



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR: UNA REVISIÓN SISTÉMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GREEN LEAN SIX SIGMA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

**TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY: A SYSTEMATIC
REVIEW OF THE IMPLEMENTATION OF GREEN LEAN SIX
SIGMA IN THE MANUFACTURING INDUSTRY**

Iniria Guevara Ramírez

Tecnologico Nacional de Mexico Instituto Tecnologico de Tehuacan

Juan Manuel Corichi Reyes

Tecnologico Nacional de Mexico Instituto Tecnologico de Tehuacán

Israel Martínez Zárate

Tecnologico Nacional de Mexico Instituto Tecnologico de Tehuacan Universidad Nacional - Mexico

Ramón Heredia García

Tecnologico Nacional de Mexico Instituto Tecnologico de Tehuacan Universidad Nacional - Mexico

José Ernesto Clemente García Pérez

Tecnologico Nacional de Mexico Instituto Tecnologico de Tehuacan Universidad Nacional - Mexico

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15129

Hacia una Economía Circular: Una Revisión Sistémica de la Implementación de Green Lean Six Sigma en la Industria Manufacturera

Iniria Guevara Ramírez¹

iniria.gr@tehuacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6390-1661>

Tecnologico Nacional de Mexico

Instituto Tecnologico de Tehuacan

Juan Manuel Corichi Reyes

juanmanuel.cr@tehuacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-8148-0959>

Tecnologico Nacional de Mexico

Instituto Tecnologico de Tehuacán

Israel Martínez Zárate

israel.mz@tehuacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7896-784X>

Tecnologico Nacional de Mexico

Instituto Tecnologico de Tehuacan Universidad

Nacional

Mexico

Ramón Heredia García

ramon.hg@tehuacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0007-9343-1414>

Tecnologico Nacional de Mexico

Instituto Tecnologico de Tehuacan Universidad

Nacional

Mexico

José Ernesto Clemente García Pérez

joseernestoclementegp@tehuacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7874-8647>

Tecnologico Nacional de Mexico

Instituto Tecnologico de Tehuacan Universidad

Nacional

Mexico

RESUMEN

Este artículo realiza una revisión sistemática sobre la implementación de Green Lean Six Sigma (GLSS) en el contexto de la manufactura, destacando su potencial para contribuir a la economía circular mediante las 3R: reducir, reutilizar y reciclar. A pesar de su reconocida efectividad en la industria manufacturera, los profesionales siguen siendo cautelosos debido a la falta de conocimiento y cultura sobre el tema. El estudio resalta que la integración de Lean y Six Sigma con enfoques ecológicos puede mejorar la sostenibilidad de los procesos industriales. Sin embargo, se identifican limitaciones en su implementación, como la falta de un enfoque orientado a proyectos y herramientas matemáticas para el control de procesos. La investigación sugiere que GLSS puede superar estos desafíos y mejorar el rendimiento ambiental y económico de las empresas. Además, el estudio destaca la creciente tendencia global hacia la investigación en GLSS, especialmente en la era de la Industria 4.0, aunque aún falta un modelo conceptual comúnmente aceptado. Finalmente, se subraya la necesidad de más estudios empíricos y la identificación de los factores habilitadores para la implementación efectiva de GLSS en el contexto mexicano.

Palabras clave: producción verde, lean six sigma, economía circular, industria 4.0, revisión sistemática

Autor principal

Correspondencia: iniria.gr@tehuacan.tecnm.mx

Towards a Circular Economy: A Systematic Review of the Implementation of Green Lean Six Sigma in the Manufacturing Industry

ABSTRACT

This article presents a systematic review on the implementation of Green Lean Six Sigma (GLSS) in the manufacturing context, highlighting its potential to contribute to the circular economy through the 3Rs: reduce, reuse, and recycle. Despite its recognized effectiveness in the manufacturing industry, professionals remain cautious due to a lack of knowledge and culture regarding the topic. The study emphasizes that the integration of Lean and Six Sigma with ecological approaches can enhance the sustainability of industrial processes. However, limitations in its implementation are identified, such as the lack of a project-oriented approach and mathematical tools for process control. The research suggests that GLSS can overcome these challenges and improve the environmental and economic performance of businesses. Additionally, the study highlights the growing global trend toward GLSS research, particularly in the Industry 4.0 era, although a commonly accepted conceptual model is still lacking. Finally, it underscores the need for more empirical studies and the identification of enabling factors for the effective implementation of GLSS in the Mexican context.

Keywords: green production, lean six sigma, circular economy, industry 4.0, systematic review

Artículo recibido 08 octubre 2024

Aceptado para publicación: 13 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

La creciente conciencia global sobre los riesgos ambientales y la demanda de eficiencia competitiva han impulsado la evolución de los paradigmas de manufactura, desde la manufactura tradicional orientada a la sustitución, pasando por la manufactura lean orientada a la reducción de desechos, hasta llegar finalmente a la manufactura verde, impulsada por las 3R: reducir, reutilizar y reciclar (Gholami et al., 2021). Muchas organizaciones han tomado medidas proactivas impulsadas por el medio ambiente para desarrollar procesos de manufactura más limpios y ecológicos, así como para producir productos más verdes. Sin embargo, numerosas operaciones industriales tienen un efecto perjudicial sobre el medio ambiente y la sociedad debido a que consumen una cantidad desproporcionada de recursos valiosos y generan desechos y emisiones peligrosas (US EPA ,2020). Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) señaló que, en 2020, el sector manufacturero nacional representó un asombroso 89% de las 28.3 mil millones de libras de desechos relacionados con la producción generados en los Estados Unidos. Según la Asociación Nacional de Fabricantes, el sector industrial representa el 31% de toda la energía consumida en los Estados Unidos, de la cual la industria manufacturera por sí sola representa alrededor del 65% del consumo de energía del sector industrial (Saad et al., 2019). Para contrarrestar esta inmensa contaminación y sus impactos ambientales y de salud, se insta a realizar una transición hacia una manufactura ambientalmente sostenible (US EPA ,2020). Por lo tanto, el paradigma verde es ahora una filosofía y un método operativo reconocido para mejorar la eficiencia ambiental de las organizaciones y minimizar las repercusiones ambientales de los productos y servicios, manteniendo al mismo tiempo los objetivos financieros organizacionales (Cherrafi et al., 2021; Garza-Reyes, 2015). Según Rao (2004) y Galeazzo et al. (2013), el concepto verde básicamente implica la aplicación de métodos verdes para reducir los efectos ambientales negativos y, en última instancia, reducir la huella ambiental de las organizaciones.

El paradigma verde ha motivado a las organizaciones a idear nuevas formas de incorporar mediciones tradicionales de desempeño para alcanzar las ganancias y otros objetivos comerciales a través de medidas ecológicas. Con su énfasis en la eliminación de desechos en todas las etapas de producción, la aplicabilidad de las herramientas lean se ha extendido para incluir aspectos ambientales. Basándose en el concepto del Sistema de Producción Toyota (TPS), la EPA de EE. UU. (US EPA, 2007) describió el



objetivo del lean extendido ambientalmente como "desarrollar los productos de la más alta calidad, al menor costo, con el menor tiempo de entrega, eliminando sistemática y continuamente los desechos, respetando a las personas y al medio ambiente", lo cual, en el contexto de este estudio actual, es bastante extenso. Sartal et al, (2021) en un estudio destacó las prácticas 5S para permitir la creación de un entorno de trabajo adecuado para mejorar simultáneamente la eficiencia del agua y el desempeño de la planta. Con este fin, se han desarrollado enfoques que integran los conceptos verdes y lean por parte de académicos prolíficos, por ejemplo, Duarte y Cruz-Machado, 2013; Dues et al., 2013; Garza-Reyes, 2015; Gholami et al., 2019; Pampanelli et al., 2014; Verrier et al., 2014.

Con el objetivo no solo de minimizar la producción de desechos, sino también, y más importante aún, de reducir los desechos verdes, que han sido definidos por la EPA de EE. UU. (US EPA, 2007) como todas las formas innecesarias o injustificadas de consumo de recursos o liberación de sustancias debido a tales consumos, que son perjudiciales para los seres humanos y el medio ambiente. Por ejemplo, el uso derrochador de energía, agua, productos químicos, materiales y/o transporte puede tener efectos desastrosos en el ecosistema (Garza-Reyes, 2018; Gholami et al., 2021).

A pesar de ser reconocido como un enfoque altamente efectivo para hacer que las operaciones sean más ecológicas a través de la reducción de desechos, emisiones y retrabajos, el enfoque integrado de green lean todavía sufre de varias desventajas que impiden su implementación exitosa (Garza-Reyes, 2015; Gholami et al., 2021; Sagnak y Kazancoglu, 2016). Una desventaja clave es su incapacidad para establecer un enfoque orientado a proyectos que pueda examinar, orientar y reducir la variabilidad del proceso. En el contexto de lean, básicamente es una caja de herramientas que proporciona herramientas para identificar oportunidades de eliminación de desechos (Martínez Zárate et al., 2024). El enfoque green lean está, por lo tanto, orientado hacia este objetivo. Por esta razón, el enfoque puede no ser útil para lograr objetivos orientados al beneficio. Además, la identificación de variabilidad es pertinente ya que informa y facilita la toma de decisiones, lo que resulta en mejoras en el desempeño de sostenibilidad. Otra desventaja del enfoque green lean es su falta de herramientas matemáticas y orientadas a la calidad. Los datos estadísticos con fines de monitoreo de procesos e identificación de problemas residuales pueden no ser recopilables hasta después de que se haya realizado la eliminación de desperdicios. Todo esto da lugar a la necesidad de Six Sigma para reducir o eliminar estas desventajas (Garza-Reyes, 2015).

Six Sigma se acuñó por primera vez en la década de 1980 como un enfoque de mejora de la calidad, con orígenes que se remontan a la empresa electrónica estadounidense, Motorola (Jamil et al., 2020; Soti et al., 2010). Según Hu et al. (2005), Six Sigma es especialmente beneficioso para las empresas que buscan mejorar sus resultados finales y reducir defectos. Trata los defectos como oportunidades basadas en procesos o productos a través de un enfoque de gestión de proyectos bien estructurado. Un programa Six Sigma elimina principalmente la toma de decisiones subjetiva al incorporar de manera consistente la recopilación, análisis y presentación de datos tanto en las industrias manufactureras como en los servicios, promoviendo la competitividad organizacional y mejorando la calidad del producto o servicio (Banuelas et al., 2005; Linderman et al., 2003; Montgomery & Woodall 2008).

Se cree que este estudio actual contribuye con valiosos conocimientos teóricos, ya que las desventajas de los enfoques verdes y lean como enfoques separados y como un paradigma integrado, como se discutió anteriormente, es evidente que Green Lean Six Sigma (GLSS) sirve como una nueva agenda de desarrollo ambiental para superar las limitaciones mencionadas anteriormente y mejorar el desempeño de las iniciativas green lean. Sin embargo, esta integración efectiva no solo está impulsada por la cohesión probada de los principios y herramientas lean evidentes en ambos enfoques, sino también por los atributos aparentemente compartidos de los conceptos.

Al profundizar en la efectividad de dicha integración, que ha sido demostrada por muchos estudios, se requieren estudios más avanzados sobre el tema (Caiado et al., 2018; Cherrafi et al., 2017; Ershadi et al., 2021; Garza-Reyes, 2015; Gholami et al., 2021; Kaswan & Rathi, 2020; Sony & Naik, 2019), como investigaciones empíricas que ofrezcan pautas sistemáticas para la aplicación de GLSS en una variedad de áreas (Caiado et al., 2018; Kaswan & Rathi, 2020; Sony & Naik, 2019). El concepto, sin embargo, aún no ha sido definido con precisión, lo que requiere la sistematización del conocimiento disponible sobre esta iniciativa verde.

A pesar de sus capacidades ampliamente reconocidas en la industria manufacturera, los profesionales siguen siendo cautelosos respecto a su implementación. Además, no existen estudios previos que hayan abordado explícita y sistemáticamente un modelo integral de GLSS en la práctica; en otras palabras, aún falta un modelo común.

Debido a esto, existe una demanda de investigación para analizar los factores que habilitan la implementación de GLSS (Gholami et al., 2021). Así, este estudio tiene como objetivo enriquecer el cuerpo actual de conocimiento y promover la implementación de GLSS mediante el análisis de la literatura de GLSS,

METODOLOGÍA

Este estudio es una investigación exploratoria, realizada sobre un tema que no ha sido previamente investigado en México. Es descriptivo y analítico desde el punto de vista del objetivo exploratorio y consistió en revisar sistemáticamente la literatura existente. La estrategia GLSS es una combinación de los conceptos Green, Lean y Six Sigma; este enfoque bien integrado aún no ha sido estudiado en México (Gholami et al., 2021). En este estudio, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de realizar un análisis exhaustivo de los estudios principales y aplicar los hallazgos a problemas emergentes (Abu et al., 2021; Lee et al., 2021), y (b) evaluar y resumir los estudios disponibles sobre el tema.

Diseño del Protocolo de Revisión

Una revisión sistemática requiere un protocolo (Gholami et al., 2018; Kitchenham, 2004). En este estudio, el protocolo de revisión fue diseñado basado en la lista de verificación de evaluación de calidad propuesta por Kitchenham (2004), que se utilizó para evaluar los estudios relevantes derivados de la base de datos Scopus, la base de datos más grande para estudios globales, con títulos de más de 5000 editores en todo el mundo (Lee et al., 2021). La lista de verificación incluye las siguientes preguntas (Gholami et al., 2018): (1) "¿El artículo especifica claramente el enfoque metodológico?", (2) "¿Es el enfoque metodológico relevante para el problema bajo estudio?", y (3) "¿El artículo realiza adecuadamente sus análisis?", por lo tanto, si respondían a estas preguntas el artículo se consideró apto para la revisión, es decir, si cumplía con todos los criterios de inclusión.

Selección de Artículos

En este paso, se realizó una búsqueda sistemática de todos los estudios relacionados con GLSS hasta septiembre de 2024. Se utilizó la base de datos Scopus como motor de búsqueda para palabras clave como "Green Manufacturing", "Lean Manufacturing" y "Six Sigma", así como para términos intercambiables como "Green Production", "Lean Production" y "6Sigma". En consecuencia, la cadena

de consulta fue TITLE-ABS ((“Green”) AND (“Lean”) AND (“Six Sigma” OR “6Sigma”)), lo que derivó en 106 artículos tras el filtrado. A continuación, se realizó una selección manual de los artículos, examinando los resúmenes y los textos completos para eliminar duplicados y artículos no relacionados. Se derivaron un total de 66 artículos para su revisión; el documento más antiguo data de 2011 y mostró cómo las técnicas de Six Sigma pueden utilizarse para controlar la eficiencia de procesos y el Muda ambiental en un proyecto lean-verde (Besseris, 2011).

Finalmente, se examinó teóricamente los artículos de GLSS escritos desde la perspectiva de habilitadores, impulsores y/o factores críticos de éxito.

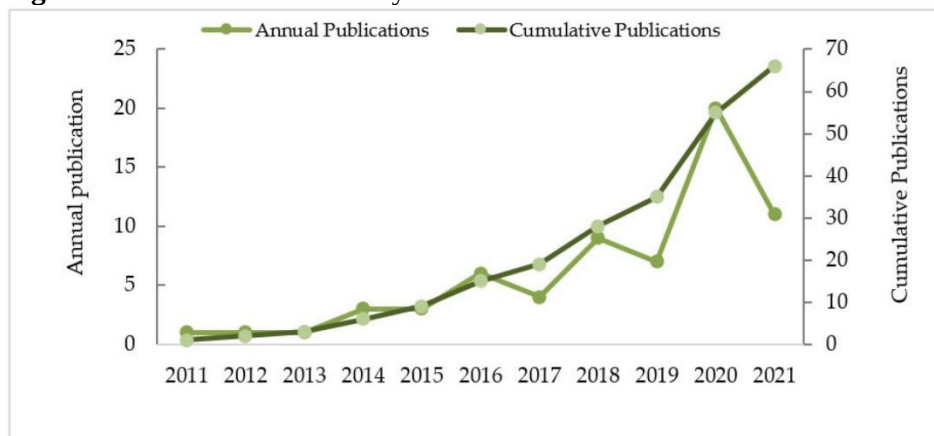
RESULTADOS

Para avanzar en el propósito de la investigación, este estudio realizó una revisión sistemática utilizando el enfoque metodológico basado en la revisión de los 66 artículos clasificados por año de publicación, se encontró que la investigación sobre GLSS ha evolucionado progresivamente a lo largo de los años. El tema de esta iniciativa verde solo se encontró en un artículo publicado en 2011 (Besseris, 2011), pero el número creció significativamente a 20 artículos en 2020 (Figura 1). Se proyecta que este número aumentará aún más a la luz de la creciente importancia de GLSS en el paradigma de manufactura ambientalmente sostenible, que también se considera como una aplicación del principio de circularidad a la manufactura bajo el emergente concepto de economía circular.

Cabe destacar que esta creciente tendencia global de investigación ha surgido desde el advenimiento de la nueva ola industrial, es decir, la Industria 4.0, que se hizo ampliamente conocida en 2011. Esto se ve principalmente como un problema de difusión y adopción de tecnología, y este proceso de difusión-adopción suele fluir desde los países líderes (Gholami et al., 2021). Varios países han formado sus propias estrategias para acelerar la adopción y el avance de la Industria 4.0. En este sentido, Alemania, donde se originó la noción, lanzó un programa llamado "Estrategia de Alta Tecnología 2020". Tales estrategias nacionales, ya sea en países desarrollados o emergentes, tienen como objetivo difundir los conceptos y tecnologías de la Industria 4.0 a empresas locales y nacionales (Gholami et al., 2021). En este sentido, existen estudios significativos que investigan la capacidad de la Industria 4.0 para desarrollar manufactura lean (Buer et al., 2018; Jabbour et al., 2018; Kolberg & Zühlke, 2015; Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Sanders et al., 2016;), green lean (Jabbour et al., 2018; Lee et al., 2021;

Tsai & Lai, 2018), lean Six Sigma (Bhat et al., 2021; Chiarini & Kumar, 2021; Sony, 2020; Titmarsh et al., 2020) y green lean Six Sigma (Belhadi et al., 2019; Gholami et al., 2020). Sin embargo, el movimiento parece ser relativamente pequeño y necesita un impulso para generar una perspectiva significativa, en particular, en su contexto poco estudiado.

Figura 1. Publicaciones anuales y acumuladas de GLSS.



Fuente: Elaboración propia a partir de Scopus

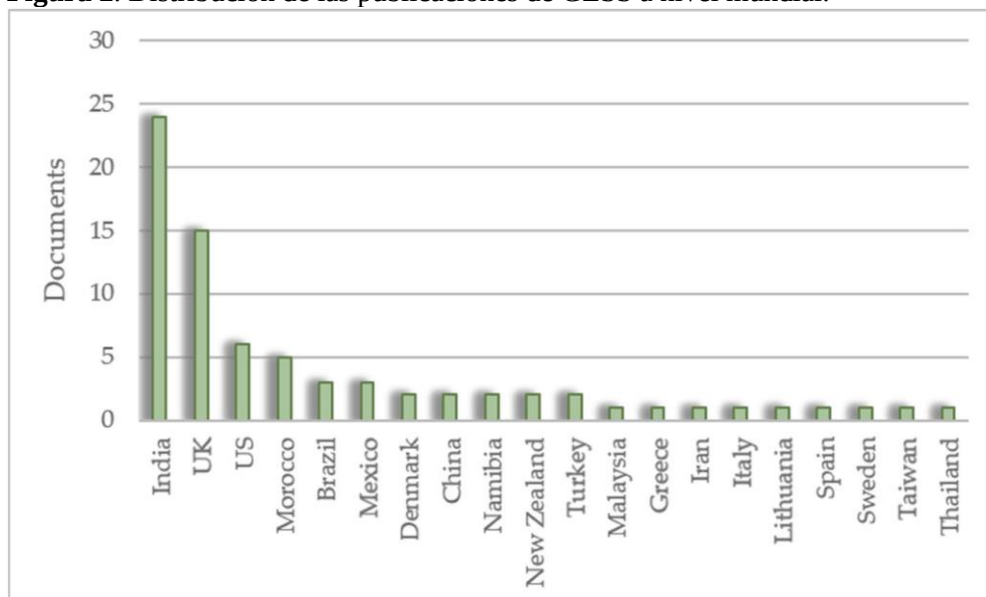
Era evidente a partir de la literatura que GLSS es muy joven y que aún queda trabajo por hacer para establecer una definición o un modelo conceptual comúnmente aceptado, desarrollar escalas válidas y confiables para investigar el grado de implementación, analizar sus principales factores e impactos en los resultados empresariales, y realizar estudios empíricos rigurosos sobre el tema. Según la revisión de la literatura, GLSS es una estrategia empresarial que contribuye a la economía circular mediante la adopción del concepto de las 3R, es decir, reducir, reutilizar y reciclar (Gholami et al., 2021), entregando productos verdes de calidad superior al reducir las variaciones del proceso e implementar las 3R (Kaswan & Rathi, 2020), mejorando la gestión de problemas ambientales y la productividad (Sony & Naik, 2019), realizando mejoras en los procesos operacionales, las emisiones y las finanzas (Pandey et al., 2018), utilizando los recursos de manera efectiva y minimizando los desechos, las emisiones y los defectos (Kumar et al., 2016), mejorando las ganancias, produciendo productos ambientalmente sostenibles (Garza-Reyes, 2015), reduciendo los desechos y mejorando los procesos y sistemas que están libres de contaminación ambiental excesiva (Banawi & Bilec, 2014). La evaluación indica que aún no se ha acordado un concepto preciso de GLSS (Gholami et al., 2021). Por lo tanto, definimos el concepto de GLSS, que ha surgido en la era de la Industria 4.0, como una estrategia empresarial que contribuye a la economía circular mediante la adopción del concepto de las 3R, es decir, reducir, reutilizar y reciclar.

Las tres revistas internacionales con el mayor número de artículos relacionados han sido:

- (1) el International Journal of Lean Six Sigma, que tuvo seis artículos,
- (2) el TQM Journal, que tuvo cinco artículos, y
- (3) el Journal of Cleaner Production, que tuvo cuatro artículos.

En cuanto a los autores, se encontró que tres de ellos habían publicado más de cinco artículos sobre el tema: Garza-Reyes (2015), quien escribió "Green lean and the need for Six Sigma" y publicó siete artículos, Rath, con siete artículos, y Kaswan con seis artículos. La Figura 2 presenta la distribución de las publicaciones de GLSS de 20 países diferentes. Los tres países con el mayor número de afiliaciones fueron India con 24, el Reino Unido con 15 y Estados Unidos con 6. Los artículos más influyentes según el número de citas fueron Kumar et al. (2016), con 120 citas, Cherrafi et al. (2021), con 119 citas, y Garza-Reyes (2015), con 109 citas. Estos fueron seguidos por otros estudios importantes, como Banawi y Bilec (2024), Kumar et al. (2015), Chugani et al. (2017), Kaswan and Rath (2019), Hussain et al. (2019), Sagnak y Kazancoglu, (2016), y Belhadi et al. (2019), con un considerable número de citas de 90, 39, 80, 49, 38, 50 y 31, respectivamente.

Figura 2. Distribución de las publicaciones de GLSS a nivel mundial.



Fuente: Elaboración propia a partir de Scopus

La brecha literaria existente se redujo mediante un análisis exhaustivo de la investigación sobre la implementación de GLSS en términos de habilitadores, impulsores y/o factores críticos de éxito. Esto puede ofrecer una comprensión del tema a través de los escenarios realizados en otros países,

particularmente en países en desarrollo (por ejemplo, los escenarios de la India). Pandey et al. (2018) y Kaswan y Rathi (2020), los habilitadores son los prerequisites que estimulan a las organizaciones a adoptar una nueva estrategia. Los habilitadores para la implementación de Lean, Six Sigma o Lean Six Sigma han sido identificados en muchos estudios anteriores, pero ninguno había identificado ni analizado los habilitadores para GLSS, específicamente en el sector manufacturero de México, que es tanto un contribuyente clave a la economía como un generador de impactos ambientales y sociales adversos, ya que consume recursos escasos de manera excesiva y produce desechos peligrosos y emisiones.

Por lo tanto, dentro de los resultados en la búsqueda de los principales habilitadores, se identificaron diez artículos, es decir, Kumar et al. (2015), Gandhi et al. (2017), Pandey et al. (2018), Mishra (2018), Kaswan and Rathi (2019), Kaswan y Rathi (2020), Parmar and Desai (2020), Farrukh et al. (2020), Singh et al. (2020), y Ershadi et al. (2021), que se utilizaron para desarrollar una lista de 44, 15, 18, 5, 12, 12, 26, 35, 30, 28 habilitadores, respectivamente. Estos estudios de vanguardia, como lo explicaron Letchumanan et al. (2021), han propuesto una serie de habilitadores que pueden considerarse como los puntos de partida para la investigación de GLSS en una variedad de contextos. Los habilitadores pueden permitir a los investigadores y profesionales desarrollar escalas de medición adecuadas para la implementación de GLSS. En consecuencia, nuestro estudio anota referencias clave beneficiosas para el proceso de evaluación y la implementación de GLSS en una lista de verificación basada en habilitadores.

CONCLUSIONES

Este estudio contribuye con valiosos conocimientos sobre los factores clave que habilitan la implementación de Green Lean Six Sigma (GLSS) en la industria manufacturera. Teóricamente, se identificaron y aclararon los factores mediante una revisión sistemática.

Los hallazgos teóricos indicaron que el crecimiento de las publicaciones ha sido significativo desde 2011, y se proyecta que seguirá aumentando debido a su contribución intelectual al paradigma de manufactura ambientalmente sostenible, que se considera una aplicación del emergente concepto de economía circular. Curiosamente, esta creciente tendencia global de investigación se ha desarrollado desde el advenimiento de la Industria 4.0, que se hizo evidente en 2011. También se observó que India,

el Reino Unido y los Estados Unidos tienen un gran número de publicaciones y fuertes colaboraciones internacionales. Estas entidades pueden proporcionar una oportunidad para que los académicos de otros países amplíen sus esfuerzos de investigación colaborativa.

Desde el punto de vista de las implicaciones, este artículo detalla un estudio contemporáneo en este campo y ofrece valiosas perspectivas tanto teóricas como prácticas. A pesar de que se han estudiado la relevancia y las capacidades de los GLSS, aún queda trabajo por hacer para establecer una definición o un modelo conceptual comúnmente aceptado, desarrollar escalas válidas y fiables para investigar el grado de implantación, analizar sus principales factores e impactos en los resultados empresariales y realizar estudios empíricos rigurosos sobre el tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu, F., Gholami, H., Saman, M. Z. M., Zakuan, N., Sharif, S., & Streimikiene, D. (2021). Pathways of lean manufacturing in wood and furniture industries: a bibliometric and systematic review. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(4), 753–772.
<https://doi.org/10.1007/s00107-021-01713-2>
- Abu, F., Gholami, H., Saman, M.Z.M., Zakuan, N., Streimikiene, D., & Kyriakopoulos, G.L. (2021). An SEM approach for the barrier analysis in lean implementation in manufacturing industries. *Sustainability*, 13(6), 1978. <https://doi.org/10.3390/su13061978>
- Banawi, A., & Bilec, M. M. (2014). A framework to improve construction processes: Integrating Lean, Green and Six Sigma. *International Journal of Construction Management*, 14(1), 45–55.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2013.875266>
- Bañuelas, R., Antony, J., & Brace, M. (2005). An application of six sigma to reduce waste. *Quality and Reliability Engineering International*, 21(6), 553–570. <https://doi.org/10.1002/qre.669>
- Belhadi, A., Kamble, S. S., Zkik, K., Cherrafi, A., & Touriki, F. E. (2019). The integrated effect of Big Data Analytics, Lean Six Sigma and Green Manufacturing on the environmental performance of manufacturing companies: The case of North Africa. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119903. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119903>



- Besseris, G.J. (2011). Applying the DOE toolkit on a Lean-and-Green Six Sigma maritime-operation improvement project. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(3), 270–284. <https://doi.org/10.1108/20401461111171961>
- Bhat, V.S., Bhat, S., & Gijo, E.V. (2021). Simulation-based lean six sigma for Industry 4.0: An action research in the process industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(5), 1215–1245. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2020-0294>
- Buer, S.-V., Strandhagen, J.O., & Chan, F.T.S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Caiado, R., Nascimento, D., Quelhas, O., Tortorella, G., & Rangel, L. (2018). TOWARDS SUSTAINABILITY THROUGH GREEN, LEAN AND SIX SIGMA INTEGRATION AT SERVICE INDUSTRY: REVIEW AND FRAMEWORK. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(4), 1659–1678. <https://doi.org/10.3846/tede.2018.3119>
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Govindan, K., Garza-Reyes, J. A., Benhida, K., & Mokhlis, A. (2016). A framework for the integration of Green and Lean Six Sigma for superior sustainability performance. *International Journal of Production Research*, 55(15), 4481–4515. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1266406>
- Cherrafi, A., Garza-Reyes, J. A., Belhadi, A., Kamble, S. S., & Elbaz, J. (2021b). A readiness self-assessment model for implementing green lean initiatives. *Journal of Cleaner Production*, 309, 127401. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127401>
- Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for operational excellence: Evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 32(12), 1084–1101. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1935384>
- Chugani, N., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Upadhyay, A. (2017). Investigating the green impact of Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 8(1), 7–32. <https://doi.org/10.1108/ijlss-11-2015-0043>

- Duarte, S., & Cruz-Machado, V. (2013). Modelling lean and green: a review from business models. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(3), 228–250. <https://doi.org/10.1108/ijlss-05-2013-0030>.
- Dües, C. M., Tan, K. H., & Lim, M. (2012). Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.023>
- Farrukh, A., Mathrani, S., & Taskin, N. (2020). Investigating the Theoretical Constructs of a Green Lean Six Sigma Approach towards Environmental Sustainability: A Systematic Literature Review and Future Directions. *Sustainability*, 12(19), 8247. <https://doi.org/10.3390/su12198247>
- Galeazzo, A., Furlan, A., & Vinelli, A. (2013). Lean and green in action: interdependencies and performance of pollution prevention projects. *Journal of Cleaner Production*, 85, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.015>
- Gandhi, N. S., Thanki, S. J., & Thakkar, J. J. (2017). Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 171, 675–689. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.041>
- Garza-Reyes, J. A. (2015). Green lean and the need for Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(3), 226–248. <https://doi.org/10.1108/ijlss-04-2014-0010>
- Garza-Reyes, J. A., Romero, J. T., Govindan, K., Cherrafi, A., & Ramanathan, U. (2018). A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM). *Journal of Cleaner Production*, 180, 335–348. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.121>
- Gholami, H., Abu, F., Lee, J.K.Y., Karganroudi, S.S., & Sharif, S. (2021). Sustainable Manufacturing 4.0—Pathways and Practices. *Sustainability*, 13(24), 13956. <https://doi.org/10.3390/su132413956>
- Gholami, H., Jamil, N., Saman, M. Z. M., Streimikiene, D., Sharif, S., & Zakuan, N. (2021). The application of Green Lean Six Sigma. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 1913–1931. <https://doi.org/10.1002/bse.2724>
- Gholami, H., Jamil, N., Zakuan, N., Saman, M. Z. M., 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>
- Gholami, H., Rezaei, G., Saman, M.Z.M., Sharif, S., & Zakuan, N. (2016). State-of-the-art Green HRM system. *Journal of Cleaner Production*, 124, 142–163.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.081>
- Gholami, H., Saman, M.Z.M., Mardani, A., Streimikiene, D., Sharif, S., & Zakuan, N. (2018). Proposed analytic framework for student relationship management based on a systematic review of CRM systems literature. *Sustainability*, 10(4), 1237. <https://doi.org/10.3390/su10041237>
- Gholami, H., Saman, M.Z.M., Sharif, S., Md Khudzari, J., Zakuan, N., Streimikiene, D., & Streimikis, J. (2020). A general framework for sustainability assessment of sheet metalworking processes. *Sustainability*, 12(14), 4957. <https://doi.org/10.3390/su12144957>
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate Data Analysis: A Global Perspective* (7th ed.). Pearson-Hall International.
- Hashemi, A., Gholami, H., Venkatadri, U., Karganroudi, S.S., Khouri, S., Wojciechowski, A., & Streimikiene, D. (2021). A new direct coefficient-based heuristic algorithm for set covering problems. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s40815-021-01030-6>
- Hu, M., Barth, B., & Sears, R. (2005b). Leveraging Six Sigma disciplines to drive improvement. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(2), 121.
<https://doi.org/10.1504/ijssca.2005.006422>
- Hussain, K., He, Z., Ahmad, N., Iqbal, M., & Mumtaz, S. M. T. (2019). Green, lean, Six Sigma barriers at a glance: A case from the construction sector of Pakistan. *Building and Environment*, 161, 106225. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106225>
- Jabbour, A.B.L.d.S., Jabbour, C.J.C., Foropon, C., & Filho, M.G. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionize the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18–25.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.004>

- Jamil, N., Gholami, H., Saman, M. Z. M., 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>
- Kaswan, M. S., & Rathi, R. (2019). Analysis and modeling the enablers of Green Lean Six Sigma implementation using Interpretive Structural Modeling. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1182–1191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.253>
- Kaswan, M. S., & Rathi, R. (2020). Investigating the enablers associated with implementation of Green Lean Six Sigma in manufacturing sector using Best Worst Method. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(4), 865–876. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01827-w>
- Kaswan, M. S., & Rathi, R. (2020). Investigating the enablers associated with implementation of Green Lean Six Sigma in manufacturing sector using Best Worst Method. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(4), 865–876. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01827-w>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele University, Volume 33, pp. 1–26.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by Industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(1), 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.09.297>
- Kumar, S., Kumar, N., & Haleem, A. (2015). Conceptualisation of Sustainable Green Lean Six Sigma: an empirical analysis. *International Journal of Business Excellence*, 8(2), 210. <https://doi.org/10.1504/ijbex.2015.068211>
- Kumar, S., Luthra, S., Govindan, K., Kumar, N., & Haleem, A. (2016). Barriers in green lean six sigma product development process: an ISM approach. *Production Planning & Control*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1165307>
- Lee, J.K.Y., Gholami, H., Saman, M.Z.M., Ngadiman, N.H.A.B., 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.2021.3072381>
- Letchumanan, L. T., Yusof, N. M., Gholami, H., & Ngadiman, N. H. a. B. (2021). *Green Lean Six Sigma: a review*. <https://akademiabaru.com/submit/index.php/jartim/article/view/4398>



- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2002). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193–203.
[https://doi.org/10.1016/s0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/10.1016/s0272-6963(02)00087-6)
- Martínez Zárate, I., Guevara Ramirez, I., Del Angel Medina, O., Cruz Manzo, J., & Corichi Reyes, J. M. (2024). Los Grandes Desafíos de Lean Six Sigma y la Sostenibilidad como Metodología en las PYMEs: Una revisión de Literatura Bibliométrica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 9203–9220. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14307
- Mishra, M. N. (2018). Identify critical success factors to implement integrated green and Lean Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13(4), 765–777. <https://doi.org/10.1108/ijlss-07-2017-0076>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six Sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329–346. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M.K. (2017). Towards lean production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.107>
- Pampanelli, A. B., Found, P., & Bernardes, A. M. (2013). A Lean & Green Model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85, 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.014>
- Pandey, H., Garg, D., & Luthra, S. (2018). Identification and ranking of enablers of green lean Six Sigma implementation using AHP. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 23(2), 187. <https://doi.org/10.1504/ijpqm.2018.089156>
- Parmar, P. S., & Desai, T. N. (2020). Evaluating Sustainable Lean Six Sigma enablers using fuzzy DEMATEL: A case of an Indian manufacturing organization. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121802>
- Rao, P. (2004). Greening production: a South-East Asian experience. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(3), 289–320.
<https://doi.org/10.1108/01443570410519042>
- Rezaei, G., Gholami, H., Shaharou, A.B.M., Saman, M.Z.M., Sadeghi, L., & Zakuan, N. (2017). Shared knowledge mediated correlation between cultural excellence and organizational performance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(3-4), 427–458.



<https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1302187>

- Rezaei, G., Gholami, H., Shaharou, A.B.M., Saman, M.Z.M., Zakuan, N., & Najmi, M. (2016). Relationship among culture of excellence, organizational performance and knowledge sharing: Proposed conceptual framework. *International Journal of Production and Quality Management*, 19(4), 446–465. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2016.078450>
- Saad, M. H., Nazzal, M. A., & Darras, B. M. (2018). A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. *Ecological Indicators*, 97, 211–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.062>
- Sagnak, M., & Kazancoglu, Y. (2016). Integration of green lean approach with six sigma: an application for flue gas emissions. *Journal of Cleaner Production*, 127, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.016>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J.P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(4), 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1974>
- Sartal, A., Ozcelik, N., & Rodríguez, M. (2020). Bringing the circular economy closer to small and medium enterprises: Improving water circularity without damaging plant productivity. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120363>
- Singh, M., Rathi, R., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Analysis and prioritization of Lean Six Sigma enablers with environmental facets using best worst method: A case of Indian MSMEs. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123592>
- Sony, M. (2020). Design of cyber physical system architecture for Industry 4.0 through lean six sigma: Conceptual foundations and research issues. *Production and Manufacturing Research*, 8(1), 158–181. <https://doi.org/10.1080/21693277.2020.1749386>
- Sony, M., & Naik, S. (2019). Green Lean Six Sigma implementation framework: a case of reducing graphite and dust pollution. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(3), 184–193. <https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1695015>



- Soti, A., Shankar, R., & Kaushal, O. (2010). Modeling the enablers of Six Sigma using interpreting structural modeling. *Journal of Modelling in Management*, 5(2), 124–141.
<https://doi.org/10.1108/17465661011060989>
- Titmarsh, R., Assad, F., & Harrison, R. (2020). Contributions of lean six sigma to sustainable manufacturing requirements: An Industry 4.0 perspective. *Procedia CIRP*, 90, 589–593.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.089>
- Tsai, W.-H., & Lai, S.-Y. (2018). Green production planning and control model with ABC under Industry 4.0 for the paper industry. *Sustainability*, 10(8), 2932.
<https://doi.org/10.3390/su10082932>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2007). The Lean and Environment Toolkit. Retrieved January 30, 2021, from
<http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/energy/index.html>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2020). Manufacturing sectors, United States Environmental Protection Agency. Retrieved March 3, 2022, from
<https://www.epa.gov/trinationalanalysis/manufacturing-sectors>
- Verrier, B., Rose, B., Caillaud, E., & Remita, H. (2013). Combining organizational performance with sustainable development issues: the Lean and Green project benchmarking repository. *Journal of Cleaner Production*, 85, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.023>