

# Descripción del Impacto de la Inteligencia Artificial en metodologías Lean mediante una revisión bibliográfica para la optimización de recursos operacionales

Determination of the Impact of Artificial Intelligence in Lean methodologies through a bibliographic review for the optimization of operational resources

Andrés Felipe Bustos Ramírez 1<sup>1</sup>  
andres.bustos00@usc.edu.co

John Alexander Miller Peluffo 2<sup>1</sup>  
Jhon.miller00@usc.edu.co

Carolina García Cuervo, M.Sc<sup>2</sup>  
ger.logisticaintegral@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de maestría en ingeniería industrial (1)

## **Resumen**

Actualmente las industrias no solo enfrentan desafíos concernientes a incrementar el volumen de ventas o posicionar un producto en el mercado, para ser más competitivas y destacarse tanto a nivel comercial como tecnológicos deciden implementar estrategias que les permitan tener un mejoramiento continuo en todas las áreas de sus operaciones. Son varias las empresas que han decidido dar un paso adelante hacia la adopción de la industria 4.0 debido a los amplios beneficios que esta puede tener para la optimización de sus procesos y utilización de recursos, ya que en gran medida en sinergia con la implementación de metodologías Lean se atribuyen beneficios como; disminución de desperdicios en la producción y prestación de servicios, los costos operacionales entre otros. Usualmente estos desperdicios se asocian a la ejecución de actividades que no generan valor al proceso, como el exceso de inventario en proceso, defectos de calidad o reprocesos, estos sobre costos en las operaciones limitan la productividad de las industrias y a su vez de ser competitivos comercialmente respecto a precio de sus productos ofertados, la implementación de modelos productivos bajo metodologías Lean permiten esta optimización deseada. Pero usando paralelamente herramientas de la industria 4.0 como lo es la Inteligencia Artificial, es posible la reducción de costos operacionales asociados a micro desperdicios que no son fácilmente identificables, pero que representan un alto porcentaje en los sobrecostos que terminan impactando el costo final y el precio de venta al consumidor; mediante una completa revisión bibliográfica de vanguardia, se define el impacto que tiene la Inteligencia Artificial en estos modelos operacionales estructurados bajo la metodología Lean.

*Palabras Clave:* Lean Six Sigma, Lean Manufacturing, Inteligencia Artificial, mejora continua, automatización, optimización de costos, Industria 4.0

## **Abstract**

Currently industries are not only facing challenges concerning increasing sales volume or owning a product on the market, to be more competitive and stand out both commercially and technologically decide to implement strategies that allow them to have a continuous improvement in all areas of their operations. Several companies have decided to take a step forward towards adopting Industry 4.0 due to the wide benefits that it can have for the optimization of their processes and use of resources, since to a large extent in synergy with the implementation of Lean methodologies are attributed benefits such as reduction of waste in the production and provision of services, operational costs among others. Usually, these wastes are associated with the execution of activities that do not generate value to the process, such as excess inventory in process, quality defects or reprocessing, these over costs in the operations limit the productivity of the industries and in turn to be commercially competitive regarding the price of their offered products, the implementation of productive models under lean methodologies allow this desired optimization. But using parallel Industry 4.0 tools such as Artificial Intelligence, it is possible to reduce operational costs associated with micro-waste that are not easily identifiable, but that represent a high percentage in the cost overruns that end up impacting the final cost and the retail price to the consumer; through a complete, cutting-edge bibliographic review, defines the impact that Artificial Intelligence has on these operational models structured under the Lean methodology.

*Keywords:* Lean Six Sigma, Lean Manufacturing, Artificial Intelligence, Continuous Improvement, Automation, Operating cost, Industry 4.0.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los desperdicios en la producción y/o prestación de servicios impactan negativamente en los costos operativos y muchas veces más en inventarios y actividades intermedias de los procesos realizados, además no agregan valor al producto final (Costa et al., 2019); operaciones tales como un inventario TEP<sup>1</sup> excesivo crea sobre costos en el proceso de producción encareciendo al producto final (Shah et al., 2019); así, hay muchas otras operaciones que pueden intervenir para generar sobre costos por desperdicios o variación en los procesos.

Alrededor del 20% de los costos operacionales están relacionados con estos desperdicios (Daniel K. et al., 2020), por esto se hace necesario su identificación y eliminación, puesto que ello impacta positivamente en la estructura de costos del producto final (Box, 1998) lo que se traduce en aumento en la productividad y la eficiencia organizacional de las empresas.

Tener sobrecostos en los procesos productivos tiene como consecuencias el aumento en los costos totales de producción y/o prestación del servicio (Daniel K. et al., 2020), disminución en la competitividad en el mercado (Daniel K. et al., 2020), puesto que al tener costos más altos el precio final también aumenta (Box, 1998) también presentándose disminución de la utilidad por motivos similares. Para identificarlos y eliminarlos existen metodologías muy eficientes como Lean Six Sigma, que combina el control estadístico de procesos, disminuyendo la cantidad de productos no conformes y variación en los procesos con una filosofía de producción esbelta que se enfoca en hacer solo lo que genere valor al producto final, evitando reprocesos y desperdicios (De Mast & Lokkerbol, 2012).

Usualmente al utilizar metodologías como la mencionada, el impacto en los procesos obedece a una notable mejora en la calidad de su ejecución (S. Luis & Carlo, 2019), esto a su vez repercute en la optimización de los costos operativos como resultado contablemente tangible (Daniel K. et al., 2020), aunque siempre se relaciona con el mejoramiento continuo de la calidad y es así como es posible evidenciarlo en estudios y aplicaciones anteriores a la planteada en este documento y de los cuales se hace referencia en la revisión bibliográfica.

La Calidad es una propiedad intrínseca de los productos ofertados por una compañía y muchas de estas centran sus esfuerzos en disminuir las unidades defectuosas presente en sus procesos productivos (Pérez et al., 2018), asegurando así el óptimo desempeño de sus productos y/o servicios de tal manera que no ocasionen ningún tipo de inconvenientes al cliente final y que no encarezcan los costos de los mismos. Para esto es importante identificar el foco principal que puede estar ocasionando estos defectos de calidad y mediante las metodologías Lean alcanzar a disminuir los porcentajes de estos.

Este impacto se puede evidenciar en procesos productivos que adoptan estas metodologías, por ejemplo, en la industria automotriz a nivel mundial se destinan recursos para el desarrollo de programas de mejora continua, en el cual la metodología Lean Six Sigma juega un papel importante en la disminución de la variabilidad de los procesos, principalmente en aquellas autopartes de pequeño tamaño y/o que son de vital importancia para el desempeño de los vehículos (Guleria et al. 2021).

Estas metodologías no es solamente aplicable en industrias manufactureras, puesto que también en empresas de servicios y/o entidades de salud Lean se convierte en una herramienta importante para la reducción en la variabilidad de los servicios que a su vez se traduce en ahorro monetario, muy especialmente en época de pandemia dónde los sistemas de salud de diferentes países se vieron colapsados por la alta congestión de pacientes que presentaron este virus. Mediante esta metodología se pudo identificar tiempos no productivos del personal médico dentro de las salas de cirugías disminuyendo así costos atribuibles a salarios por tiempos facturados por este personal así como la reducción de insumos quirúrgico en las salas de cirugía (Raveglia et al, 2021).

---

<sup>1</sup> Trabajo en proceso

Lean Six Sigma resulta ser una herramienta y a su vez un aliado estratégico en la mejora de los procesos de una compañía disminuyendo la variabilidad de los mismos (S. Luis & Carlo, 2019) y garantizando productos de la más alta calidad generando así gran confianza y satisfacción en los consumidores y reduciendo costos en varios niveles (Han & Lee, 2002); Six Sigma se soporta principalmente en la metodología DMAIC<sup>2</sup>, que permite desarrollar mejoras mediante el seguimiento de una serie de etapas; Definir, medir, analizar, mejorar y control. La sinergia e integración de Six Sigma con Lean Manufacturing impactan positivamente sobre la mejora continua en los procesos u operaciones de una empresa (S. Luis & Carlo, 2019).

Sin embargo, Lean Six Sigma se queda corta en detectar micro desperdicios que son imperceptibles a simple vista por las diferentes herramientas utilizadas en la metodología, es ahí donde los modelos de Inteligencia Artificial cobran valor al permitir detectarlos y tomar decisiones dinámicas y rápidas para eliminarlos (Daniel K. et al., 2020).

Se debe pensar entonces en un cambio al abordar los procesos productivos, mediante la implementación de Lean se puede ir cambiando paulatinamente la forma de producir, una producción inteligente que se basa en conceptos aplicados como el uso de tecnologías para el análisis de datos y toma de decisiones estratégicas (Han & Lee, 2002) que además pueda crear procesos de producción más eficientes, rápidos y baratos que aumenten la productividad de los trabajadores, mejoren la calidad de los productos y reduzcan los costos (Kai-Fu, 2014).

Sin lugar a duda, los principios y herramientas propias de la Inteligencia Artificial tienen gran aplicabilidad en la optimización de la implementación y despliegue de las metodologías Lean, acorde a la afirmación del doctor Kai-Fu-Lee: “La era del descubrimiento en IA<sup>3</sup> terminó, en su lugar llegó la era de la implementación” (Kai-Fu, 2014).

En la vanguardia de las industria manufactureras y/o servicio, la innovación no es el único aspecto en que invierten recursos tanto financieros como de talento humano estas compañía, Lean Manufacturing definitivamente es una metodología importante que les permite tener ese factor diferenciador a lo que compete a productividad, precios competitivos y excelencia operacional y calidad en los productos ofertados. A este número de virtudes atribuibles a este tipo de metodología muchas compañías se han diferenciado por integrar tecnologías 4.0 en sus operaciones con herramientas Lean Manufacturing, con el objetivo de realizar producciones inteligentes en la cual estas tecnologías dan una mano importante a aquellos procesos que se han venido realizando muy manuales de cierta manera y que cualquier tipo de oportunidad de mejora en rendimientos y reducción de desperdicios no son tan fáciles de detectar para la experticia humana (Marinelli et al., 2021)

Partiendo de ello, el objetivo general de este documento es determinar el impacto de la Inteligencia Artificial en la implementación de modelos bajo metodologías Lean mediante una revisión literaria para la optimización de recursos operacionales (aumento de productividad, reducción de costos, estandarización de procesos, disminución en la variabilidad en los procesos, reducción de desperdicios, reducción de producto no conforme) en las organizaciones, por consiguiente se establecen también una serie de objetivos específicos orientados al cumplimiento escalonado del objetivo general, estos son, identificar bibliográficamente los conceptos básicos interrelacionados de la Inteligencia Artificial y metodologías Lean, posterior establecer mediante los resultados obtenidos la sinergia entre la Inteligencia Artificial y la implementación de modelos bajo metodologías Lean evidenciados en la bibliografía consultada, y finalmente evaluar hasta qué punto los fundamentos básicos de la Inteligencia Artificial inciden sobre el ciclo de implementación de Lean.

Este documento está estructurado en capítulos, según el desarrollo lógico de los objetivos planteados, en el siguiente capítulo, se detalla la metodología que se utilizó para la revisión bibliográfica, pormenorizando las fuentes consultadas, el esquema metodológico de la investigación; luego, en el tercer capítulo se realiza una revisión literaria de los conceptos

---

<sup>2</sup> Define-Measure-Analyze-Improve-Control (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Contrólar)

<sup>3</sup> Inteligencia Artificial

fundamentales propios de la investigación, estos también fueron las palabras clave que se usaron para estructurar el modelo de investigación en las bases de datos consultadas, finalmente en el cuarto capítulo se presenta el análisis de la revisión literaria realizada, concluyendo con el impacto evidenciado en cada fase de construcción e implementación de modelos basados en metodologías Lean, usando herramientas de Inteligencia Artificial para la optimización de recursos organizacionales.

## 2. METODOLOGÍA

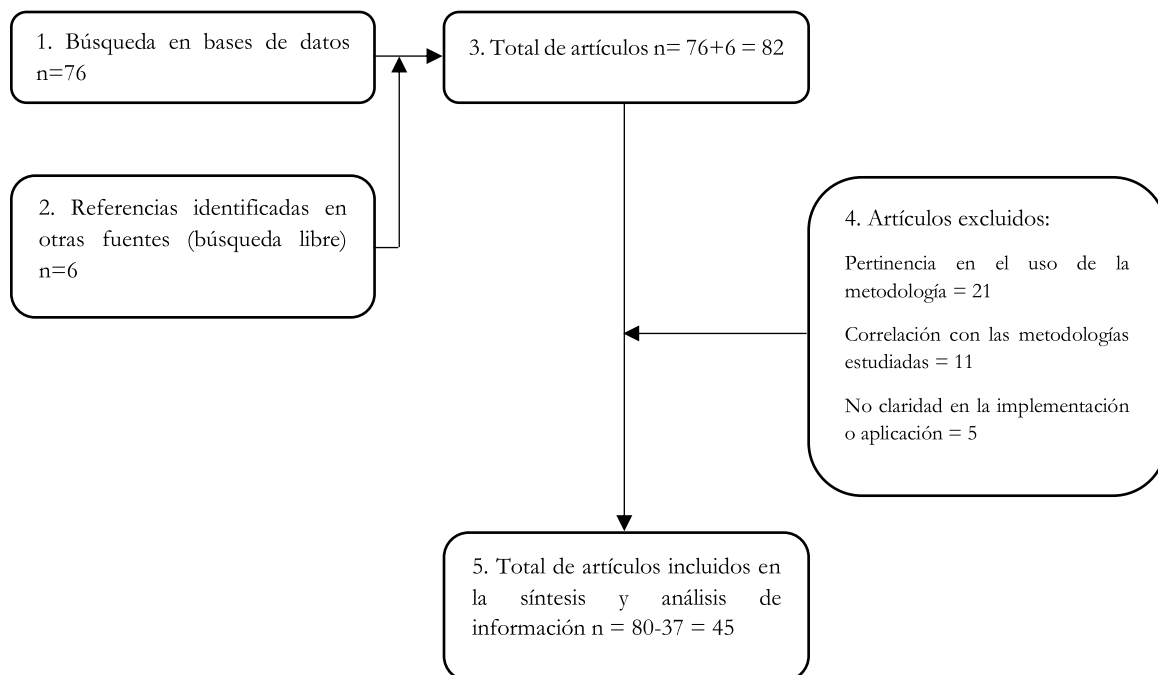
El esquema metodológico que se planteó para este estudio teniendo en cuenta que trata de una investigación secundaria de tipo cualitativo, es un diseño documental (Bernal, 2010), en el cual se describirán los aportes importantes e impacto positivo en los resultados obtenidos de los diferentes artículos citados.

Se determinó realizar una completa revisión bibliográfica del material literario relacionado al uso de Inteligencia Artificial y su aporte a la implementación de metodologías Lean como herramienta fundamental en la reducción de costos operativos atribuibles a diferentes causas y que está disponible en las bases de datos de Elsevier, tales como Scopus o Science Direct; se usó también IEEE, como referente de publicaciones vanguardistas en ingeniería y ciencias afines, finalmente se consultaron libros físicos y digitales relacionados con la temática a estudiar.

Se definen como criterios de inclusión la fecha de publicación, se delimita el año de publicación al año 2000 y posteriores, puesto que inicialmente se definió a 2015 y no se encontraron la cantidad de artículos para el soporte documental requerido; los idiomas de publicación, que se acotaron a español e inglés y la aplicación de las metodologías a estudiar, de manera que permita integrar su aplicación.

Una vez se definieron estos criterios, se establece la estrategia de búsqueda con palabras clave como Lean Six Sigma, Inteligencia artificial, mejora continua, automatización, optimización de costos y su combinación con operadores booleanos (Merino-trujillo, 2013), garantizando así su interrelación.

Figura 1. Selección de revisión bibliográfica



Fuente: Construcción propia, adaptado de (Vera Carrasco & Figueroa, 2017)

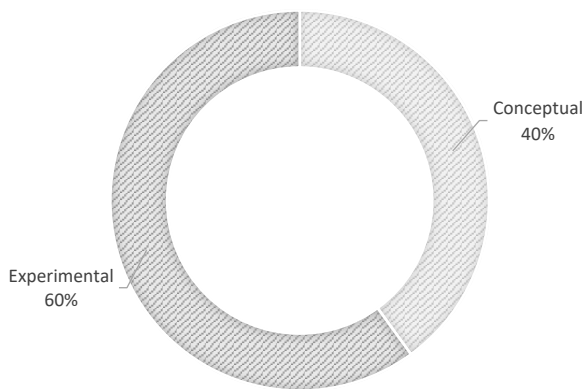
En la figura 1 se marca el flujo del análisis de la documentación según los criterios definidos, logrando calidad de información para su posterior síntesis e interpretación.

Con respecto a la cantidad de artículos a incluir en la revisión bibliográfica, usualmente se solicitan un mínimo de 50 referencias, aunque este número puede variar, teniendo en cuenta los criterios de exclusión planteados y el proceso de análisis de documentos y síntesis de la información (Colciencias, 2010).

Finalmente, de los 82 documentos entre libros y artículos consultados, se seleccionaron 45 que cumplen con los criterios y la calidad definida, cabe aclarar que se seleccionó también 2 artículos que, aunque no cumplía con todos los criterios, la calidad de su contenido y su correlación con el tema hizo que se considerara su inclusión en la revisión bibliográfica.

Los documentos consultados para esta revisión, se clasificaron según el impacto que tienen en la temática estudiada, se tienen en cuenta también los conceptos relacionales de las metodologías evaluadas y el principio básico de cada herramienta usada, la figura 2 muestra la distribución de los documentos consultados, el 40% de ellos contribuyen conceptualmente a los planteamientos metodológicos de esta investigación, es decir que en estos artículos y libros consultados, se logra la profundización de los conceptos propios de las metodologías estudiadas, brindan elementos teóricos en los que se fundamenta el uso e impacto de herramientas IA<sup>4</sup> en metodologías de gestión empresarial Lean enfocadas a la optimización de recursos operacionales y sobre todo en la eliminación de micro desperdicios; el otro 60% representa los casos de implementación y revisiones sistemáticas, estos segundos son los que posteriormente se analizaran en el capítulo 4, puntualmente en la tabla 1.

**Figura 2. Clasificación de documentación**



Fuente: Construcción propia

### 3. MARCO TEÓRICO

Partiendo del primer objetivo planteado como la identificación bibliográfica de los conceptos básicos interrelacionados de Inteligencia Artificial y Lean, puntualmente Lean Management, Lean Six Sigma y Lean Manufacturing, se define que, los costos operacionales asociados a desperdicios pueden estar presentes a lo largo de toda la cadena productiva, el análisis de datos con Inteligencia Artificial mostró que el 73% del desperdicio global corresponde al tiempo de preparación y el costo operacional afectado de los números de bajo volumen que Lean Six Sigma no podía reducir (Daniel K. et al., 2020), finalmente este costo de desperdicio se trasmite a los clientes como aumento en los precios de venta, por tal motivo a continuación se describen las metodologías que intervienen directamente en la identificación y eliminación de los mismos y que serán objeto de investigación en el presente documento:

<sup>4</sup> Inteligencia Artificial

### 3.1 Lean Six Sigma

Es una metodología organizada y sistemática encaminada a brindar soluciones a las compañías para la mejora continua de sus procesos organizacionales haciéndolos más productivos y disminuyendo la variabilidad de los mismos, se basa principalmente en métodos estadísticos y en sinergia con el método DMAIC ayudan a identificar y minimizar las variaciones y/o defectos en las operaciones en las empresas (De Mast & Lokkerbol, 2012).

La implementación de esta metodología se realiza a mediano y a largo plazo, aunque en algunas ocasiones puedan verse resultados en un tiempo menor al esperado, todo depende de la madurez y responsabilidad con que se lleven a cabo las actividades planteadas en los cronogramas de trabajo (Daniel K. et al., 2020).

Dentro los beneficios de implementación de Lean Six Sigma se pueden encontrar: Reducción en tiempos de inventarios, mejora del flujo de caja, mejora de la calidad, reducción de costos, eficiencia en los procesos, aumento de capacidad productiva (S. Luis & Carlo, 2019).

Lean Six Sigma también permite tener otras ventajas diferentes a las económicas u operativas tales como son una mayor satisfacción del cliente, mejoras en la seguridad, mejora continua en la cultura organizacional, motivación al personal en programas de ideas e innovación (S. Luis & Carlo, 2019).

Para que esta metodología pueda implementarse exitosamente en una compañía, Lean Six Sigma debe estar soportada en proyectos de mejora continua muy bien estructurado que involucre todas las partes interesadas de la organización (Shah et al., 2019). Estos deben estar impulsados desde la alta dirección y ejecutados por grupos de trabajos o equipos de mejora preferiblemente con amplia experiencia y conocimiento en herramientas de mejora continua, puesto que van a ser estos los principales actores en la identificación de aquella problemática que se quiere mejorar (Guerrero, 2019).

### 3.2 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial, es la ciencia computacional que pretende emular el razonamiento humano y sus procesos implícitos a través de equipos de cómputo (McCarthy, 1956).

En la actualidad, la Inteligencia Artificial tiene una gran número de subcategorías de estudio, desde propósitos muy generales como teoremas matemáticos, hasta la escritura de poesía y detección o diagnóstico de enfermedades; en todos los casos, la Inteligencia Artificial sintetiza y automatiza secuencias de tareas (tareas repetitivas) potencialmente relevantes en cualquier actividad humana, lo que la convierte en un campo genuinamente universal (Russell & Norvig, 2004).

Como se establece en el párrafo anterior, la Inteligencia Artificial es altamente utilizable en la mayoría de las industrias, conceptos como Machine Learning, que es un conjunto de algoritmos entrenados con datos para tomar decisiones similares a las de los humanos, cada vez cobran valor en las organizaciones (Daniel K. et al., 2020); en especial el algoritmo de Deep Learning, inspirado en la estructura biológica cerebral que imita las funciones neuronales para crear máquinas y sistemas inteligentes (Aydoğan & Karci, 2020).

Usualmente, un modelo de aprendizaje profundo supervisado (DL<sup>5</sup>) tiene una capa de entrada, toma unos datos crudos etiquetados, posterior los procesa en un grupo de capas ocultas para aprender los diferentes patrones existentes entre ellos para finalmente, en una capa de salida, entregarlos categorizados (para modelos de clasificación, usualmente cualitativos dicotómicos, como regresiones logísticas) o en números reales (para modelos de regresión). Por lo general, un modelo de aprendizaje supervisado se entrena en un gran conjunto de datos hasta que la diferencia entre la predicción de la capa de

---

<sup>5</sup> Deep Learning

salida y la etiqueta de la diferencia de entrada sea mínima. Para ello, cada modelo de aprendizaje profundo tiene un algoritmo de optimización y una función de pérdida asociada (Perera et al., 2021).

Este tipo de modelos, altamente aplicables a la industria, permiten la optimización de materias primas, obtención de recursos JIT<sup>6</sup> (Inventario 0), ajustes sobre la marcha, optimización en tiempos de entrega y alistamiento y otras decisiones que históricamente se han tomado basándose en la experiencia del personal, habilidades que pueden perderse, en cambio un algoritmo de aprendizaje automático puede ayudar a identificar la mejor opción para minimizar el desperdicio y el costo, permitiéndole a empleados sin experiencia en el trabajo ejecutar lineamientos basado en recomendaciones de la Inteligencia Artificial (McMahon et al., 2019).

Por todo lo anteriormente mencionado en este capítulo, se puede inferir que aunque Lean Six Sigma es una metodología muy robusta, está llegando a sus límites, principalmente porque los procesos cada vez son más complejos por la cantidad de variables que se relacionan entre sí, además de la automatización y digitalización de los mismos, lo cual genera una gran cantidad de datos que excede la capacidad de manejo que tienen las estructuras de bases de datos actuales en la industria, que no tienen la velocidad requerida para el análisis exploratorio y el procesamiento casi en tiempo real de los mismos (Wostmann et al., 2020).

Por esto, se hace necesario el uso de herramientas de Inteligencia Artificial para optimizar el uso de Lean Six Sigma en los procesos productivos bajo los nuevos paradigmas y comportamientos del mercado actual (Kai-Fu, 2014).

### **3.3 Mejora Continua**

Las compañías en la actualidad, prácticamente se ven obligadas a establecer estrategias de mejora continua en sus operaciones y/o servicios ya que esto les permite ser más competitivos a nivel de precios, calidad en sus productos y servicios. Esto se logra mediante el soporte que brindan las herramientas de mejora continua permitiéndoles reducir costos de operaciones, aumento de productividad y reducción en defectos de calidad (Antosz & Stadnicka, 2017).

A nivel empresarial estas herramientas de mejoramiento continuo son adoptadas principalmente en la implementación de metodologías como Lean Six Sigma, la cual no solamente tiene beneficios a nivel financiero y en la medición de indicadores de las compañías, también representa mejoras en lo que respecta a tener mejores entornos de trabajo haciéndolos más seguros y confortables, fomentando la cultura de cambio motivados por los hábitos de mejora continua (In & Spanish, 2016).

### **3.4 Optimización de Costos**

Tener precios competitivos en el mercado con la mejor calidad y siempre disponible para los clientes, son unos de tantos desafíos que enfrentan las industrias de nuestra época, Lean Six Sigma es una metodología que indiscutiblemente brinda a las compañías una gran oportunidad de disminuir los costos operativos ya que se enfoca principalmente en disminuir la variabilidad de los procesos, esto a su vez se traduce a disminución en defectos de calidad reduciendo así los productos no conforme, estandarización de los procesos que se puede ver reflejado en disminución de tiempos de operación (Olanrewaju et al., 2019). Este tipo de mejora en los procesos se ve traducido en ahorros económicos en los procesos industriales y/o de servicios de las diferentes empresas

---

<sup>6</sup> Just In Time (Justo a tiempo)

### 3.5 Automatización

La integración de la Inteligencia Artificial en la industria permite mejoras significativas en los procesos, asociadas a la disminución de defectos (calidad), no de forma mágica, sino partiendo de los datos que generan por sí mismos (McMahon et al., 2019).

La industria 4.0<sup>7</sup> se caracteriza por el uso de herramientas derivadas de IoT<sup>8</sup> para potencializar los procesos productivos y contribuir a la concepción de un modelo de producción más inteligente (Mofolasayo et al., 2022), actualmente, en la era de la Cuarta Revolución Industrial, estos sistemas están equipados con una amplia gama de sensores, actuadores y herramientas de análisis que permiten el diagnóstico temprano de un error y realizar la autocorrección antes de que pueda ocurrir (Yilmaz et al., 2022a); agregar automatización y robots se está volviendo más importante hoy en día, ya que nuestra cultura quiere cada vez más productos personalizados. Estos llamados métodos de fabricación ajustada permiten a los gerentes de fábrica reconfigurar sus líneas de producción sobre la marcha (Higginbotham, 2019), se entenderá entonces al uso y aprovechamiento de estos recursos tecnológicos para potencializar los procesos productivos como automatización (Escobar et al., 2021).

### 3.6 Lean Manufacturing

Esta metodología que usualmente es llamada filosofía Lean por los expertos, se convierte en un aliado estratégico para el cumplimiento de metas, indicadores y metas de mejoramiento en las operaciones de las industrias (In & Spanish, 2016).

Implementar y mantener la filosofía Lean en las industria conlleva a un universo de beneficios, que por si bien generalmente la alta dirección los enfoca en mejorar el rendimiento y desempeño de las organizaciones, en realidad sus beneficios van más allá de esos. Ejemplos de estos pueden ser; aumento de la productividad en el número de unidades producidas con los mismos recursos con que ha venido operando la compañía, estandarización de procesos con el objetivo de disminuir la variabilidad, entrenamiento continuo en la mano de obra de tal manera que se puedan disminuir errores atribuibles al personal, aumento en el indicador OEE<sup>9</sup> (Antosz & Stadnicka, 2017).

Una exitosa implementación de esta metodología en gran parte del talento humano que posea la compañía; se precisa de personal dispuesto al cambio, que rompa paradigmas, que esté altamente capacitado sobre las labores que realiza. Estas cualidades son de vital importancia, ya que permiten identificar objetivamente aquellas etapas y/o procesos que retrasan el flujo continuo de las operaciones, lo cual se puede lograr haciendo un mapeo de flujo Value Stream Mapping (VSM) Existen otros factores y situaciones que pueden retrasar los cronogramas de actividades y el desarrollo de estas, se identifican tres aspectos importantes que se deben tener en cuenta para realizar una implementación exitosa (Antosz & Stadnicka, 2017)

De ahí la importancia de la Inteligencia Artificial desde el punto de vista tecnológico en pro de realizar diagnósticos más acertados para aquellas compañías que implementen metodologías de mejoramiento continuo o robustecer lo ya implementado, ya que tiene la ventaja de detectar basadas en la inteligencia de datos o análisis estadístico aspectos que manual o visualmente no es fácil de dar cuenta por el recurso humano.

---

<sup>7</sup> Cuarta revolución industrial

<sup>8</sup> Internet of Things (Internet de las cosas)

<sup>9</sup> Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos

#### 4. REVISIÓN LITERARIA

Luego de definir los conceptos fundamentales de esta investigación, actividad que da respuesta al primer objetivo específico planteado, se procede a identificar, mediante la revisión de casos de implementación de modelos de optimización organizacional y revisiones literarias, como se puede utilizar la Inteligencia Artificial como un apoyo o soporte facilitador en la implementación de metodologías Lean para la optimización de recursos empresariales, en la tabla 1 de relacionan los aspectos principales de los documentos consultados:

**Tabla 1. Revisión Literaria**

Titulo	Autores	Objetivo	Principales hallazgos
Standardization of Procedures to Contain Cost and Reduce Variability of Care After the Pandemic	(Raveglia et al., 2021)	Identificar los principales aspectos que se podrían mejorar con éxito a lo largo de todo el recorrido de un paciente desde la primera derivación al diagnóstico, hospitalización y operación quirúrgica hasta la convalecencia.	Integración de abajo hacia arriba de personal médico a gerentes que sirven como facilitadores para la integración de Lean Six Sigma al proceso, procurando la eliminación de actividades que no generan valor.
Addressing food waste and loss in the Nigerian food supply chain: Use of Lean Six Sigma and Double-Loop Learning	(Kolawole et al., 2021)	Definir cómo DMAIC-DLL podría usarse como una solución efectiva para el desperdicio y la pérdida de alimentos en la etapa previa al consumo.	Identificación de causas detectadas por el modelo que generan el desperdicio, el aprendizaje de doble ciclo permite identificar y corregir las falencias en el proceso, los problemas asociados a transporte, almacenamiento, fabricación y despacho fueron resueltos o minimizados.
Production quality improvement of Yamalube Bottle with Six Sigma, FMEA, and Data Mining in PT. B	(Fitriana et al., 2020)	Mejorar utilizando métodos Six Sigma para minimizar el nivel de defectos en la botella del producto Yamalube mediante la identificación de defectos.	Los resultados van en torno a la mejora productiva, con un alcance de 2,17 Sigma y un ascenso en la cantidad de unidades; también se detectaron las causas de desperdicios en el uso de la materia prima.
Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry	(Guleria et al., 2020)	Eliminar la variación y desperdicios en el proceso en una industria de fabricación de engranaje.	Soportados en la metodología DMAIC para el desarrollo de las actividades, medida de la eficiencia y detección de las causas en la heterogeneidad del proceso en sinergia con un sistema estadístico de control en proceso.
Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective	(Yilmaz et al., 2022)	Minimizar la tasa de fracaso en la implementación de Lean Six Sigma y herramientas de industria 4.0.	La integración resultó en varios beneficios operativos relacionados con el tiempo de entrega, el rendimiento y la calidad. En términos de impacto ambiental, existe un potencial para estimar el uso de los recursos involucrados en la producción y reducir las emisiones de CO2. Otros beneficios incluyen la mejora del bienestar de los empleados, una mejor comunicación y el empoderamiento de los empleados.
Artificial intelligence for the prediction of tensile properties by using microstructural parameters in high strength steels	(Jung et al., 2020)	Diseñar un modelo de retro propagación basado en una red neuronal que permita la evaluación de un gran número de variables en la producción inteligente de la industria metalúrgica.	Un algoritmo de aprendizaje profundo con ajuste hiperparamétrico y validación cruzada permitió una alta precisión en la predicción de datos experimentales con errores porcentuales absolutos medios del 6,59 % y el 10,78 % para los conjuntos de validación y prueba, respectivamente.
Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process	(Costa et al., 2019)	Reducción de las unidades defectuosas de pines de inserción producidas en un proceso automático, logrando así la disminución de los costos de no calidad.	Mediante la utilización de la metodología DMAIC, se logró identificar la(s) causa raíz que estaban ocasionando las unidades defectuosas, lo cual al final de la implementación se logró reducir de 3231 PPM a 321 PPM las unidades defectuosas, traducándose en cifras económicas un ahorro de 122 mil euros, También se logró disminuir la variabilidad del proceso.
How to adapt lean practices in SMEs to support Industry 4.0 in manufacturing	(Mofolasayo et al., 2022)	Establecer como la metodología LEAN puede ayudar a la industria 4.0 a disminuir los desperdicios y aumentar la productividad.	La adaptación va a depender principalmente del tamaño de las empresas y los recursos económicos y tecnológicos que se posean.

Intelligent integrated plant operation system for Six Sigma	(Han & Lee, 2002)	Desarrollar un modelo cognitivo de regresión multivariada para la implementación de Lean Six Sigma en una planta de producción.	Cuando el sistema de operación de la planta proporciona a los ingenieros y operadores todas las funciones (recopilación de datos, análisis estadístico, modelado, diseño de experimentos, generación y control de informes), los ingenieros y operadores pueden concentrarse en la identificación del problema, la formulación, la generación de soluciones y la validación del mejora.
Six Sigma as a competitive strategy: main applications, implementation areas and critical success factors (CSF)	(F. Luis & Moncayo, 2019)	Identificar los principales ámbitos y propósitos de la aplicación de Six Sigma como estrategia de mejora operacional.	Factores críticos de éxito en la implementación de Lean Six Sigma como estrategia de mejora organizacional: (1) Soporte, (2) Compromiso de la gerencia, (3) Relación con los clientes, (4) Cultura organizacional, (5) Educación, (6) Entrenamiento, (7) Infraestructura organizacional, (8) Comunicación.
Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean-six sigma methods	(Gleeson et al., 2019)	Se propone una serie de factores humanos y métodos de ingeniería cognitiva para abordar las lagunas en los métodos Lean Six Sigma actuales.	La integración de nuevos métodos en las estructuras Lean Six Sigma bien establecidas evita la necesidad de adoptar nuevos marcos, describe cómo se pueden combinar los factores humanos y los métodos de ingeniería cognitiva con Lean - Six Sigma para crear un marco de productividad mejorado para la fabricación compleja.
Aplicación Lean Six Sigma para la disminución de unidades defectuosas en una empresa farmacéutica	(Perez et al., 2019)	Disminuir el número de unidades defectuosas en bolsas estériles de 250mL.	Se identifican 4 principales causas atribuibles a los defectos presentados en las bolsas; Sello incompleto, doble quiebre, prensa y micro fugas, que representan el 2,34% de reprocesos y 0,09% de desechos.
Six Sigma Methodology and Postoperative Information Reporting: A Multidisciplinary Quality Improvement Study with Interrupted Time-Series Regression	(Shah et al., 2019)	Describir una iniciativa multidisciplinaria de mejora de la calidad para el reporte de la información posoperatoria.	Los puntajes acumulados de traspaso aumentaron 18,3 puntos en el período posterior a la implementación (n = 70) en comparación con los traspasos previos a la implementación (n = 69), un hallazgo que siguió siendo estadísticamente significativo después de ajustar las tendencias del tiempo previo a la intervención (diferencia 16 puntos; intervalos de confianza del 95 % 3- 31; p = 0,021).
From data to value: A nine-factor framework for data-based value creation in information-intensive services	(Lim et al., 2018)	Utilidad de estos factores para describir, analizar y diseñar toda la cadena de creación de valor, desde la recopilación de datos hasta la creación de valor, en los sistemas productivos.	Proporcionar una base simple pero completa y probada empíricamente para el uso y la gestión de datos para facilitar la creación de valor del servicio :(1) fuente de datos, (2) recopilación de datos, (3) datos, (4) análisis de datos, (5) información sobre la fuente de datos, (6) entrega de información, (7) cliente (usuario de la información), (8) valor en el uso de la información y (9) red de proveedores.
The application of machine learning to consolidate critical success factors of lean six sigma	(Perera et al., 2021)	Cierre de brechas en la aplicación de la metodología Lean Six Sigma con herramientas de aprendizaje automático desde un enfoque investigativo y de revisión literaria de conceptos académicos y casos prácticos de aplicación.	Evaluación de la categorización del modelo a través del Re muestreo repetido, la validación cruzada permite que los modelos se prueben utilizando todo el conjunto de entrenamiento, maximizando el número total de puntos utilizados para la prueba y posiblemente reduciendo la posibilidad de sobreajuste; se usó el 20% de los datos para el entrenamiento del modelo y se obtuvo un 82% de precisión en la clasificación y predicción, el resultado final proporciona a los investigadores una mayor comprensión de las brechas y la interacción de las metodologías.

How smart is your manufacturing? Build smarter with AI	(McMahon et al., 2019)	El objetivo de este documento es brindar una comprensión aplicable de la inteligencia artificial, reconocer los lugares creativos en los que se aplica y demostrar cómo permite más tiempo para la resolución creativa de problemas, que es donde prosperan los humanos.	La Inteligencia Artificial optimiza todos los procesos de la empresa productiva, en el documento se referencias orientadas al diseño, basándose en datos históricos, en mercadeo, con el uso de dashboards del estado de los productos y la empresa en general, en la inspección, con modelos inteligentes de control de procesos (Lean Six Sigma) y también en servicio al cliente y post venta, donde el uso de herramientas de Inteligencia Artificial facilitan la comunicación con los clientes, la administración de recursos y el rastreo de los mismos
Lean Six Sigma Methodology and Its Application in the Manufacturing Industry – A Review	(Olanrewaju et al., 2019)	Destacar los beneficios en pro de mejorar la productividad efectiva en las industrias disminuyendo desperdicios y aumentando el nivel de calidad de los productos.	Se evidenciaron reducciones en tiempos de inactividad en un 60% en industrias Intel's , utilizando herramientas como DMAIC y SIPOC, reducción de costos operativos atribuibles a la disminución de defectos en Indushite godos.
Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective	(Yilmaz et al., 2022)	Integrar la implementación de los principios lean con la tecnología de la industria 4.0.	En la industria automotriz hubo un gran desempeño financiero de estas empresas al implementar tecnología 4.0 en procesos de implementación Lean, se implementaron tarjetas kanban electrónicas (E-Kanban) disminuyendo así los errores y pérdidas atribuibles a las tarjetas manuales. Se implementaron señales electrónicas para la recolección de datos y notificación en línea de bajones de rendimiento en los procesos, se utilizó ERP para el proceso de implementación de justo a tiempo en una planta de manufactura en Turquía.
An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving	(De Mast & Lokkerbol, 2012)	Uso de Six Sigma como metodología para solución de problemas.	Usando como herramienta principal DMAIC se logra identificar aquellos factores que están ocasionando alta variabilidad en los procesos y/o tareas ejecutadas, aumento de la calidad y disminución de no conformes, aumento de la productividad y eficiencia.
Quality4.0, Green, Black and Master Black Belt - Curricubla	(Escobar et al., 2021)	Contextualizar como la big data y la inteligencia artificial en conjunto con Six Sigma potencian el desempeño industrial y el mejoramiento de la calidad.	Mediante la obtención e interpretación de datos involucrados en los procesos mediante la inteligencia artificial y el tratamiento estadístico , se puede mejorar la calidad de los procesos que se traduce en aumento de la productividad y disminución de no conformes.
Development Trends of Production Systems through the Integration of Lean Management and Industry 4.0	(Florescu & Barabas, 2022)	Propone un análisis de herramientas Lean y tecnologías de Industria 4.0 con el fin de proporcionar un modelo para el desarrollo y la integración en aplicaciones industriales.	A través de una revisión sistemática de la literatura se realizó un análisis de las estrategias clave de producción actuales a través de un nuevo enfoque conceptual desde la perspectiva de correlacionar el sistema de gestión Lean en el campo de la fabricación flexible, correlacionada con la integración de técnicas de Industria 4.0, como el gemelo digital y la simulación, condujo a procesos de producción mejorados mediante una reconfiguración rápida y flexible, siendo los dos conceptos interdependientes. Se simuló el proceso en una línea de producción de una pequeña y media empresa usando herramientas Lean (5'S , KAIZEN, VSM, Just in Time) y herramientas de la industria 4.0 como la Inteligencia artificial. Los Resultados de la simulación demostraron un aumento del 95% en tiempos de trabajo efectivos. La simulación permitió gestionar, tiempos de carga de equipos, tiempos de esperas auxiliares, bloqueos, tiempos de funcionamientos entre otros.
Combining World Class Manufacturing system and Industry 4.0 technologies to design ergonomic manufacturing equipment.	(Ciccarelli et al., 2022)	Proponer un modelo de diseño de puestos de trabajo ergonómico como facilitador de para mantener su competitividad mediante la reducción de desechos y costos.	Se han logrado importantes beneficios en términos de ergonomía, eficiencia y estandarización de procesos bajo una metodología integral para respaldar el diseño de equipos de fabricación considerando factores humanos mediante la integración de tecnologías de Industria 4.0 y elementos de fabricación de clase mundial. Mediante el análisis MURA encargado de identificar la variabilidad del proceso, se logra reducir en un 68,7% la variabilidad del proceso de manufactura y 9,4% el tiempo estándar en las operaciones de ensamblaje.

			Mediante el análisis MUDA que se encarga de identificar el número de actividades innecesarias de los operadores, se redujo en un 48,9% el número de pasos necesarios para realizar el proceso de ensamblaje, para esto se utilizó el diagrama de spaghetti y se integró una autorización de bajo costo diseñado exclusivamente para la compañía.
Lean manufacturing and Industry 4.0 combinative application: Practices and perceived benefits	(Marinelli et al., 2021)	Resaltar las combinaciones populares de herramientas que se ven en la práctica de la fabricación y capturar el nivel percibido de su contribución.	Los resultados muestran que los datos en tiempo real, el IoT para el intercambio de datos, el análisis de big data, los sistemas físicos cibernéticos (CPS), los algoritmos predictivos y los robots se encuentran entre las aplicaciones I4.0 más populares que se utilizan para respaldar atributos lean como el flujo continuo, Kanban, trabajo estandarizado, TPM y mejora continua. El 65% de los entrevistados confirmó que la utilización de datos en tiempo real garantiza el flujo continuo de las operaciones ya que permite monitorear en tiempo real las operaciones y establecer tendencias El uso de Cyber - Physical System algoritmos predictivos en contexto de TPM puede optimizar las tareas de mantenimiento en un 38% y 44% respectivamente.
A Sustainable Methodology Using Lean and Smart Manufacturing for the Cleaner Production of Shop Floor Management in Industry 4.0	(Tripathi et al., 2022)	Desarrollar una metodología para la gestión de producción más limpia utilizando manufactura esbelta e inteligente en la industria 4.0.	Los resultados revelan que la metodología desarrollada podría proporcionar un sistema de producción sostenible y resolución de problemas que son clave para controlar la gestión de la planta de producción en el contexto de la industria 4.0.
Impact of industry 4.0 technologies on lean manufacturing and organizational performance in an organization	(Pereira & Sachidananda, 2022)	Encontrar evidencia empírica para mostrar la relación directa entre la introducción de la industria 4.0 y el proceso Lean y encontrar el impacto que tiene en el desempeño organizacional.	Se demuestra estadísticamente la relación existente entre el uso de herramientas de inteligencia artificial (industria 4.0) y la implementación de modelos bajo la metodología Lean, respaldando la idea de sostenibilidad y desarrollo sostenible.
Production of the Future – Maturity Model as an Analytical Tool	(Wessing & Müller, 2022)	Analizar los puntos focales de los procesos y sistemas de producción modernos y definir los resultados en un modelo de pilares titulado "Producción del futuro".	Se desarrolla un modelo de madurez con cinco niveles de madurez para cada sección basado en el modelo de pilares. Para las empresas, la aplicación del modelo de madurez ofrece la oportunidad de determinar sus fortalezas y debilidades en temas de la producción del futuro y, si es necesario, introducir actividades para cambiar a una producción moderna y económica.
Artificial intelligence for the prediction of tensile properties by using microstructural parameters in high strength steels	(Jung et al., 2020)	Diseñar un modelo de retro propagación basado en una red neuronal que permita la evaluación de un gran número de variables en la producción inteligente de la industria.	Un algoritmo de aprendizaje profundo con ajuste hiperparamétrico y validación cruzada permitió una alta precisión en la predicción de datos experimentales con errores porcentuales absolutos medios del 6,59 % y el 10,78 % para los conjuntos de validación y prueba, respectivamente.
Conceptualizing Industry 4.0 for Greek Manufacturing Sector	(Kostavelis & Gasteratos, 2006)	Introducir la industria 4.0 en colaboración de la filosofía Lean para dinamizar la productividad empresarial	Se proponen Cyber - Physical - System (CPS) y sensores inteligentes que permitan tener datos más certeros acerca del mantenimiento predictivo de los equipos. Implementación de sistemas inteligentes sincronizados con las materias primas y materiales en stock que permitan tener exactitud de los inventarios.

Does lean and sustainable manufacturing lead to Industry 4.0 adoption: The mediating role of ambidextrous innovation capabilities (Dixit et al., 2022) La industria 4.0 como soporte para manufacturas sustentables. Mediante el diseño estructural y simulación computacional integrando herramientas de la industria 4.0 como lo son el internet de las cosas, internet de servicios y Cyber-Physical-System, permiten a las empresas la utilización eficiente de recursos y disminución de desperdicios. También la integración de operaciones , flujo continuo de actividades y reducción de consumo de energía.

Agility and Industry 4.0 Implementation Strategy in a Quebec Manufacturing SME (Abdulnour, 2022) Desarrollar una estrategia de implementación de industria 4.0 en una pequeña y mediana empresa utilizando sistemas de manufacturas modulares. Uno de los objetivos de este trabajo fue estudiar el efecto del diseño de productos modulares agrupados en plataformas sobre el éxito de la implementación de agilidad e Industria 4.0. Para lograr esto, se analizaron los datos históricos de ventas y las características del producto. Se crearon nuevos diseños de productos modulares. En este caso de estudio, la estandarización y modularizarían de los productos nos permitió reducir en un 70% los componentes relacionados con los transportadores de banda y reducir en un 63% los componentes relacionados con los transportadores de alimentación. Otro objetivo de este trabajo fue hacer el proceso 4.0 promoviendo el flujo físico lineal y el flujo de información. Para lograr esto, se tuvo que implementar un esquema de codificación adaptado al diseño modular.

Hybrid Lean Practices Integrated with IR 4.0 and Sustainability in Malaysia Food and Beverages Companies: Conceptual Framework and Hypothesis Development (Akanmu & Nordin, 2022) Este estudio pretende tener una investigación preliminar de los efectos combinados de las tecnologías LMP e IR 4.0 en el desempeño sostenible, específicamente en la industria de alimentos y bebidas. Además, el estudio tiene como objetivo confirmar la dirección futura de la industria alimentaria que recientemente está empleando nuevas tecnologías en sus sistemas de fabricación. Las iniciativas de mejora continua, como las prácticas lean, ayudan a las organizaciones a alcanzar un alto nivel de rendimiento, seguir siendo competitivas y realizar cambios de proceso rápidos o cohesivos mediante la incorporación de procesos operativos. Estas prácticas, junto con las tecnologías IR 4.0, se enfocan en crear más valor para los clientes al eliminar las actividades de desecho y agregar productos y servicios. Además, estas tecnologías modernas se integran en las prácticas de fabricación para evaluar y eliminar errores y defectos en el procesamiento comercial al concentrarse en resultados efectivos para sostener el desempeño social, ambiental y económico de la organización. De manera similar, las prácticas lean híbridas con las tecnologías IR 4.0 han combinado la fuerza de ambas prácticas distintivas para aumentar el rendimiento de cualquier organización a través de la satisfacción del cliente y mejorar el resultado de la línea de triple botella. Además, los investigadores han demostrado que la integración de las tecnologías IR 4.0 en las prácticas híbridas de fabricación ajustada se encuentran entre las prácticas menos adoptadas por la organización, ya que muchas empresas de fabricación aún se encuentran en la etapa inicial del sistema inteligente. Es comprensible que estas prácticas requieran recursos financieros, lo que plantea limitaciones, especialmente para las empresas de bajo margen que constantemente buscan formas de minimizar los costos y confían en el conocimiento estadístico.

Using Industry 4.0 Capabilities for Identifying and Eliminating Lean wastes	(Rajab et al., 2022)	Presenta una revisión bibliográfica para identificar las diferentes asociaciones entre la industria 4.0 y Lean para la eliminación de desperdicio	La revisión de la literatura ha demostrado cómo las capacidades de la Industria 4.0 y sus diferentes aplicaciones tienen un papel importante y creciente en la implementación exitosa de iniciativas de manufactura Lean. Los estudios también han demostrado cómo el acceso instantáneo a los registros almacenados en la nube puede reducir el inventario y cómo la realidad aumentada se puede utilizar para mejorar las habilidades de los operadores y en la identificación de algunas habilidades utilizadas. Finalmente, cómo la simulación y el modelado digital se han utilizado ampliamente en la identificación y reducción de movimiento. La investigación adicional que se basa en este trabajo buscaría comprender las relaciones entre la Industria 4.0 y la manufactura lean, como las asociaciones que vinculan las capacidades de la Industria 4.0 con las métricas de manufactura lean y cómo la Industria 4.0 puede mejorar las herramientas de manufactura lean. Herramientas como el internet de las cosas el Big Data impactan positivamente en los sobre inventarios, procesos , tiempos innecesarios de espera, transporte y defectos.
---	----------------------	---	---

Fuente: Construcción propia

En la tabla 1 se relacionan los artículos en los cuales se evidencian hallazgos del impacto en la productividad y disminución de costos operativos que tienen el uso de herramientas de inteligencia artificial y gestión del conocimiento en un enfoque empresarial, bajo la implementación de metodologías Lean.

Con lo anterior, se da respuesta al segundo objetivo específico de esta investigación, puesto que se relacionan los artículos donde se muestran los hallazgos en la optimización de costos operativos asociados al uso de herramientas IA<sup>10</sup> en metodologías Lean de manera paralela, generando así una sinergia muy provechosa para dicha optimización, como se puede evidenciar en un primer análisis exploratorio, solo a través del uso de estas herramientas IA se logra que la implementación o ejecución de modelos basados en metodologías Lean se potencialice al punto de obtener resultados de optimización de recursos vistos en la revisión literaria realizada.

El uso de las metodologías Lean, combinadas con herramientas innovadoras en torno a lo que hoy se conoce como industria 4.0 o simplemente el uso de herramientas de Inteligencia Artificial aplicadas a la industria, potencializa los efectos en la reducción de costos operativos (optimización) asociados a desperdicios en la ejecución de actividades que no generan valor al proceso (Raveglia et al., 2021); se puede observar como el uso de herramientas de análisis e identificación impactan positivamente en los logros alcanzados con la implementación de estas metodologías.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo específico definido, se evidencia que los artículos consultados muestran el grado de adaptabilidad que tienen las metodologías Lean a los métodos y herramientas de vanguardia (IA), desde muchos aspectos se ve como es potencializada con la adopción de las mismas, particularmente se denota el impacto que el aprendizaje basado en evidencias o de doble ciclo permite el uso de una metodología cuantitativa en una investigación de tipo cualitativo y con resultados y hallazgos tan útiles y prometedores (Kolawole et al., 2021).

También permiten identificar como la combinación estratégica de herramientas de análisis e inferencia como los árboles de decisión, fundamento probabilístico de impacto en el desarrollo de la inteligencia artificial (Fitriana et al., 2020),

---

<sup>10</sup> Inteligencia Artificial

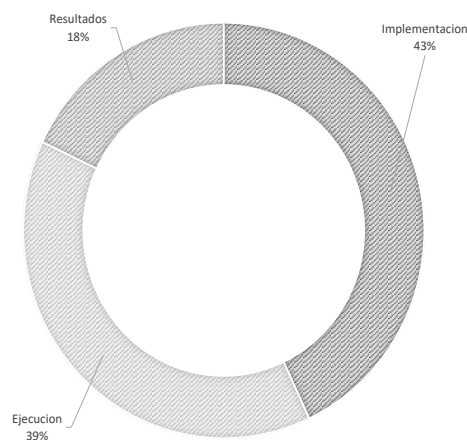
particularmente en el aprendizaje automático demuestra ser una herramienta poderosa en la implementación de modelos empresariales reduccionistas en costos basados en metodologías Lean.

Conceptos básicos de IA como la minería de datos generados por el proceso que se busca mejorar, acompañado por el control de procesos estadístico de modelos multivariados (Han & Lee, 2002), son una combinación ideal de elementos clave como estadísticas, base de datos, conocimiento de procesos e inteligencia artificial imprescindibles para el éxito en la implementación y ejecución de los modelos investigados.

Definitivamente la Inteligencia Artificial resulta ser una herramienta muy importante desde el punto de vista de análisis de datos tanto previos como durante la ejecución y/o propuesta de implementación de metodologías Lean, puesto que permite, mediante un análisis profundo de la data obtenida o disponible en el momento, detectar aquellos aspectos que a simple vista no se pueden evidenciar y que abordándolos se pueden obtener mejores y eficaces resultados.

La propuesta metodológica para esta revisión literaria tiene como ultimo objetivo específico evaluar hasta qué punto los fundamentos básicos de la Inteligencia Artificial inciden sobre el ciclo de implementación de modelos organizacionales basados en metodologías Lean y para facilitar la interpretación de los resultados de la revisión literaria y su posterior análisis cualitativo, se categorizaron los resultados del análisis cualitativo de la misma; partiendo del momento en el que las herramientas de Inteligencia Artificial tuvieron un impacto significativo, la figura 3 muestra esta categorización:

**Figura 3. Categorización revisión literaria**



Fuente: Construcción propia

En la figura 3 se categorizan los resultados del análisis cualitativo realizado a la revisión literaria, donde el 43% de los artículos revisados muestran como la Inteligencia Artificial impacta positivamente la **implementación** de modelos empresariales de reducción de costos bajo metodologías Lean, el 39% de estos documentos muestran el impacto en la **ejecución** y mejora continua de dichos modelos al usar IA y en el 18% restante, el impacto en el análisis de los **resultados** esperados con el modelo.

Al analizar el impacto de IA<sup>11</sup> en la **implementación** de modelos, se puede evidenciar que dicho impacto se relaciona con el establecimiento de fases como lo hace (Yilmaz et al., 2022), (Mofolasayo et al., 2022) y (Han & Lee, 2002); y factores críticos de éxito como los que establece (F. Luis & Moncayo, 2019), (Lim et al., 2018), (Gleeson et al., 2019), donde se puede establecer que IA facilita y potencializa esta implementación.

<sup>11</sup> Inteligencia Artificial

Entre los principales resultados que se evidenciaron en la revisión literaria con respecto a esta fase de implementación, se hace hincapié al establecimiento de fases de diseño y desarrollo de modelos operacionales, donde (Han & Lee, 2002) establece que “cuando el sistema de operación de la planta proporciona a los ingenieros y operadores todas las funciones (recopilación de datos, análisis estadístico, modelado, diseño de experimentos, generación y control de informes), los ingenieros y operadores pueden concentrarse en la identificación del problema, la formulación, la generación de soluciones y la validación del mejora”.

Otro resultado importante y que debe resaltarse es el aporte de a la implementación de (F. Luis & Moncayo, 2019) definiendo una herramienta de inteligencia artificial a los modelos operativos basados en Lean, estas son los factores críticos de éxito en la implementación de Lean Six Sigma como estrategia de mejora organizacional usando redes neuronales para su implementación: (1) Soporte, (2) Compromiso de la gerencia, (3) Relación con los clientes, (4) Cultura organizacional, (5) Educación, (6) Entrenamiento, (7) Infraestructura organizacional, (8) Comunicación.

También se denota un soporte metodológico que facilita la estandarización en la implementación de estos modelos combinados que integran procesos guiados por IA y también procesos organizacionales como lo establece (Raveglia et al., 2021), (Kolawole et al., 2021) y (Marinelli et al., 2021).

Aunque la mayoría de los artículos citados no dan valores exactos en cifras económicas de los ahorros alcanzados luego de la implementación de Lean en colaboración con la Inteligencia Artificial, generalmente en las empresas todo tipo de operación, se ve traducido en disminución de costos operativos.

Con respecto a la **ejecución** del modelo Lean y el impacto de IA en el mismo, se logra identificar ampliamente que el uso de estas herramientas no solo facilita la ejecución de estos modelos, sino que también los potencializa y le da nuevos enfoques con el análisis de variables y determinación de causalidades que no podrían interpretarse sin este grado de detalle que tiene como ventaja esta ejecución conjunta, según lo establece (Guleria et al., 2020), como también lo hace ampliamente (Jung et al., 2020) mediante un algoritmo de aprendizaje profundo con las variables sensibles en la implementación mediante validación cruzada permitió una alta precisión en la predicción de datos experimentales con errores porcentuales absolutos.

Al igual que estos, otros autores también soportan la ejecución de modelos Lean en el uso de herramientas IA<sup>12</sup> para el cierre de brechas, desde un enfoque investigativo, como (Perera et al., 2021) y (McMahon et al., 2019), y también desde el enfoque aplicativo experimental, como lo hacen (Costa et al., 2019) y (Perez et al., 2019) con el uso de redes neuronales orientadas a la disminución de la variabilidad y eliminación del desperdicio.

También se comprobó el uso de herramientas de las metodologías Lean soportadas en herramientas de aprendizaje automático, como lo muestran (De Mast & Lokkerbol, 2012) específicamente con Lean Six Sigma y de manera más general (Florescu & Barabas, 2022) y (Ciccarelli et al., 2022) con otras metodologías Lean.

Finalmente, con respecto a los **resultados**, estos se relacionan con el aumento de productividad, reducción de costos y estandarización de procesos (Fitriana et al., 2020) y disminución en la variabilidad en los procesos, reducción de desperdicios, reducción de producto no conforme (Olanrewaju et al., 2019).

Mediante la obtención e interpretación de datos involucrados en los procesos con el uso de IA y el tratamiento estadístico, se puede mejorar la calidad de los procesos que se traduce en aumento de la productividad y disminución de no conformes (Escobar et al., 2021).

---

<sup>12</sup> Inteligencia Artificial

Al respecto, es posible identificar que el impacto más significativo se da en la implementación de los modelos, puesto que, en esta categoría, la IA acompaña no solo la forma de estructurar el modelo, sino también brindando referenciación que facilita la planeación inicial de para la estructuración del modelo y la implementación de la metodología Lean aplicable al proceso intervenido.

Con este análisis exploratorio realizado a las categorías de impacto que se definen luego de la revisión literaria, se logra medir el impacto que tienen las herramientas de IA en la implementación, ejecución y resultados al usar metodologías Lean en modelos organizacionales orientados a la optimización de recursos operacionales y se concluye que dichas herramientas dan agilidad en cada fase de madurez del modelo y también permiten, mediante un análisis profundo de la data obtenida o disponible en el momento, detectar aquellos aspectos que a simple vista no se pueden evidenciar y que abordándolos se pueden obtener mejores y eficaces resultados.

Es importante también establecer que la implementación de la tecnología requerida para el uso de estas herramientas de inteligencia artificial, constituyen una limitante y podría inclusive considerarse como un aspecto negativo, puesto que se requiere una inversión alta en equipos computacionales y también de conocimiento técnico por parte de las personas que se dedicaran a su uso.

También es importante tener en cuenta las afectaciones éticas que traen consigo la implementación de herramientas de inteligencia artificial en cualquier modelo operativo, no solo por tratamiento de datos y confidencialidad de los mismos, sino también porque se tiene la idea que a mayor automatización en los procesos productivos, menos mano de obra, y es aquí donde se debe cambiar el rol de los operarios, de manera que estos se encarguen del análisis de los eventos (Han & Lee, 2002), dejando las tareas repetitivas y de menor impacto a dichas herramientas.

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo general planteado en esta investigación fue determinar el impacto de la Inteligencia Artificial en la implementación de modelos bajo metodologías Lean mediante una revisión bibliográfica para la optimización de recursos (aumento de productividad, reducción de costos, estandarización de procesos, disminución en la variabilidad en los procesos, reducción de desperdicios, reducción de producto no conforme) en las organizaciones, como resultado de la revisión literaria realizada, se evidencia el impacto positivo de la Inteligencia Artificial en las metodologías Lean para la reducción de costos operativos atribuidos a los micro desperdicios; definitivamente la Inteligencia Artificial resulta ser un aliado muy importante para procesos de implementación y en gran medida soporta los resultados exitosos de esa implementación.

Inicialmente se identificó bibliográficamente los conceptos básicos interrelacionados de la Inteligencia Artificial y la metodologías Lean y partiendo de estos conceptos, se logra mostrar la sinergia que existe entre estas metodologías y las herramientas de inteligencia artificial para mejorar continuamente los procesos productivos y es ahí cuando se puede observar que la Inteligencia Artificial está a la vanguardia como soporte a esas mejoras, desde la estructuración de modelos de gestión empresarial hasta el análisis de los resultados y las propuestas de mejora, todo esto basado en modelos computacionales que emulan el razonamiento humano, con cierta ventaja en la velocidad y complejidad de dichos análisis.

Luego, se establece mediante los resultados obtenidos, la sinergia entre la Inteligencia Artificial y la implementación de modelos bajo metodologías Lean evidenciados en la bibliografía consultada, para facilitar el análisis exploratorio se definieron 3 categorías de que obedecen al ciclo de madurez de los modelos organizacionales para medir el impacto que tiene el uso de herramientas IA<sup>13</sup> en cada una de ellas, con esto se logra evidenciar que el 43% de los artículos revisados muestran como la Inteligencia Artificial impacta positivamente la **implementación** de modelos empresariales de reducción

---

<sup>13</sup> Inteligencia Artificial

de costos bajo metodologías Lean, el 39% de estos documentos muestran el impacto en la **ejecución** y mejora continua de dichos modelos al usar IA y en el 18% restante, el impacto en el análisis de los **resultados** esperados con el modelo.

Finalmente se evaluó, mediante un análisis exploratorio cualitativo, hasta qué punto los fundamentos básicos de la Inteligencia Artificial inciden sobre el ciclo de implementación de Lean, fue posible identificar que la mayoría (43%) de los estudios relacionados con la temática expuesta demuestran el impacto positivo que tienen el uso de la Inteligencia Artificial en la **implementación** de modelos productivos basados en metodologías Lean, dichos modelos usualmente están enfocados en la optimización operacional, identificando y eliminando los desperdicios, haciendo énfasis en que solo con la implementación y utilización de modelos neuronales, es posible la identificación de micro desperdicios imperceptibles a simple vista (herramientas convencionales de ingeniería industrial)(Daniel K. et al., 2020), asociados a la ejecución de actividades que no generan valor al proceso.

Esta investigación muestra el grado de adaptabilidad que tienen las metodologías Lean a los métodos y herramientas de vanguardia, desde muchos aspectos se ve como es potencializada con la adopción de las mismas, particularmente se denota el impacto que el aprendizaje basado en evidencias o de doble ciclo permite el uso de una metodología cuantitativa en una investigación de tipo cualitativo y con resultados y hallazgos tan útiles y prometedores como los vistos en los documentos que demostraban el impacto del uso de la Inteligencia Artificial en las metodologías Lean, como es el caso de Lean Six Sigma y Lean Management (39%).

El uso de técnicas en las que se basa la Inteligencia Artificial son altamente combinables con metodologías Lean para la mejora de procesos, al optimizar el registro y flujo de los datos a través de los modelos planteados, se logra también un impacto positivo en los resultados obtenidos en el modelo (18%), principio básico de mejora continua.

## 6. REFERENCIAS

- Abdulnour, G. (2022). sustainability Agility and Industry 4.0 Implementation Strategy in a Quebec Manufacturing SME.
- Akanmu, M. D., & Nordin, N. (2022). Hybrid Lean Practices Integrated with IR 4.0 and Sustainability in Malaysia Food and Beverages Companies: Conceptual Framework and Hypothesis Development. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 30(3), 2271–2293. <https://doi.org/10.47836/pjst.30.3.29>
- Antosz, K., & Stadnicka, D. (2017). Lean Philosophy Implementation in SMEs - Study Results. *Procedia Engineering*, 182, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.107>
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación.
- Aydoğan, M., & Karci, A. (2020). Improving the accuracy using pre-trained word embeddings on deep neural networks for Turkish text classification. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 541, 123288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123288>
- Bernal, C. A. (2010). Metodología de la investigación (Tercera Ed).
- Box, G. E. P. (1998). Evolutionary operation: A method for increasing industrial productivity. *Evolutionary Computation: The Fossil Record*, VI (2), 121–141. <https://doi.org/10.1109/9780470544600.ch4>
- Ciccarelli, M., Papetti, A., Cappelletti, F., Brunzini, A., & Germani, M. (2022). Combining World Class Manufacturing system and Industry 4.0 technologies to design ergonomic manufacturing equipment. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 16(1), 263–279. <https://doi.org/10.1007/s12008-021-00832-7>
- Colciencias. (2010). Servicio Permanente de Indexación de Revistas de Ciencia, Tecnología e Innovación Colombianas. <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/M304PR02G01guiaserviciopermanente-indexacion.pdf>
- Costa, J. P., Lopes, I. S., & Brito, J. P. (2019). Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 1592–1599. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.126>
- Daniel K., B., Michael L., G. jr., & Dinesh, R. (2020). LEAN SIX SIGMA EN LA ERA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

- De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- Dixit, A., Jakhar, S. K., & Kumar, P. (2022). Does lean and sustainable manufacturing lead to Industry 4.0 adoption: The mediating role of ambidextrous innovation capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 175(October 2021), 121328. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121328>
- Escobar, C. A., Chakraborty, D., McGovern, M., Macias, D., & Morales-Menendez, R. (2021). Quality 4.0 — Green, Black and Master Black Belt curricula. *Procedia Manufacturing*, 53, 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.06.085>
- Fitriana, R., Saragih, J., & Larasati, D. P. (2020). Production quality improvement of Yamalube Bottle with Six Sigma, FMEA, and Data Mining in PT. B. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012011>
- Florescu, A., & Barabas, S. (2022). Development Trends of Production Systems through the Integration of Lean Management and Industry 4.0. *Applied Sciences*, 12(10), 4885. <https://doi.org/10.3390/app12104885>
- Gleeson, F., Coughlan, P., Goodman, L., Newell, A., & Hargaden, V. (2019). Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean-six sigma methods. *Procedia CIRP*, 81, 641–646. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.169>
- Guleria, P., Pathania, A., Shukla, R. K., & Sharma, S. (2020). Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4040–4046. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.559>
- Han, C., & Lee, Y. H. (2002). Intelligent integrated plant operation system for Six Sigma. *Annual Reviews in Control*, 26 I, 27–43. [https://doi.org/10.1016/S1367-5788\(02\)80008-6](https://doi.org/10.1016/S1367-5788(02)80008-6)
- Higginbotham, S. (2019). One factory fit all - [Opinion]. *IEEE Spectrum*, 56(7), 19. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2019.8747304>
- In, C., & Spanish, T. H. E. (2016). Lean Manufacturing Como Herramienta de Competitividad en las Pymes Españolas. 5(Edición 19), 20–29.
- Jung, I. D., Shin, D. S., Kim, D., Lee, J., Lee, M. S., Son, H. J., Reddy, N. S., Kim, M., Moon, S. K., Kim, K. T., Yu, J. H., Kim, S., Park, S. J., & Sung, H. (2020). Artificial intelligence for the prediction of tensile properties by using microstructural parameters in high strength steels. *Materialia*, 11(May), 100699. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2020.100699>
- Kolawole, O. A., Mishra, J. L., & Hussain, Z. (2021). Addressing food waste and loss in the Nigerian food supply chain: Use of Lean Six Sigma and Double-Loop Learning. *Industrial Marketing Management*, 93(January), 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.01.006>
- Kostavelis, I., & Gasteratos, A. (2006). Conceptualizing Industry 4.0 for Greek Manufacturing Sector. *Engineering Science and Technology Review*, 1999(December), 1–6. <https://doi.org/10.25103/jestr.152.01>
- Lim, C., Kim, K. H., Kim, M. J., Heo, J. Y., Kim, K. J., & Maglio, P. P. (2018). From data to value: A nine-factor framework for data-based value creation in information-intensive services. *International Journal of Information Management*, 39(January 2017), 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.007>
- Luis, F., & Moncayo, G. (2019). Six Sigma as a competitive strategy: main applications, implementation areas and critical success factors (CSF). 1–11.
- Luis, S., & Carlo, R. (2019). LEAN SIX SIGMA SISTEMA DE GESTION PARA LIDERAR EMPRESAS.
- Marinelli, M., Ali Deshmukh, A., Janardhanan, M., & Nielsen, I. (2021). Lean manufacturing and industry 4.0 combinative application: Practices and perceived benefits. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 288–293. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.034>
- McCarthy, J. (1956). Conferencia de Dartmouth.
- McMahan, M., Mumper, D., Ihaza, M., & Farrar, D. (2019). How smart is your manufacturing? Build smarter with AI. *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, 2, 55–60. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2019.10183>
- Merino-trujillo, A. (2013). Como escribir documentos científicos. *Artículo de revisión. Salud En Tabasco*, 19(3), 90–94. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48730715004>
- Mofolasayo, A., Young, S., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). How to adapt lean practices in SMEs to support Industry 4.0 in manufacturing. *Procedia Computer Science*, 200, 934–943. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.291>

- Olanrewaju, F., Chima Uzorh, A., & Nnanna, I. (2019). Lean Six Sigma Methodology and Its Application in the Manufacturing Industry – A Review. *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4(3), 40. <https://doi.org/10.11648/j.ajmie.20190403.11>
- Pereira, C., & Sachidananda, H. K. (2022). Impact of industry 4.0 technologies on lean manufacturing and organizational performance in an organization. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 16(1), 25–36. <https://doi.org/10.1007/s12008-021-00797-7>
- Perera, A. D., Jayamaha, N. P., Grigg, N. P., Tunnicliffe, M., & Singh, A. (2021). The application of machine learning to consolidate critical success factors of lean six sigma. *IEEE Access*, 9, 112411–112424. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3103931>
- Perez, C. A., Sanchez, N., & Guerrero, D. (2019). Aplicación Lean Six Sigma para la disminución de unidades defectuosas en una empresa farmacéutica Lean Six Sigma proposal for the reduction of the defects of a pharmaceutical company.
- Rajab, S., Afy-Shararah, M., & Saloniitis, K. (2022). Using Industry 4.0 Capabilities for Identifying and Eliminating Lean Wastes. *Procedia CIRP*, 107(2021), 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.004>
- Raveglia, F., Orlandi, R., Rimessi, A., Minervini, F., Cioffi, U., De Simone, M., Guttadauro, A., & Scarci, M. (2021). Standardization of Procedures to Contain Cost and Reduce Variability of Care After the Pandemic. *Frontiers in Surgery*, 8(June), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.695341>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial, un enfoque moderno* (2nd ed.).
- Shah, A. C., Herstein, A. R., Flynn-O'Brien, K. T., Oh, D. C., Xue, A. H., & Flanagan, M. R. (2019). Six Sigma Methodology and Postoperative Information Reporting: A Multidisciplinary Quality Improvement Study with Interrupted Time-Series Regression. *Journal of Surgical Education*, 76(4), 1048–1067. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.12.010>
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Sharma, S., Li, C., & Di Bona, G. (2022). A Sustainable Methodology Using Lean and Smart Manufacturing for the Cleaner Production of Shop Floor Management in Industry 4.0. *Mathematics*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/math10030347>
- Vera Carrasco, O., & Figueroa, D. (2017). Como Escribir Artículos de Revisión. *Revista Chilena de Ortopedia y Traumatología*, 58(02), 033–033. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1606585>
- Wessing, S., & Müller, E. (2022). Produktion der Zukunft – Reifegradmodell als Analyseinstrument. *Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 117(6), 410–414. <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1081>
- Westmann, R., Schlunder, P., Temme, F., Klinkenberg, R., Kimberger, J., Spichtinger, A., Goldhacker, M., & Deuse, J. (2020). Conception of a Reference Architecture for Machine Learning in the Process Industry. *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2020*, 1726–1735. <https://doi.org/10.1109/BigData50022.2020.9378290>
- Yilmaz, A., Dora, M., Hezarkhani, B., & Kumar, M. (2022). Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 175(February 2021), 121320. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121320>