reprocesos o controles correctivos, revisar registros de calidad y reportes de no conformidad.

**Tabla 12**

*Recomendaciones desperdicios Green*

<b>DESPERDICIOS GREEN</b>	
<b>Emisiones</b>	Detectar fuentes directas de emisión (motores, hornos, ventilación), revisar mediciones ambientales o quejar por olores/ruidos.
<b>Consumo excesivo de recursos</b>	Comparar consumos de energía o agua por unidad de producto con referencias del sector o datos históricos.
<b>Contaminación</b>	Observar prácticas de disposición de residuos, control de derrames o emisiones sin tratamiento previo.
<b>Uso ineficiente de materiales</b>	Calcular porcentaje de merma en corte, mezclas, reprocesos o ajuste, analizar tasas de aprovechamiento.
<b>Gestión deficiente de residuos</b>	Revisar si hay segregación adecuada, rutas de reciclaje o disposición final documentada.
<b>Consumo de insumos no renovables</b>	Evaluar si los insumos pueden ser reemplazados por alternativas reciclables o biodegradables.

### DESPERDICIOS GREEN

**Uso excesivo de empaques contaminantes**

Identificar materiales no reutilizables o en exceso, preguntar por el origen y diseño del empaque.

Se sugiere realizar una sesión participativa con los trabajadores involucrados, donde se pregunte qué actividades consideran innecesarias o problemáticas. Este tipo de espacios puede mostrar problemas operativos que no son evidentes solo con ver los datos.

- Aplicación de íconos, colores o etiquetas estandarizadas

Una vez identificados los desperdicios y las actividades que no agregan valor se deben señalar estos visualmente en el GVSM, usando colores o etiquetas codificadas, por ejemplo, rojo para defectos, azul para transporte innecesario, verde para desperdicios ecológicos, etc.

### Figura 20

#### Plantilla iconos visualización de desperdicios GVSM



**Nota:** Como herramienta de sistematización del diagnóstico que se realice, se sugiere la construcción de una matriz de doble entrada, tipo *checklist*, donde se relacionen las etapas del proceso productivo con los 14 tipos de desperdicios. El objetivo de la matriz

es priorizar visualmente las áreas o etapas del proceso que tienen mayor cantidad y severidad de desperdicios, sirviendo como ayuda clave para la Fase 4 (Mejorar).


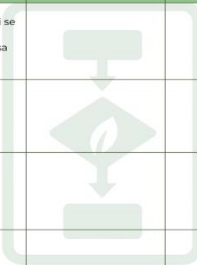
Esta matriz puede ser diligenciada de forma participativa y marcando en cuáles procesos se presentan claramente los desperdicios, además se pueden hacer anotaciones específicas de cada cruce, usando los insumos del análisis del GVSM, las observaciones en planta, las entrevistas y los indicadores de color rojo en la evaluación del TLS.

Para construir y aplicar esta matriz se pueden seguir los siguientes pasos:

- Ubicar en las filas, las etapas del proceso, por ejemplo: recepción, mezclado, envasado, etc. En las columnas se ubican los 14 tipos de desperdicios (7 *Lean* y 7 *Green*).
- Completar en sesiones de análisis con el equipo de trabajo, marcando en cada cruce si en esa etapa se identifica el tipo de desperdicio correspondiente. Se puede emplear una X y además poner una nota descriptiva breve.
- La información se plasma en una hoja de cálculo y se valida con los operarios.

### Figura 21

#### *Plantilla matriz diagnóstico de desperdicios*

 <b>Matriz Diagnóstico de Desperdicios - Checklist Visual</b> Relaciona las etapas del proceso con los 7 desperdicios Lean y 7 Green (Subfase 3.1)				
ETAPA DEL PROCESO	DESPERDICIO 1	DESPERDICIO 2	DESPERDICIO 3	DESPERDICIO 4...
ETAPA 1	Se coloca una "x" si se identifica ese desperdicio en esa etapa			
ETAPA 2				
ETAPA 3				
ETAPA 4...				

- **Subfase 3.2: Análisis causa-raíz**

- Revisar los indicadores


Una vez se identifican los desperdicios más importantes, se procede al análisis de las causas raíz que lo producen. Para esto, se comienza analizando la clasificación de los indicadores sostenibles utilizando el sistema de semáforo (TLS) establecido anteriormente. Aquellos indicadores que se encuentren en nivel rojo se deben considerar prioritarios para esta subfase por su impacto negativo en el desempeño general del proceso. Esta selección se fundamenta en la relación directa entre los desperdicios detectados y los indicadores afectados.

- Aplicar la técnica de los 5 ¿por qué?

El método sugerido para encontrar la causa raíz es la técnica de los 5 porqués, la cual consiste en cuestionar de manera iterativa el origen del problema hasta llegar a una causa estructural que brinde la posibilidad de tomar acciones correctivas efectivas. Esta herramienta es bastante útil en este tipo de entornos operativos ya que impulsa la reflexión conjunta entre las partes involucradas y no necesita de recursos técnicos avanzados.

El análisis debe aplicarse a cada indicador crítico, documentando el razonamiento en una **ficha de análisis** que incluya: Indicador afectado, valor actual y umbral de referencia, descripción del problema identificado, cadena de porqués aplicada, causa raíz determinada y observaciones asociadas. Además, se sugiere añadir una sección específica para documentar las interrelaciones entre indicadores, con el objetivo de reforzar la mirada sistemática e integral del modelo de evaluación.

**Figura 22***Plantilla ficha de análisis de indicadores críticos*

→ **Ficha de análisis de Indicadores críticos**


Registro detallado del razonamiento aplicado para identificar causas raíz y relaciones entre indicadores sostenibles en el proceso evaluado

INDICADOR CRÍTICO	VALOR ACTUAL	VALOR OBJETIVO	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	CADENA DE 5 POR QUÉS	CAUSA- RAÍZ DETERMINADA	RELACIÓN CON OTROS INDICADORES
Nombre del indicador por analizar	Dato cuantitativo más reciente disponible	Valor con el que se compara el indicador	Por qué el valor actual representa una situación crítica o un bajo desempeño sostenible	Registro de los 5 Porqués consecutivos	Resultado final del análisis con los 5 Porqués	Señalar si este problema afecta o está afectado por otros indicadores (interdependencia)

- Considerar interrelaciones entre indicadores

Asimismo, este análisis permite incluir de forma estructurada las interrelaciones entre diferentes indicadores sostenibles. Durante la aplicación de los cinco porqués, se recomienda prestar atención a las causas compartidas que afectan simultáneamente a múltiples indicadores, ya que esto puede evidenciar efectos cruzados entre dimensiones. Por ejemplo, si se detecta un sobreprocesamiento (desperdicio *Lean*) que implica uso excesivo de energía (desperdicio *Green*), el indicador de consumo energético por unidad productiva se vuelve críticos y debe evaluarse y clasificar con prioridad. En estos casos, el análisis de causa raíz no solo identifica el problema puntual, sino que revela conexiones sistémicas relevantes para la toma de decisiones integradas.

- Validación del análisis

Al final, los hallazgos deben validarse con el equipo técnico y operativo, reiterando que las causas identificadas estén en línea con la experiencia del personal y los datos recopilados. El propósito con este es construir una base robusta de comprensión sobre las

ineficiencias actuales del proceso, para guiar adecuadamente las propuestas de mejora sostenibles en la siguiente fase de la hoja de ruta.

#### **5.4.4. Fase 4: Mejorar**

El objetivo de esta fase es diseñar un estado futuro optimizando del proceso productivo, enfocado a la sostenibilidad, a través de la aplicación de soluciones que eliminen o disminuyan los desperdicios identificados, mejoren los indicadores clave e incrementen el desempeño general en términos económicos, sociales y ambientales. Aquí se abordan las barreras técnicas relacionadas con la complejidad metodológica mencionada en las limitaciones al proponer soluciones comprensibles y respaldadas por el trabajo conjunto de un equipo interdisciplinario.

Esta fase aborda la etapa “Mejorar” del ciclo DMAIC, al enfocarse en el diseño e implementación de soluciones y oportunidades de mejora que intervengan los indicadores y aspectos críticos de los procesos productivos, lo que permite optimizar su desempeño sostenible. Es en esta sección donde los principios *Lean* se traducen en acciones orientadas a eliminar los desperdicios previamente identificados y elevar el rendimiento sostenible integral del proceso productivo, generando mejoras con impacto ambiental, social y económico.

- **Subfase 4.1: Diseño del mapa de flujo de valor futuro**

- Redibujar el GVSM del estado deseado

Es momento de elaborar el GVSM futuro donde se visualice el estado futuro deseado que incluya y elimine las actividades que no agregan valor. Este nuevo mapa del flujo de valor debe construirse con base en el análisis de desperdicios y causa raíz realizados previamente, incluir soluciones sostenibles que se adapten a las condiciones de la organización y permitir alcanzar esos indicadores objetivos que se plantearon en un comienzo.

- Incluir soluciones específicas

El GVSM futuro debe reflejar cambios como la reducción o eliminación de esperas, reprocesos y desplazamientos innecesarios, mejoras ergonómicas, ambientales y de eficiencia energética e incorporación de prácticas sostenibles como el reciclaje, la reducción de consumo, el rediseño de empaques o la redistribución del espacio de trabajo. Así como recomendaciones generales para la organización.

Además, como en todas las fases, es fundamental asegurar la participación del equipo de trabajo durante el rediseño para garantizar su viabilidad operativa y alineación con las capacidades reales del sistema.

- **Subfase 4.2: Ejecución de mejoras mediante herramientas *Lean* y *Green***

- Aplicar herramientas para implementar las mejoras planteadas

Para que el GVSM futuro pueda volverse una realidad, es necesario implementar de forma estructurada las mejoras seleccionadas. La literatura revisada identifica diferentes herramientas *Lean* y *Green* que han demostrado ser efectivas en contextos manufactureros sostenibles. Las más destacadas son:

- Eventos *Kaizen* o *Kaizen Blitz*: metodologías participativas para implementar mejoras rápidas y enfocadas.
- 5S: organización del espacio de trabajo para mejorar orden, limpieza y eficiencia.
- SMED (*Single-Minute Exchange of Die*): reducción de tiempos de cambio de máquinas o procesos.
- TPM (*Total Productive Maintenance*): enfoque preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos.

- *Visual Management* y estandarización: apoyo al control visual y mantenimiento de las mejoras.

La selección de la herramienta desde hacerse con base en el nivel de madurez operativa de la organización y su necesidad específica. Además, se priorizan herramientas de bajo nivel de complejidad técnica para facilitar su implementación sin requerir altos recursos tecnológicos.

- Clasificar acciones por plazos

Cada acción de mejora debe clasificarse por horizonte temporal:

- Corto plazo (0-3 meses): acciones de bajo costo o rápida implementación.
- Mediano plazo (3-6 meses): mejoras con necesidad de ajustes moderados o capacitación.
- Largo plazo (más de 6 meses): cambios estructurales, inversiones o rediseños complejos.

**Figura 23**

*Plantilla matriz de acciones de mejora por plazo de implementación*

 <b>Matriz de acciones de mejora por plazo de implementación</b> 				
Priorización y organización de las acciones propuestas según su viabilidad y horizonte de aplicación en el proceso productivo				
MEJORA PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	INDICADORES RELACIONADOS	PLAN DE ACCIÓN PARA MIPLE	RESPONSABLES
Título breve que enuncie la propuesta de mejora	Debe responder a la pregunta: ¿Qué se quiere mejorar?	Indicadores que se verán impactados por la mejora propuesta	ACCIONES A CORTO PLAZO	Cargo, equipo o área dentro de la empresa encargada de liderar y ejecutar cada una de las acciones propuestas
			ACCIONES A MEDIANO PLAZO	
			ACCIONES LARGO PLAZO	
			ACCIONES A CORTO PLAZO	
			ACCIONES A MEDIANO PLAZO	
			ACCIONES LARGO PLAZO	

- **Subfase 4.3: Cálculo de indicadores y el índice de sostenibilidad proyectado**

- Calcular nuevamente los indicadores

Después de definir el diseño del estado futuro, lo que se hace es calcular los indicadores proyectados utilizando los mismos parámetros metodológicos de la línea base (Fase 2), permitiendo establecer una comparación directa. Para cada indicador clave se sugiere aplicar las siguientes fórmulas de cálculo ajustadas al estado futuro:

**Tabla 13**

*Fórmulas para cálculo de indicadores estado futuro GVSM*

INDICADOR	CÁLCULO
<b>Tiempo de ciclo (CT)</b>	$CT \text{ futuro} = CT \text{ actual} - \text{tiempo eliminado por mejoras (automatización, redistribución, eliminación de esperas)}$ .
<b>Takt Time (TT)</b>	$TT = \text{Tiempo disponible por turno} / \text{Demanda del cliente}$ (Se mantiene constante, excepto a cambios de la demanda o el tiempo disponible).
<b>Índice de defectos</b>	$\text{Defectos futuros} = \text{Defectos actuales} - \text{reducción por mejoras en calidad o formación}$ .
<b>Consumo energético (kWh/unidad)</b>	$\text{Energía proyectada} / \text{Producción estimada}$ (Incluir reducciones por nuevos equipos o ajustes de proceso).
<b>Satisfacción de trabajador</b>	Estimada a partir de encuestas comparativas o sesiones de retroalimentación.
<b>Emisiones de CO2</b>	Ajustadas a partir del cambio en insumos o eficiencia energética, usando factores de emisión
<b>Inventario</b>	Estimados según rediseño de lotes o implementación de sistemas pull.
<b>Rotación y ausentismo</b>	Proyectados en función de mejoras en ambiente laboral, ergonomía o formación

- Comparar indicadores

Se deben comparar los nuevos valores obtenidos para el GVSM futuro, destacando los cambios positivos producidos que sucederían si se ejecutaran las estrategias de mejora continua propuestas a los desperdicios y problemáticas identificadas. Estas mejoras permiten materializar diversos beneficios clave como la reducción de cuellos de botella, consumo energético, emisiones y residuos contaminantes mediante un rediseño sostenible que optimice el rendimiento operativo y mitigue sus principales impactos ambientales.

- Calcular el Índice de Sostenibilidad

Calcular el índice de sostenibilidad para el GVSM futuro, utilizando los mismos métodos aplicados para el del estado actual, y poder realizar la comparación lógica.

El resultado de estos cálculos permite cuantificar las mejoras esperadas y establecer metas claras para la implementación. Esta comparación muestra las áreas con mayor potencial de avance y fortalece la toma de decisiones para asegurar la ejecución efectiva del modelo propuesto.

#### **5.4.5. Fase 5: Controlar**

El propósito de esta fase es asegurar la sostenibilidad en el tiempo de las mejoras implementadas, consolidar los avances logrados en las dimensiones económica, ambiental y social, y convertir el reanálisis periódico del proceso en un pilar clave para institucionalizar el ciclo de mejora continua. Este enfoque permite mantener los resultados alcanzados, detectar desviaciones a tiempo, adaptar estrategias ante cambios del entorno y fortalecer la gestión proactiva del desempeño. Cuando el control y el reanálisis se establecen como prácticas sistemáticas (con responsables asignados, frecuencias regulares y mecanismos de seguimiento), las mejoras dejan de ser un evento puntual para convertirse en una rutina organizacional estructurada. Esta fase promueve el enfoque más comprensible de la metodología por medio de la retroalimentación continua, lo que también ayuda a minimizar la complejidad técnica y a fortalecer el enfoque sistémico.

Esta fase corresponde a la etapa “Controlar” del ciclo DMAIC, ya que establece mecanismos de seguimiento y retroalimentación constante que aseguren la sostenibilidad de las mejoras implementadas. Esta visión retoma el principio *Lean* de mejora continua como un proceso cíclico, donde cada resultado de la implementación del GVSM representa un avance progresivo

hacia la “perfección” del sistema productivo en términos de desarrollo sostenible, reconociendo que siempre existirán oportunidades de mejora.

Una vez se implementen las acciones de mejora y se establezca el nuevo mapa de flujo de valor (GVSM futuro), este se convierte en el nuevo punto de partida del sistema productivo (GVSM actual). Para garantizar que los resultados obtenidos se mantengan en el tiempo y no se pierdan, es necesario establecer mecanismos de seguimiento continuo y control operativo.

Se recomienda la asignación de responsables de monitoreo para cada uno de los indicadores sostenibles seleccionado, así como establecer frecuencias regulares de evaluación (mensual, trimestral, semestral) de acuerdo con lo crítico que sea el proceso. Este seguimiento debe realizarse con base en los mismos formatos y fuentes definidos en las fases anteriores para mantener la trazabilidad y la comparación de los datos a lo largo del tiempo.

De forma estratégica, se plantea que la lógica de mejora continua no sea un evento puntual, sino una práctica institucionalizada dentro del modelo de gestión organizacional. Para ello, una práctica que se recomienda es reiniciar el ciclo metodológico completo de la hoja de ruta, desde la Fase 1, una vez que se consolide el nuevo estado del proceso. Esta retroalimentación cíclica permite identificar nuevas oportunidades de mejora, responder a cambios del entorno operativo o de los objetivos organizacionales, y reforzar la cultura de sostenibilidad dentro de la empresa. La evidencia recopilada en varios casos de estudio demuestra que este enfoque iterativo es fundamental para evolucionar de intervenciones aisladas hacia modelos de gestión más resilientes, adaptables y sostenibles.

Finalmente, esta hoja de ruta no se limita a guiar la implementación técnica del GVSM, también ofrece una estructura integral para combinar el desempeño productivo con las exigencias normativas y las expectativas del entorno. Al incluir desde el principio los compromisos

ambientales, sociales y económicos definidos por políticas locales internacionales, como por ejemplo, las leyes de residuos, la transición energética, los ODS o las normas ISO, se hace más sencilla la trazabilidad del cumplimiento regulatorio y refuerza la preparación frente a auditorías. Más allá del control y la mejora, su aplicación convierte a la organización en un actor proactivo, capaz de tomar decisiones financieras más informadas, fortalecer su competitividad e imagen corporativa, adaptarse, generar confianza y sostener su legitimidad en mercados cada vez más regulados y exigentes.

### **5.5. Artículo académico publicable y selección de revista científica**

Para dar cumplimiento al quinto objetivo específico de esta investigación, se propone la elaboración de un artículo académico publicable que sintetice los principales hallazgos obtenidos a lo largo del estudio, incluyendo la caracterización del *Green Value Stream Mapping* (GVSM), sus beneficios, limitaciones y variantes, así como la propuesta de la hoja de ruta metodológica para su implementación. Con base en el análisis temática y metodológico realizado, la revista seleccionada para su posible publicación es *Sustainability* por MDPI, gracias a su enfoque interdisciplinario y la afinidad directa con el objetivo de estudio.

*Sustainability* es una revista científica internacional arbitrada y de acceso abierto, indexada en Scopus y Web of Science, clasificada como Q2 en JCR y Q1 en CiteScore. Publica investigaciones sobre sostenibilidad y herramientas *Lean* como GVSM, DMAIC y TBL, lo que la hace adecuada para este trabajo. Su proceso editorial es ágil y el artículo debe seguir la plantilla MDPI, con estructura estándar y citación numérica, además de enviarse en inglés (*Sustainability*, s. f.).

La elección de *Sustainability* no solo responde a su alineación temática con el enfoque del proyecto, también por su amplio alcance internacional y visibilidad, lo que permitirá difundir los

resultados obtenidos a un público global interesado en la transición hacia modelos de producción más sostenibles. El modelo del artículo completo elaborado para esta publicación puede consultarse en el **Apéndice D**.

## 6. Conclusiones

En un entorno donde la sostenibilidad se ha consolidado como un pilar estratégico para el desarrollo industrial, esta investigación contribuyó de forma significativa al cuerpo de conocimiento sobre el *Green Value Stream Mapping* (GVSM), al condensar y estructurar de manera integral la información técnica, conceptual y metodológica dispersa en la literatura científica. A través de una revisión sistemática de 50 artículos académicos, se caracterizaron los fundamentos teóricos del GVSM, sus principales variantes, enfoques de aplicación, indicadores sostenibles y herramientas metodológicas complementarias, lo que permitió construir una visión holística sobre esta herramienta.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la falta de estandarización en la implementación del GVSM, ya que la mayoría de los estudios analizados corresponden a casos individuales altamente personalizados. Esta diversidad de enfoques ha derivado en una amplia variedad de versiones de la herramienta, dificultando su replicabilidad entre sectores y su uso práctico por parte de las organizaciones. En consecuencia, se evidenció la necesidad de diseñar un modelo metodológico flexible que permita superar esas barreras.

Como respuesta, el principal producto de esta investigación fue la propuesta de una hoja de ruta metodológica estructurada en cinco fases (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), basada en el enfoque DMAIC. Esta hoja de ruta constituye una guía práctica para implementar el GVSM en entornos manufactureros, incorporando métricas del Triple Bottom Line (económico,

ambiental y social), técnicas de análisis multicriterio como AHP, y herramientas como TLS y SIPOC. Se diseñaron además plantillas operativas y visuales que permiten adaptar la herramienta a distintos sectores y contextos organizacionales.

Desde el punto de vista académico, este trabajo representa un aporte original al sistematizar y unificar el conocimiento existente sobre el GVSM, brindando una base sólida para futuras investigaciones, desarrollos sectoriales o validaciones empíricas. Desde una perspectiva práctica, ofrece a las organizaciones un recurso estratégico para diagnosticar, rediseñar y optimizar sus procesos con enfoque sostenible, contribuyendo directamente al cumplimiento de objetivos globales como el ODS 12 de producción y consumo responsables.

En suma, este estudio reafirma el potencial del GVSM como una herramienta transformadora para las empresas que desean integrar sostenibilidad en sus operaciones. La hoja de ruta propuesta permite traducir este potencial en acciones concretas, ajustadas a las capacidades y necesidades de cada organización, impulsando la toma de decisiones basada en evidencia y el desarrollo de procesos productivos más responsables y eficientes. Finalmente, el GVSM se reafirma como una herramienta con gran potencial para transformar procesos industriales, siempre que su implementación se fundamente en criterios técnicos claros y adaptables. Este trabajo aporta una base sólida y operativa para facilitar dicha implementación, fortaleciendo la toma de decisiones en pro de la sostenibilidad integral.

## **7. Recomendaciones y futuras líneas de investigación**

Partiendo de los hallazgos obtenidos, se proponen recomendaciones dirigidas a investigadores, académicos y profesionales interesados en aplicar el GVSM de forma más integral.

Se destaca la necesidad de fortalecer la dimensión social, incorporando métricas relacionadas con bienestar laboral, equidad, inclusión y seguridad ocupacional.

Asimismo, se sugiere utilizar los indicadores propuestos en esta hoja de ruta como base para futuras aplicaciones sectoriales, avanzando hacia una estandarización progresiva que facilite la comparación entre casos y la evaluación del impacto sostenible. Para ello, se considera fundamental validar empíricamente la hoja de ruta mediante pruebas piloto en entornos reales, que permitan ajustar su aplicabilidad y recoger retroalimentación directa.

También se recomienda integrar tecnologías como sensores, tableros en tiempo real o gemelos digitales, junto con la formación en enfoques *Lean*, sostenibilidad y análisis de datos.

En cuanto a futuras líneas de investigación, se plantea aplicar el GVSM en sectores no manufactureros (como salud, servicios o educación), explorar su integración con inteligencia artificial y simuladores, y profundizar en su relación con la economía circular. Finalmente, se sugiere avanzar en metodologías híbridas desde la perspectiva del “*sustainable manufacturing*”, articulando el GVSM con marcos normativos, políticas industriales verdes y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

### Referencias bibliográficas

- Aadithya, B. G., Asokan, P., & Vinodh, S. (2023). Lean manufacturing in fabrication industry: literature review and framework proposal. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(6), 1485–1517. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2021-0084>
- Allen, L., Jones, C., Dolby, K., Lynn, D., & Walport, M. (2009). *Looking for landmarks: The role of expert review and bibliometric analysis in evaluating scientific publication outputs*. *PLoS ONE*, 4(6), e5910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005910>
- Aouag, H., & Soltani, M. (2023). Improvement of lean manufacturing approach based on MCDM techniques for sustainable manufacturing. *International Journal of Manufacturing Research*, 18(1), 50-74.
- Bait, S., Di Pietro, A., & Schiraldi, M. M. (2020). Waste Reduction in Production Processes through Simulation and VSM. *Sustainability*, 12(8), 3291. <https://doi.org/10.3390/su12083291>
- Baliga, R., Raut, R., & Kamble, S. (2020). The effect of motivators, supply, and lean management on sustainable supply chain management practices and performance: Systematic literature review and modeling. *Benchmarking : An International Journal*, 27(1), 347–381. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2019-0004>
- Bancovich Erquínigo, A., Ortiz Porras, J., Quintana Saavedra, H., Crispin Chamorro, P., Manrique Alva, R., & Vilca Carhuapuma, P. (2023). Green lean method to identify ecological waste in a nectar factory. *International Journal of Production Management and Engineering*, 11(2), 197–207. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2023.19938>
- Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M., & Giallanza, A. (2023). Towards smart sustainable development through value stream mapping – A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133353. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133353>

- Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M., & Giallanza, A. (2024). *Impact of smart sustainable value stream mapping – Fuzzy PSI decision-making framework. Sustainable Futures*, 7, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100201>
- Bertagnolli, F., Herrmann, K., Rittmann, I., & Viere, T. (2021). *The application of lean methods in corporate sustainability—A systematic literature review. Sustainability*, 13(22), 12786. <https://doi.org/10.3390/su132212786>
- Chen, W., Yang, Y., & Chen, H. (2024). Determinants of carbon inventory and Systematic Innovation methods to analyze the strategies of carbon reduction: An Empirical study of Green lean Management in electroplating an factory. *Sustainability*, 16(19), 8301. <https://doi.org/10.3390/su16198301>
- Choudhary, S., Nayak, R., Dora, M., Mishra, N., & Ghadge, A. (2019) SI-TBL: an integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the UK. *Production Planning & Control*, 30 (5-6). pp. 353-368. ISSN 0953-7287 <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501811>
- Cuartas Díaz, M., y Durán Páez, M. Á. (2024). *Oportunidades de implementación de herramientas Lean en el sector panelero: Un estudio de caso múltiple en la provincia de Guanentá, Santander*. Repositorio de la Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/items/1fe75642-b156-4f7f-a842-38c818992f1c>
- Dewi, S., Febrianti, R., & Utama, D. (2023). An integrated method for manufacturing sustainability assessment in tire industry: A case study in Indonesia. *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/19397038.2023.2276936>

- Djatna, T., & Prasetyo, D. (2019). Integration of Sustainable Value Stream Mapping (Sus. VSM) and Life-Cycle Assessment (LCA) to Improve Sustainability Performance. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9, 1337. [10.18517/ijaseit.9.4.9302](https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.4.9302).
- Domínguez, E., Pérez, B., Rubio, Á. L., & Zapata, M. A. (2019). A taxonomy for key performance indicators management. *Computer Standards & Interfaces*, 64, 24-40. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.12.001>.
- Dos Santos, D. L., Giglio, R., Helleno, A. L., & Campos, L. M. S. (2019). Environmental aspects in VSM: a study about barriers and drivers. *Production Planning & Control*, 30(15), 1239–1249. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1605627>
- Duarte Amado, P. A. (2024). *Integración del enfoque Lean Green en la Cadena de Suministros: Una revisión sistemática de literatura*. Repositorio de la Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/items/b3ea3589-e4f8-4a0d-a519-4ccc28b196cc>
- Ebrahimi, A., Khakpour, R., & Saghiri, S. (2023). Sustainable setup stream mapping (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing. *Production Planning & Control*, 34(4), 311–329. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1916637>
- Estrada-González, I. E., Taboada-González, P. A., Guerrero-García-Rojas, H., & Márquez-Benavides, L. (2020). Decreasing the Environmental Impact in an Egg-Producing Farm through the Application of LCA and Lean Tools. *Applied Sciences*, 10(4), 1352. <https://doi.org/10.3390/app10041352>
- Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). *Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses*. *The FASEB Journal*, 22(2), 338–342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>
- Ferrazzi, M., Frecassetti, S., Bilancia, A., & Portioli-Staudacher, A. (2025). Investigating the influence of lean manufacturing approach on environmental performance: A systematic literature review.

*International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 136(9), 4025–4044.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-024-13215-5>

Fitriadi, F., & Mohamad Ayob, A. F. (2023). Continuous improvement strategy in traditional shipyard industry: A holistic approach towards sustainability. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 16, 255–268. <https://doi.org/10.22094/joie.2023.1982419.2052>

Fitriadi, F., & Mohamad Ayob, A. F. (2025). Optimizing traditional shipyard industry: Integrating VSM and sustainability indicators for continuous improvement. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 46(2), 155–170. <https://doi.org/10.37934/araset.46.2.155170>

Gargalo, C. L., Pereda Pons, E., Barbosa-Póvoa, A. P., & Carvalho, A. (2021). A Lean Approach to Developing Sustainable Supply Chains. *Sustainability* 2021, 13, 3714. <https://doi.org/10.3390/su13073714>

Ghaziani, S., Dehbozorgi, G., Bakhshoodeh, M., & Doluschitz, R. (2023). Identifying loss and waste hotspots and data gaps throughout the wheat and bread lifecycle in the Fars Province of Iran through value stream mapping. *Sustainability*, 15(10), 8404. <https://doi.org/10.3390/su15108404>

Gholami, H., Jamil, N., Mat Saman, M. Z., Streimikiene, D., Sharif, S., & Zakuan, N. (2020). The application of Green Lean Six Sigma. *Business Strategy And The Enviroment*, 30. <https://doi.org/10.1002/bse.2724>

Gholami, H., Jamil, N., Zakuan, N., Mat Saman, M. Z., Sharif, S., Awang, S. R., & Sulaiman, Z. (2019). *Social value stream mapping (Socio-VSM): Methodology to societal sustainability visualization and assessment in the manufacturing system. IEEE Access*, 7, 131638–131648. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940957>

- Giret, A., Trentesaux, D., & Prabhu, V. (2015). Sustainability in manufacturing operations scheduling: A state of the art review. *Journal of Manufacturing Systems*, 37(1), 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.08.002>
- Haven, T. L., & Van Grootel, D. L. (2019). *Pragmatic nihilism in qualitative research: The perils and promise of neglecting epistemology*. *Qualitative Inquiry*, 25(8), 729–739. <https://doi.org/10.1177/1077800418809450>
- Hedlund, C., Stenmark, P., Noaksson, E., & Lilja, J. (2020). More value from fewer resources: how to expand value stream mapping with ideas from circular economy. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 12(4), 447-459. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-05-2019-0070>
- Hernandez Marquina, M. V., Zwolinski, P., & Mangione, F. (2021). Application of Value Stream Mapping tool to improve circular systems. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100270>
- International Trade Administration. (2007). *How does commerce define sustainable manufacturing?* U.S. Department of Commerce.
- Ishak, A., Mohamad, E., Sukarna, L., Mahmood, A. R., A Rahman, M., Yahya, S., Salleh, M., & Sulaiman, M. (2019). Cleaner production implementation using extended value stream mapping for enhancing the sustainability of lean manufacturing. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 11(1), 47–60. Recuperado de <https://jamt.utem.edu.my/jamt/article/view/2828>
- Jadhav, J.R., Mantha, S.S. & Rane, S.B. (2014), “Exploring barriers in lean implementation”, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 5 No. 2, pp. 122-148
- Jamil, N., Gholami, H., Mat Saman, M. Z., Streimikiene, D., Sharif, S., & Zakuan, N. (2020). DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system.

*Economic Research - Ekonomska Istraživanja*, 33(1), 331–360.  
<https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1715236>

Johansson, P. E., & Osterman, C. (2017). Conceptions and operational use of value and waste in lean manufacturing—an interpretivist approach. *International Journal of Production Research*, 55(23), 6903–6915. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1326642>

Khakpour, R., Ebrahimi, A., & Saghiri, S. (2023). How to assess and improve the triple bottom line (TBL) in manufacturing processes: a real case in home appliance manufacturing. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(7), 1456–1491. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2022-0202>

Klewitz, J., & Hansen, E. G. (2014). Sustainability-oriented innovation of SMEs: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 57–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>

Larsson, D., & Ratnayake, R. M. C. (2024). Sustainable Transformation: A Case Study of an Engineering-to-Order Additive Manufacturing Firm. *Applied Sciences*, 14(20), 9417-. <https://doi.org/10.3390/app14209417>

Lee, J. K. Y., Gholami, H., Mat Saman, M. Z., Bin Ngadiman, N. H. A., Zakuan, N., Mahmood, S., & Omain, S. Z. (2021). Sustainability-Oriented Application of Value Stream Mapping: A Review and Classification. *IEEE Access*, 9, 68414–68434. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077570>

Mangers, J., Elahi, M. A., & Plapper, P. (2023). Digital twin of end-of-life process-chains for a circular economy adapted product design: A case study on PET bottles. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135287>

Marie, I. A., Sari, E., Dewayana, T. S., Lestari, F., Chofreh, A. G., Goni, F. A., & Klemeš, J. J. (2022). *Enhancing sustainable performance using lean quality competitive manufacturing strategy: A case*

*study in the luggage company. Chemical Engineering Transactions, 94, 943–948.*  
<https://doi.org/10.3303/CET2294157>

Masudin, I., Alfarisi, S., Suhartin, E., Restuputri, D. P., & Shariff, S. S. R. (2025). Hotspot identification for improving cane-sugar sustainable supply chain through the integration of life cycle assessment and value stream mapping. *Process Integration and Optimization for Sustainability, 9*(3), 605–624. <https://doi.org/10.1007/s41660-025-00486-y>

Melin, M., & Barth, H. (2020). *Value stream mapping for lean and green manufacturing – a methodology. Journal of Cleaner Production, 273, 123145.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123145>

Minh, N. D., Nguyen, N. D., & Cuong, P. K. (2019). Applying lean tools and principles to reduce cost of waste management: an empirical research in Vietnam. *Management and Production Engineering Review, 10*(1). <https://doi.org/10.24425/mper.2019.128242>

Mishra, A. K., Sharma, A., Sachdeo, M., & Jayakrishna, K. (2019). Development of sustainable value stream mapping (SVSM) for unit part manufacturing: A simulation approach. *International Journal of Lean Six Sigma, ahead-of-print.* <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2018-0036>

Mohama, E., Ishak, A., Bin Salleh, M. R., Rahman, M. A. A., Ito, T., & Sulaiman, M. A. (2019). *Cleaner production value stream mapping at a chromium plating plant: A case study. International Journal of Agile Systems and Management, 12*(3), 245–260.  
<https://doi.org/10.1504/IJASM.2019.10022800>

Mubin, A., Utama, D. M., & Nusantara, R. C. (2022). Manufacturing Sustainability Assessment Comprising Physical and Mental Workload: An Integrated Modified SVSM and AHP Approach. *Process Integration and Optimization for Sustainability, 7*(1–2), 407–417.  
<https://doi.org/10.1007/s41660-022-00300-z>

- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., García-Sabater, J. J., Lleo, Á., & Grau, P. (2019). *Green value stream mapping approach to improving productivity and environmental performance*. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(3), 608–625. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2018-0216>
- Niklasson, L. (2019). *Improving the sustainable development goals: Strategies and the governance challenge*. Taylor & Francis Group. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouis-ebooks/detail.action?docID=5750584>
- Organización de las Naciones Unidas. (2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Pathak, V., Jena, B., & Kalra, S. (2013). *Qualitative research. Perspectives in Clinical Research*, 4(3), 192. <https://doi.org/10.4103/2229-3485.115389>
- Pattanaik, L. N., Baug, T. K., & Koteswarapavan, Ch. (2019). A hybrid ELECTRE based prioritization of conjoint tools for lean and sustainable manufacturing. *Production Engineering*, 13(6), 665–673. <https://doi.org/10.1007/S11740-019-00920-4>
- Petrenko, Y., Denisov, I., Koshebayeva, G., & Biryukov, V. (2020). Energy Efficiency of Kazakhstan Enterprises: Unexpected Findings. *Energies (Basel)*, 13(5), 1055-. <https://doi.org/10.3390/en13051055>
- Prayugo, J., & Zhong, L. X. (2021). *Green productivity: Waste reduction with green value stream mapping. A case study of leather production*. *International Journal of Production Management and Engineering*, 9(1), 47–55. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2021.12254>
- Putri, A. A. A., Hartini, S., & Purwaningsih, R. (2021). *Sustainable value stream mapping design to improve sustainability performance of animal feed production process*. *Evergreen*, 8(1), 107–116. <https://doi.org/10.5109/4372266>

- Quiroga Pinzón, F. D. (2022). *Revisión de la literatura sobre la implementación del modelo de gestión Lean Manufacturing en empresas del sector industrial colombiano*. Repositorio de la Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/items/93227e92-8070-47e1-a1ab-f707ad98e86d>
- Rosiani, T. Y., Utama, D. M., Ummudiyah, A. Y., & Amallynda, I. (2024). *Sustainable manufacturing assessment using Sustainable VSM and AHP involving workload and machine efficiency: A case study in Indonesian paving block production*. *Circular Economy and Sustainability*, 4, 2049–2071. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00366-6>
- Sanz-Torró, V., Calafat-Marzal, C., Guaita-Martinez, J. M., & Vega, V. (2025). Assessment of European countries' national circular economy policies. *Journal of Environmental Management*, 373, 123835-. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123835>
- Saria, E., Marie, I. A., Erika, E., Chofreh, A. G., Goni, F. A., Klemeš, J. J., & Zeinalnezhad, M. (2021). Lean sustainable competitive manufacturing strategy assessment: A case study in the Indonesian car manufacturing company. *Chemical Engineering Transactions*, 88, 859–864. <https://doi.org/10.3303/CET2188143>
- Serafim Silva, E., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., Liu, G., & Giannetti, B. F. (2024). Value stream mapping for sustainability: A management tool proposal for more sustainable companies. *Sustainable Production and Consumption*, 47, 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.009>
- Shahbazi, S., Kurdve, M., Zackrisson, M., Jönsson, C., & Kristinsdottir, A. R. (2019). *Comparison of four environmental assessment tools in Swedish manufacturing: A case study*. *Sustainability*, 11(8), 2173. <https://doi.org/10.3390/su11082173>
- Silva, C. S. e, Azevedo, S., & Fonseca, M. (2024a). Lean Green Tendency: a Systematic Literature Review. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 21(4), 2328-. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2328.2024>

- Silva, E. S., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., Liu, G., & Giannetti, B. F. (2024b). *Value stream mapping for sustainability: A management tool proposal for more sustainable companies*. *Sustainable Production and Consumption*, 47, 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.009>
- Sustainability*. (s. f.). <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>
- Swarnakar, V., Singh, A. R., Antony, J., Tiwari, A. K., & Cudney, E. (2021). Development of a conceptual method for sustainability assessment in manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107403-. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107403>
- Thanki, S. J., & Thakkar, J. (2016). *A framework for green lean six sigma implementation in supply chain of small and medium scale industry*. *Journal of Cleaner Production*, 135, 377–393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.105>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Utama, D. M., & Abirfatin, M. (2023). Sustainable Lean Six-sigma: A new framework for improve sustainable manufacturing performance. *Cleaner Engineering and Technology*, 17, 100700-. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100700>
- Utama, D. M., Ardiyanti, N., & Putri, A. A. (2022). A new hybrid method for manufacturing sustainability performance assessment: a case study in furniture industry. *Production & Manufacturing Research*, 10(1), 760–783. <https://doi.org/10.1080/21693277.2022.2141366>
- Verma, N., & Sharma, V. (2019). *A literature review on energy value stream mapping (EVSM)*. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 27(1), 1–8.
- Verma, N., & Sharma, V. (2021). An I4.0 Review on Lean Green and Six Sigma Based on Energy Parameter. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 12(3), 30–46. <https://doi.org/10.4018/IJSESD.2021070103>

- Verma, N., Sharma, V. & Badar, M.A. (2021). Entropy-Based Lean, Energy and Six Sigma Approach to Achieve Sustainability in Manufacturing System. *Arab J Sci Eng* **46**, 8105–8117. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05826-x>
- Vostriakova, V., Kononova, O., Kravchenko, S., Ruzhytskyi, A., & Sereda, N. (2021). Optimization of agri-food supply chain in a sustainable way using simulation modeling. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21(3), 245–256. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.3.33>
- Zhu, X.-Y., Zhang, H., & Jiang, Z.-G. (2020) Application of green modified value stream mapping to integrate and implement lean and green practices: A case study, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33:7, 716-731, DOI: 10.1080/0951192X.2019.166702