



## Indicators of Sustainability in Manufacturing

---

Cristina Zapién and Evelyn María Valenzuela Facio

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

January 29, 2024

# **Indicadores de la sustentabilidad en la manufactura**

Cristina Zapien-Guerrero<sup>1</sup>  
Evelyn María Valenzuela Facio<sup>2</sup>  
<sup>1-2</sup> *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*  
[cristina.zapien@uacj.mx](mailto:cristina.zapien@uacj.mx)  
[a188895@alumnos.uacj.mx](mailto:a188895@alumnos.uacj.mx)

## **1. Introducción**

La producción o servicios de una industria puede tener un efecto ambiental (Darmawan & Ahmad, 2022), dichos efectos pueden provenir de las operaciones de transformación o elaboración o del uso de las instalaciones industriales, ya que maquinarias y los desechos pueden contaminar el ecosistema contiguo tal como menciona Rosyidah et al., (2022), en caso particular en México en el cierre del 2022 están instaladas 608,500 empresas del sector manufacturero (Statista Research Department, 20 feb 2023), por eso la importancia de acciones dirigidas a lograr defensa, protección y mejora al medio ambiente, por lo tanto, las empresas manufactureras deben de medir su avance en la sustentabilidades a través de indicadores (Moldavska & Welo, 2019). El objetivo de este trabajo es identificar a través de una revisión de literatura el conjunto de Indicadores clave de rendimiento KPI por sus siglas en inglés (Key Performance Indicador) para evaluar la manufactura sustentable en función del triple bottom line; social, ambiental económico (Goodland, 1995) y otra esfera la tecnología debido a que la tecnología es un apoyo principal para abordar la sustentabilidad (Adjei-Bamfo et al., 2023), teniendo como finalidad ayudar a la industria de manufactura a lograr una evaluación de su estado en ámbito de sustentabilidad y su mejora por la creciente preocupación de realizar acciones dirigidas a esta, relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente.

## **2. Desarrollo**

Dadas las condiciones actuales del ambiente, las empresas tienen que comprender que el mejoramiento continuo, la gestión de sus procesos, así como la tecnología instalada tienen que estar ligados a la sustentabilidad, para lo cual es necesario en primer término conocer el impacto que sus actividades tienen sobre el ambiente y los ecosistemas, no solo para cumplir con el marco regulatorio del país y los estándares internacionales; sino para disminuir el efecto negativo generado en las últimas décadas, para lo cual es necesario la generación y adopción de indicadores que midan el desempeño dentro de las cuatro dimensiones de la sustentabilidad: económica, social, ambiental y tecnológica, esto basado en lo que plantea el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: las principales fuentes de contaminación son los procesos industriales (IPCC, 2018).

Por lo tanto, es la industria la que debe implementar las acciones necesarias para reducir dicho impacto, para poder mejorar cualquier métrico primero hay que medirlo, es por ello la relevancia de esta investigación en donde a través de una revisión sistemática de literatura de tres etapas: planificación, realización y reporte (Tranfield, Denyer & Smart, 2003), las cuales se dividen en siete pasos.

La etapa de planificación está desglosada en: justificación de la revisión a través de la formulación de las preguntas de investigación así como selección de estudios y diseño del protocolo de búsqueda; la etapa de realización es

extracción de datos, análisis de datos e interpretación de los datos; y por último la etapa de revisión, donde será hecha una revisión crítica para consolidar los indicadores y por último se concluirá y se comunicarán los futuros pasos de esta investigación.

### 2.1 Formulación de la investigación:

El objetivo es enlistar los indicadores de sustentabilidad que ha adoptado la industria a través de una revisión de literatura.

Las preguntas de investigación:

¿Cuántos artículos fueron publicados, que aborden la medición e indicadores de sustentabilidad en la industria?

¿Cuáles artículos son relevantes para obtener los indicadores de sustentabilidad en la industria?

### 2.2 Selección de estudios

El Meta-análisis de publicaciones existentes de indicadores de sustentabilidad en la industria, es presentado a continuación en la Tabla 2, donde conceptualmente se espera que las publicaciones cumplan con las preguntas de investigación y con la calidad y pertinencia para construir un consolidado de los indicadores de sustentabilidad claves para la industria que se adapten a México.

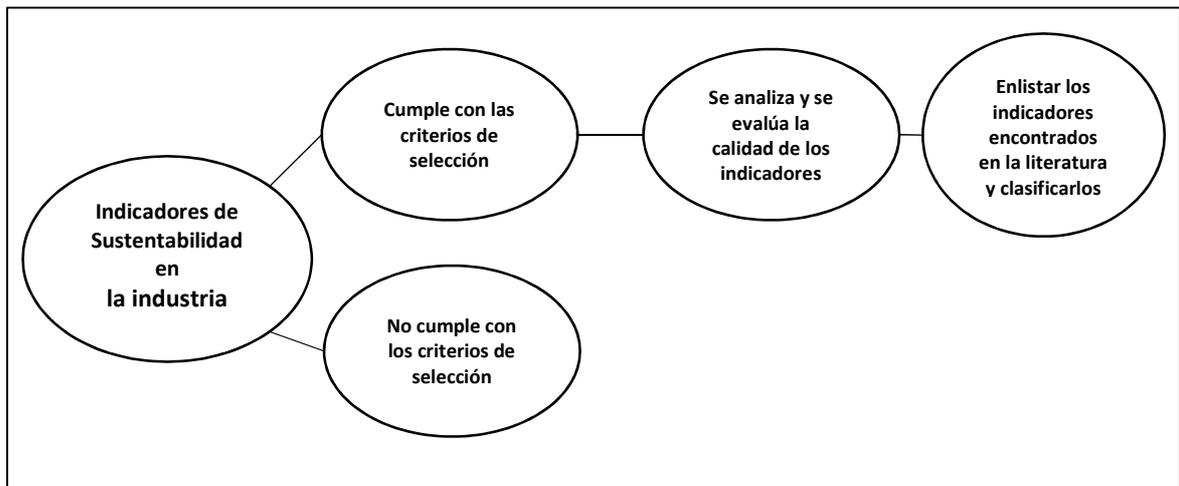


Tabla 1: Método de meta análisis  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.3 Diseño de protocolo de búsqueda

Se realizó una búsqueda de publicaciones académicas en un periodo de 10 años entre el 2013 al 2023, a través de la plataforma de investigación EBSCOhost Discovery ligada a la biblioteca virtual de la UACJ con las palabras claves “Sustentabilidad en la industria, indicadores y medición”, se filtran por publicaciones académicas, con las palabras claves: “*Sustainability at industry: measurement indicator*” en la industria, en categorías de: “*indicator*”, “*sustainable development reporting*” y “*goals*”. De los cuales son mostrados a continuación 415 distribuidos por mes en la Tabla 2, de la cual se puede concluir que ha incrementado las publicaciones a partir del 2019.

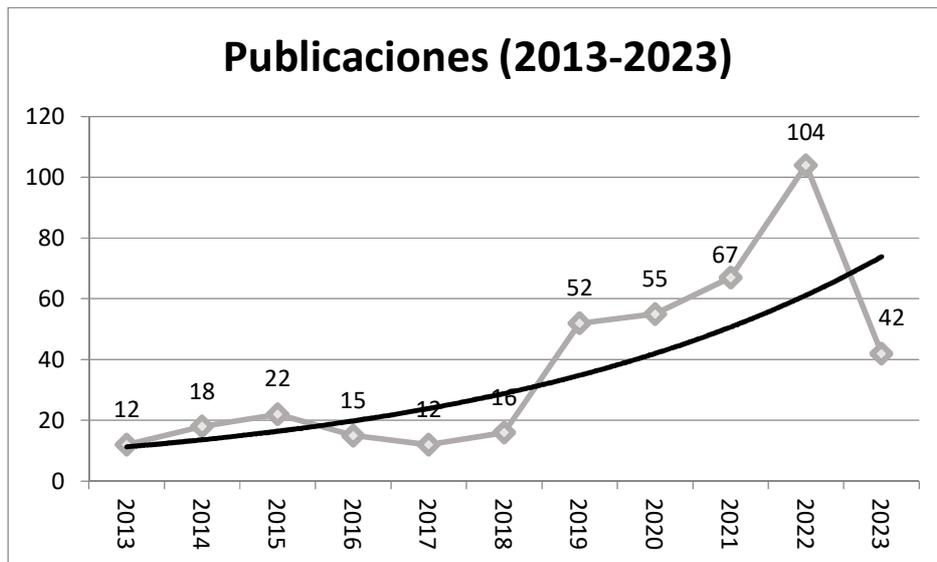


Tabla 2: Publicaciones por año  
Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4 Extracción de datos.

El reporte se centrará en la búsqueda de cada artículo para saber si cuentan con indicadores a fines a la sustentabilidad en la industria, clasificándolos por las dimensiones económicas, ambientales, sociales y tecnológicas, se buscará clasificar para mejor manejo de información.

El proceso de selección de los estudios de revisión implicó primero una revisión del título de todas las citas, identificar si están repetidas y excluirlas así como la exclusión de los artículos no empíricos o secundarios, tales como: revisiones, editoriales, comentarios y libros, en total se excluyeron 59 publicaciones.

#### 2.5 Análisis de datos

Se revisaron por título y resumen 365 publicaciones las cuales se consideraron pertinentes para una evaluación más detallada de los textos para sintetizar los datos que tienen afinidad con indicadores de sustentabilidad en la industria a través del cumplimiento de los siguientes criterios:

- Contienen indicadores asociados al desempeño de la sustentabilidad en la industria.
- Los indicadores son afines a las esferas de la sustentabilidad; ambiental, social, económico o tecnológico.

## 2.6 Interpretación de datos

Se organizó la información de las publicaciones con el acceso completo del documento para poder establecer relaciones, interpretar, extraer significados y conclusiones (Rodríguez, Lorenzo & Herrera 2015), los trabajos aceptados que no cumple con la revisión de pares se excluyen solo se toma como relevantes las normas mexicanas de ecología y PROFEPA. Para interpretar los datos se realizó una observación cualitativa, este es un proceso semi-estructurado de captación de información general sobre la conducta o el comportamiento de las unidades muestrales con el fin de realizar un análisis cualitativo de la información realizando una valoración crítica (Varela & Sutton, 2021) resaltando los indicadores existentes en la literatura revisada.

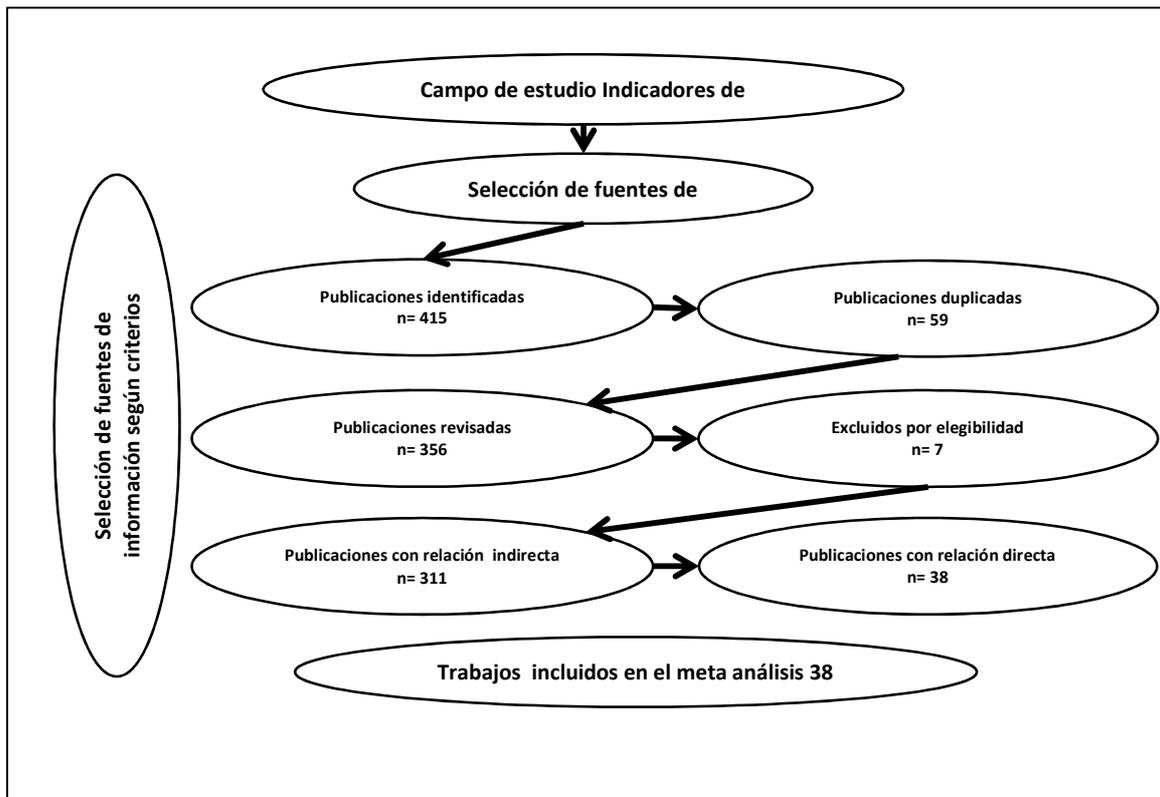


Tabla 3: Esquema de realización de meta análisis  
Fuente: Elaboración Propia

## 2.7 Revisión sistemática

Las publicaciones que se tomaron como base para desarrollar los hallazgos claves relacionados con los indicadores son 38 trabajos, tal como menciona la Tabla 3, los cuales se encuentran citados en la Tabla 4 en la cuarta columna, en la segunda columna los datos se clasificaron en clases como se muestra a continuación por ejemplo en la dimensión económica, donde se clasifica por clase de manufactura que abarca los indicadores: tasa de producción, tasa de uso de recursos de producción, tasa de re-manufacturar y tasa de eliminación

de desechos. El resto de las clases e indicadores son mostrados a continuación en la Tabla 4.

	Clase	Descripción	Autores
Económicas	Manufactura	Tasa de producción Tasa de usos de recursos de producción Tasa de re-manufacturar Tasa de eliminación de desechos	Willet et. Al, 2019 LCSP, 2016 Singh et al., 2013
	EHS	Costo de mantenimiento y seguridad de maquinaria y equipo en contra de la polución. Costos de entrenamiento de prácticas sustentables en maquinaria y equipo.	Contini & Peruzzini, 2022 Nam, Nguyen & Oh, 2019 Kusrini et al., 2019 Abdul-Rashid et al., 2017; Navarrete, 2015
	Empleados	Costo de empleado con relación a las ventas. Niveles de salario dentro del promedio.	Winroth et al., 2016
	ROI	Calculo de retorno de inversión en prácticas sustentables.	Moreno-Sader et al., 2019
	Distribución	Costo promedio de viaje por envío Costo promedio de consumo de combustible por distribución interna	Baba et al., 2019 Swarnakar et al., 2021
Ambiental	Uso de material	MIPS Material Input per Service - Material por unidad de producción Material eco-sustentable Tasa de reciclado, Tasa de uso de materiales peligrosos. Tasa material de empaque o embalaje Reutilización o retorno de material de empaque.	Singh et al., 2013; Winroth et al., 2016; Abdul-Rashid et al., 2017; Dangelico at al., 2017; Ospina & Sánchez, 2013; Navarrete, 2015; PROFEPA, 2017; LCSP, 2016
	Uso de energía	Conversión de datos de uso eléctrico a CO2 y control Conversión de datos de uso de gas a CO2 y control	Singh et al., 2013; Winroth et al., 2016; Dangelico at al., 2017; Hashmi et al., 2015; Navarrete, 2015; PROFEPA, 2017
	Uso de agua	Conversión de uso de agua a CO2 y control Registro de uso de agua reciclada y/o tratamiento de agua	Singh et al., 2013; Dangelico at al., 2017 Ospina & Sánchez, 2013; Navarrete, 2015 PROFEPA, 2017
	Residuos	Tasa en el total de residuos generados, en el nivel de desechos reciclables / re-fabricados / reutilizables, residuos peligrosos y aguas residuales, Tasa de retorno de residuos reciclados.	Singh et al., 2013 Winroth et al., 2016; Abdul-Rashid et al., 2017; Dangelico at al., 2017; PROFEPA, 2017

	Emisión y contaminación	Sumatoria de la emisión de CO2 y gases de efecto invernadero. Tasa de proyectos de prevención de contaminación de suelo y aguas residuales.	Singh et al., 2013 Winroth et al., 2016; Abdul-Rashid et al., 2017; Dangelico at al., 2017 PROFEPA, 2017; LCSP, 2016
	Accidentes	Tasa de accidente que causen peligro a los seres humanos relacionados con el suelo o el agua.	Kusrini et al, 2019 Winroth et al., 2016; PROFEPA, 2017
Social	Bienestar de los empleados	Número promedio de horas de entrenamiento, Tasa de rotación y número de accidentes, aumento en la satisfacción laboral, Número de actividades de la salud y actividad física de los empleados.	Sangwan et al., 2019 Singh et al., 2013 Winroth et al., 2016; LCSP, 2016
	Bienestar de clientes	Tasa de satisfacción de los clientes, Nivel de evaluación de la salud y la seguridad del producto.	Singh et al., 2013; Winroth et al., 2016; Abdul-Rashid et al., 2017; LCSP, 2016
	Bienestar de la comunidad	Número de proyectos comunitarios	Sangwan et al., 2019; Abdul-Rashid et al., 2017; PROFEPA, 2017; Winroth et al., 2016; LCSP, 2016; Singh et al., 2013 Gafencu, 2023
Tecnológico	Alta tecnología	Cantidad anual de nueva o mejora tecnología utilizada, para mejorar los procesos de fabricación a favor de la sustentabilidad.	Cardinali, & De Giovanni, 2022; Naim, 2021; Dangelico at al., 2017; LCSP, 2016
	Investigación y desarrollo	Tasa de beneficio de la innovación en el desarrollo de productos y procesos. Tasa Gastos en I + D se refiere a las inversiones monetarias y de tiempo para proyectos de I + D enfocados en sustentabilidad.	Chege & Wang, 2020 Navarrete, 2015 Joung, et al., 2013;
	Manufactura	Cantidad de proyectos Lean o mejora continua enfocados a la sustentabilidad. OEE impactado por mejoras sustentables (Eco-eficiencia) Tasa de mejora en logística enfocadas a gastar menos recursos en uso de vehículos de combustible alternativo	García Alcaraz et al., 2022; Khan et al., 2020; Dey et al., 2020; Abdul-Rashid et al., 2017 LCSP, 2016 Navarrete, 2015;
	Diseño	Tasa de diseño flexible enfocado a sustentabilidad Tasa de proveedores verdes o con certificados de sustentabilidad	Münch & Hartmann, 2022; Grandi et al., 2021 Jayant et al., 2019; Abdul-Rashid et al., 2017

Tabla 4: Indicadores divididos por dimensión y clases  
Fuente: Elaboración Propia

### **3. Resultado y conclusiones**

Como conclusión la adaptación actual de la sustentabilidad en las empresas refleja la creciente toma de conciencia por parte de la administración de las industrias, tales como vemos en la revisión de literatura recopilada y su tendencia al alza en los últimos años tal como se observa en la recopilación de la Tabla 2, la examinación exhaustiva de esta información a través de un meta-análisis sirvió de base para obtener como resultado los indicadores sustentables aplicados en la manufactura siendo afines con el objetivo de este trabajo, teniendo como propósito evidenciar como las empresas que participan proactivamente en la implementación de prácticas sustentables pueden medir sus impactos de métricos tales como reducir costos e impactos ambientales, aumentó de eficiencia operacional entre otros beneficios (Linnenluecke & Griffiths, 2010), así como otros indicadores claves como el retorno de inversión en prácticas sustentables, disminución en costos en fletes o combustible al implementar logística verde, contabilizar entradas por el reciclaje y disposición correcta de desechos, contabilizar su tasa y costo de consumos hídricos, energéticos, los indicadores encontrados fueron un total de 39 indicadores 10 económicos, 15 ambientales, 6 sociales y 8 tecnológicos el detalle se mostró en la Tabla 4.

Los resultados de este estudio es tener un conjunto de indicadores sustentables que sirvan de guía para integrarlos en industrias Mexicanas y puedan ayudar a establecer políticas corporativas para empezar hacer un monitoreo y realizar un seguimiento de los impactos ambientales para presentar reportes de su compromiso hacia la sustentabilidad y cómo se desarrollan sus impactos a través del tiempo.

La aplicabilidad de estos indicadores espera ser comprobable, como pasos futuros se prevé ser evaluados por un juicio de expertos e implementarlos en una o varias empresas para concluir su suficiencia, claridad, coherencia, relevancia y su aptitud al ser aplicada y ajustar de ser necesario.

## Referencias Bibliográficas

Abdul-Rashid, S. H. H., Sakundarini, N., Raja Ghazilla, R. A., & Thurasamy, R. (2017). The impact of sustainable manufacturing practices on sustainability performance: empirical evidence from Malaysia. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(2), 182-204.

Adjei-Bamfo, P., Djajadikerta, H. G., Jie, F., Brown, K., & Kiani Mavi, R. (2023). Public procurement for innovation through supplier firms' sustainability lens: A systematic review and research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 32(1), 387-407.

Baba, A. A. M., Ma'aram, A., Ishak, F. I., Sirat, R. M., & Kadir, A. Z. A. (2019, December). Key performance indicator of sustainability in the Malaysian food supply chain. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 697, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

Cardinali, P. G., & De Giovanni, P. (2022). Responsible digitalization through digital technologies and green practices. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(4), 984-995.

Chege, S. M., & Wang, D. (2020). The influence of technology innovation on SME performance through environmental sustainability practices in Kenya. *Technology in Society*, 60, 101210.

Contini, G., & Peruzzini, M. (2022). Sustainability and Industry 4.0: Definition of a Set of Key Performance Indicators for Manufacturing Companies. *Sustainability*, 14(17), 11004.

Darmawan, A., & Ahmad, D. (2022). Development of an Environmental Insurance Program based on Islamic Values in the Palm Oil Industry in Indonesia for Community Welfare. *Iltizam Journal of Shariah Economic Research*, 6(1), 145-159.

García Alcaraz, J. L., Morales García, A. S., Díaz Reza, J. R., Blanco Fernández, J., Jiménez Macías, E., & Puig i Vidal, R. (2022). Machinery lean manufacturing tools for improved sustainability: the Mexican maquiladora industry experience. *Mathematics*, 10(9), 1468.

Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual review of ecology and systematics*, 26(1), 1-24.

Grandi, F., Khamaisi, R. K., Peruzzini, M., Raffaelli, R., & Pellicciari, M. (2021). A Reference Framework to Combine Model-Based Design and AR to Improve Social Sustainability. *Sustainability* 2021, 13, 2031.

Jayant, A., Chandan, A. K., & Singh, S. (2019, July). Sustainable supplier selection for battery manufacturing industry: A MOORA and WASPAS Based Approach. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1240, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.

Joung, C. B., Carrell, J., Sarkar, P., & Feng, S. C. (2013). Categorization of indicators for sustainable manufacturing. *Ecological Indicators*, 24, 148-157.

Khan, S. A. R., Zhang, Y., Kumar, A., Zavadskas, E., & Streimikiene, D. (2020). Measuring the impact of renewable energy, public health expenditure, logistics, and environmental performance on sustainable economic growth. *Sustainable development*, 28(4), 833-843.

Kravchenko, M., Pigosso, D. C., & McAlloone, T. C. (2019). Towards the ex-ante sustainability screening of circular economy initiatives in manufacturing companies: Consolidation of leading sustainability-related performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118318.

Kusrini, E., Ahmad, A., & Murniati, W. (2019, August). Design Key Performance Indicator for Sustainable Warehouse: A Case Study in a Leather Manufacturer. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 598, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.

Lamjahdi, A., Bouloiz, H., & Gallab, M. (2021, May). Overall performance indicators for sustainability assessment and management in mining industry. In *2021 7th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)* (pp. 1-6). IEEE.

LCSP (2016) Lowell Center for Sustainable Production Revisado en febrero 2017: <http://www.sustainableproduction.org/about.what.php>

Linnenluecke, M. K., & Griffiths, A. (2010). Corporate sustainability and organizational culture. *Journal of world business*, 45(4), 357-366.

Moldavska, A., & Welo, T. (2019). A Holistic approach to corporate sustainability assessment: Incorporating sustainable development goals into sustainable manufacturing performance evaluation. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 53-68.

Moreno-Sader, K., Jain, P., Tenorio, L. C. B., Mannan, M. S., & El-Halwagi, M. M. (2019). Integrated approach of safety, sustainability, reliability, and resilience analysis via a return on investment metric. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(24), 19522-19536.

Münch, C., Benz, L. A., & Hartmann, E. (2022). Exploring the circular economy paradigm: A natural resource-based view on supplier selection criteria. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 28(4), 100793.

Naim, A. (2021). New Trends in Business Process Management: Applications of Green Information Technologies. *British Journal of Environmental Studies*, 1(1), 12-23.

Nam, S. N., Nguyen, T. T., & Oh, J. (2019). Performance indicators framework for assessment of a sanitary sewer system using the analytic hierarchy process (AHP). *Sustainability*, 11(10), 2746.

Navarrete, F. (2015). Las prácticas de desarrollo sustentable: un acercamiento descriptivo a las pequeñas empresas de Guadalajara, México. *Cuadernos De Administración*, 48-58.

Neri, A., Cagno, E., Lepri, M., & Trianni, A. (2021). A triple bottom line balanced set of key performance indicators to measure the sustainability performance of industrial supply chains. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 648-691.

PROFEPA. (2017, junio). PROFEPA-Acciones y programas- Auditoria ambiental. Recuperado el 30 de junio de 2017, de

<https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/auditoria-ambiental-56904#>

Rodríguez Sabiote, Clemente; Lorenzo Quiles, Oswaldo; Herrera Torres, Lucía. Teoría Y Práctica Del Análisis De Datos Cualitativos: Proceso General y Criterios De Calidad. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*. 15 (2), 133-154.

Rossi, E., Bertassini, A. C., dos Santos Ferreira, C., do Amaral, W. A. N., & Ometto, A. R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119137.

Rosyidah, M., Khoirunnisa, N., Rofiatin, U., Asnah, A., Andiyan, A., & Sari, D. (2022). Measurement of key performance indicator Green Supply Chain Management (GSCM) in palm industry with green SCOR model. *Materials Today: Proceedings*, 63, S326-S332.

Sangwan, K. S., Bhakar, V., & Digalwar, A. K. (2019). A sustainability assessment framework for cement industry—a case study. *Benchmarking: An International Journal*, 26 (2), 470-497.

Swarnakar, V., Singh, A. R., & Tiwari, A. K. (2021). Evaluation of key performance indicators for sustainability assessment in automotive component manufacturing organization. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5755-5759.

Tranfield, D., Denyer, D. y Smart, P. (2003). Hacia una metodología para desarrollar conocimiento de gestión basado en evidencia mediante revisión sistemática. *Revista británica de gestión*, 14 (3), 207-222.

Varela, T. V., & Sutton, L. H. (2021). La codificación y categorización en la teoría fundamentada, un método para el análisis de los datos cualitativos. *Investigación en educación médica*, 10(40), 97-104.

Willet, J., Wetser, K., Vreeburg, J., & Rijnaarts, H. H. (2019). Review of methods to assess sustainability of industrial water use. *Water Resources and Industry*, 21, 100110.