

# Revisión de la literatura sobre la implementación de modelos de simulación en el proceso del diseño de distribución en planta

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería industrial

Jenifer Shamady Cuellar Loaiza<sup>1</sup>  
jenifer.cuellar00@usc.edu.co

Dayana Alejandra Vélez  
Sandoval<sup>2</sup>  
dayana.velez00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería industrial (1)  
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería industrial (2)

## **Resumen**

El objetivo principal de las empresas en este entorno cada día más competitivo es asegurar un eficiente rendimiento de la fabricación, por lo que se volvió esencial tener una planificación del diseño de la distribución en plantas, es decir, la ordenación física de los elementos que constituyen una empresa, que influye significativamente en el rendimiento de la producción desde el punto de vista del costo y tiempo. Este artículo expone una revisión detallada de la implementación de modelos de simulación en el proceso del diseño de distribución de planta, como una herramienta que permite la detección temprana de errores y problemas proporcionando diferentes alternativas de solución. La importancia de la implementación de modelos de simulación en dicho proceso se ha revisado desde el hallazgo de 26 fuentes extraídas mediante una metodología descriptiva, donde se consideran estudios de investigación publicados entre el año 2016 y 2021 de diferentes autores y países. Este artículo tiene como aporte principal evidencias bibliográficas sobre el tema tratado, se muestran los diferentes casos donde son utilizados modelos de simulación, genera estadísticas sobre los modelos de simulación más y menos usados, beneficios, ventajas y desventajas, y por último se presentan las conclusiones de dicha revisión bibliográfica.

*Palabras Clave: Modelos de Simulación, diseño de planta, distribución de planta.*

## **Abstract**

The main objective of companies in this increasingly competitive environment is to ensure an efficient manufacturing performance, so it became essential to have a plant layout design planning, i.e., the physical arrangement of the elements that constitute a company, which significantly influences the production performance from the point of view of cost and time. In this paper is detailed a review of the implementation of simulation models in the process of plant layout design, as a tool that allows the early detection of errors and problems by providing different solution alternatives. The importance of the implementation of simulation models in such process has been reviewed from the finding of 26 sources extracted through a descriptive methodology, where research studies published between 2016 and 2021 from different authors and countries are considered. This article has as its main contribution bibliographic evidence on the subject, it shows the different cases where simulation models are used, generates statistics on the most and least used simulation models, benefits, advantages and disadvantages, and finally the conclusions of this literature review are presented.

*Keywords: Simulation models, plant design, plant layout.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Para aumentar la eficiencia operativa, la planificación del diseño de la distribución en planta influye en gran medida en el rendimiento de la producción afectando factores como la reducción de costos y tiempos de fabricación.

Teniendo en cuenta el nuevo paradigma de fabricación, las fábricas del futuro se caracterizan por una estructura más flexible para producir productos altamente personalizados en cantidades más pequeñas, a un menor costo, de mayor calidad dentro de la ventana de tiempo requerida. Contra una tendencia tan radical, sólo es posible cuando el diseño de las fábricas y el flujo de procesamiento se diseñan correctamente y se modifican rápidamente. (Z. Zhang, Wang, Wang, Cui, & Cheng, 2019)

Por definición, la optimización del diseño de la planta es “la planificación y el ajuste de las ubicaciones de los diversos equipos dentro del espacio dado de la celda de trabajo organizándose estratégicamente para lograr los objetivos del fabricante” (Ho, Ngooi, & Chui, 2019), la aplicación de métodos de optimización convencionales generalmente son muy complejos y pueden no revelar la situación real de un sistema de fabricación, por el contrario, al integrar la simulación se puede manejar la complejidad del diseño de la distribución de plantas considerando los factores más influyentes, la simulación es una herramienta que permite imitar un sistema real por medio de un modelo computacional, basándose en conocimientos y supuestos acerca del comportamiento de las partes y sus objetivos principales son comprender las interacciones de los elementos del sistema y evaluar diferentes opciones de configuración, en pocas palabras, “la simulación está probada como una poderosa herramienta basada en computadora que puede usarse en lugar de un modelo analítico para estudiar el comportamiento de sistemas reales complejos” (Pourhassan & Raissi, 2017).

Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo revisar la implementación de modelos de simulación en el proceso del diseño de distribución en planta, para esto fue necesario establecer las siguientes fases: Revisar los documentos relacionados con la implementación de modelos de simulación para la solución del diseño en distribución en planta, destacando los aspectos más relevantes de los casos de estudios, definir cuáles son los modelos de simulación que se implementan, clasificando los más utilizados y exponer los principales beneficios, ventajas y desventajas de la implementación de modelos de simulación para la solución de problemas de distribución de plantas.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. La sección dos proporciona una breve descripción de los artículos de investigación relacionados incluidas las comparaciones de los métodos propuestos en aplicaciones similares con diferentes modelos de simulación, sus resultados y conclusiones según cada caso. En la sección tres se presentan los resultados y discusiones de este estudio y finalmente las conclusiones y recomendaciones se proporcionan en la sección cuatro.

## 2. Metodología

Para la revisión sistemática de literatura (SLR), se empleó una metodología descriptiva donde, se realizó una búsqueda y selección de investigaciones relacionadas con la implementación de modelos de simulación en el proceso del diseño de la distribución en plantas. El objetivo fue encontrar documentos suficientes que permitan la extracción de datos relevantes para dar un excelente enfoque y desarrollo a este artículo.

En primer lugar, se realizó una búsqueda de artículos en algunas bases de datos bibliográficas disponibles en internet, tales como, Scopus, ScienceDirect, Springer, Google Scholar y Dialnet, con el fin de obtener un mayor acceso a más artículos. Esta búsqueda se realizó tanto en idioma español como en inglés, por lo cual la metodología de investigación permitió el análisis de las publicaciones sobre la base de las palabras claves como: Simulation models, modelos de simulación, layout, diseño de planta, plant design, Flexsim y Promodel.

A los documentos hallados se les adiciono las siguientes limitaciones:

1) el año de publicación debía ser mayor o igual al 2016, con lo que se pudo asegurar que la información presente hace parte de la actualidad.

2) Se excluyeron aquellos artículos que no mencionan las palabras claves seleccionadas en el título o resumen, también

estudios reeditados y artículos publicados para conferencias, como capítulos de libros o como disertaciones.

3) El artículo debía estar con Open Access.

4) Solo se seleccionaron documentos que incluían la utilización de algún modelo de simulación para temas tratados con la planificación del diseño de distribución de plantas.

En el transcurso de la búsqueda se encontraron un total de 40 artículos que por consecuencia de los filtros y limitaciones se seleccionaron 26 artículos que provienen de diferentes autores y países, donde se evidencian las diversas metodologías de aplicación de herramientas en el tema planteado, todos los artículos fueron anexados a un cuadro de Excel, para así obtener una visualización más rápida y fácil al momento del análisis de los datos generales e información de valor para la escritura de la revisión bibliográfica presente.

### 3. Resultados y discusión

En el presente apartado se abordan los resultados de la revisión documental efectuada, con el objetivo de exponer las diferentes metodologías y modelos de simulación utilizados, así como los aspectos más relevantes, similitudes, diferencias, ventajas y desventajas encontrados en cada uno.

#### 3.1. Total de documentos encontrados por país.

En primer lugar, se realiza una clasificación de la cantidad de artículos encontrados por países, y así evidenciar la tendencia del tema abordado.

**Tabla 1. Cantidad de artículos encontrados por países.**

| <b>País</b> | <b>Cant. de artículos</b> |
|-------------|---------------------------|
| China       | 6                         |
| Indonesia   | 3                         |
| Colombia    | 2                         |
| India       | 2                         |
| Dinamarca   | 1                         |
| Ecuador     | 1                         |
| España      | 1                         |
| Filipinas   | 1                         |
| Francia     | 1                         |
| Grecia      | 1                         |
| Irán        | 1                         |
| Italia      | 1                         |
| Corea       | 1                         |
| México      | 1                         |
| Polonia     | 1                         |
| Singapur    | 1                         |
| Taiwán      | 1                         |

De la anterior tabla, se puede evidenciar que la mayor participación de documentos seleccionados son publicados de los países del continente asiático, ocupando como primer lugar China con un total de 6 documentos y en segundo lugar Indonesia con un total de 3 documentos, hecho que nos convalida el por qué este continente se destaca por su gran desarrollo y competencia en el mercado.

### 3.2. Información hallada en los documentos.

Tabla 2. Desarrollo/literatura publicada sobre el uso de modelos de simulación para el diseño de la distribución en planta

| Año  | Título del artículo  | Metodología  | Resultados y conclusiones   |
|------|--|--|---|
| 2021 | Redesign Facility Layout and Minimize Material Handling Cost on PT ABC in Pandemic Era                           | Se propone un nuevo diseño de planta con los requerimientos de distanciamiento y lineamientos del gobierno por el Covid -19, implementando el software Flexsim y el método de Actividad de Relación Char (ARC) en una empresa dedicada al procesamiento de artículos metálicos.  | El diseño propuesto puede minimizar los costos de manipulación de materiales, reduciendo de \$28,847 a \$22,717, lo que resulta una reducción de aproximado del 21%, además, aumenta la producción a un 4%, y cumpliendo con los protocolos de seguridad y salud del trabajador (Oktalia, Nafiah, Priska, & Fariza, 2021).  |
| 2021 | An evolutionary optimal green layout design for a production facility by simulated annealing algorithm           | Aplicación del algoritmo de recocido simulado para encontrar un diseño optimizado y comparar los resultados utilizando el software Matlab  | El análisis se ha realizado en una empresa líder en la fabricación de cocinas en Tirunelveli, Tamil Nadu, que debido al manejo de material inconsecuente y al diseño inadecuado, las tasas de rechazo y el desperdicio son altas.<br>Como resultado se obtuvo el diseño de distribución óptimo con un costo total mínimo de manipulación de materiales, se identificaron los movimientos no deseados del operador / manipulación de materiales a través de los vehículos (Sulaiman, Leela Jancy, Muthiah, Janakiraman, & Gnanaraj, 2021). |
| 2021 | Combining metaheuristic search and simulation to deal with capacitated aisles in facility layout                 | Se presenta un enfoque híbrido para el diseño de distribución en sistemas de fabricación teniendo en cuenta la estructura de pasillos capacitados. El enfoque propuesto combina un algoritmo metaheurístico y simulación en el software Matlab.  | Gracias a la simulación, el enfoque propuesto puede tener en cuenta las consideraciones realistas, como el tiempo de transporte estocástico y la demanda estocástica de productos, por lo que puede aplicarse a una amplia variedad de sistemas de fabricación. La aplicabilidad del enfoque propuesto se probó con un ejemplo. En este ejemplo, se determinó la estructura de los pasillos y la posición de las máquinas en un sistema de fabricación con doce máquinas (Pourvaziri & Pierreval, 2021).                                  |
| 2021 | Meta-model based simulation optimization for automated guided vehicle system under different charging mechanisms | Modelo de optimización de simulación en dos etapas para los sistemas AGV con mecanismos de carga, considerando varios diseños, incluida la cantidad requerida de vehículos, el posicionamiento de los vehículos y los métodos de envío, enrutamiento y carga.<br>Los modelos de simulación de los sistemas AGV se construyen utilizando un software de simulación Flexsim. | El modelo se evaluó en una planta que tiene como objetivo desarrollar un FMS real aplicando máquinas automáticas e importando AGV como sistema de transporte.<br>Como resultado se concluyó que el modelo permite estimar el rendimiento de AGV mientras se anticipan cambios importantes en el sistema de AGV, evitando fallas inesperadas, además mejora la eficiencia y tasa de producción de las plantas (J. C. Chen, Chen, & Teng, 2021).  |
| 2020 | Enabling the use of a collaborative table for simulation in operations   | Este documento explora el impacto del desarrollo de una interfaz de usuario tangible que combina la tecnología de gemelos digitales y la simulación para probar más fácilmente los diseños prediseñados antes de la implementación de un diseño de fabricación.<br>La simulación se construye en Tecnomatix Plant Simulation de Siemens.                                   | Para evaluar críticamente la contribución de esta interfaz, se lleva a cabo un proyecto de diseño de fabricación para una gran empresa de fabricación global en la industria de bienes de consumo de rápido movimiento. Los hallazgos indican un impacto positivo en cuatro factores principales: comunicación, toma de decisiones, compromiso y co-creación.<br>Este prototipo permite un diseño de fabricación más amplio, inmersivo e inclusivo (Poziomkowska, Nyandowe, Ribeiro Da Silva, & Sommer, 2020).                            |

|      |  |   |  |
|------|--|---|--|
| 2020 | Diseño de un modelo de simulación, utilizando un software de eventos discretos, en una línea de producción de tejido industrial    | Realizar una simulación guiada con el software Flexsim, de un proceso de producción de una empresa de guantes industriales, para mejorar su eficiencia que se encuentra por debajo del 60% de su capacidad instalada.   | Con la ayuda de simulación hallan 3 mejores donde su eficiencia puede alcanzar hasta el 96,95%, en cual consiste en equilibrar la carga laboral en 3 colaboradores las 52 máquinas que cuenta la empresa, que en la actualidad cuenta con solo un colaborador. y si no se cuenta con el recurso para la contratación, se plantea continuar con 30 máquinas y solo un colaborador y se puede lograr una eficiencia de 87,02% (García-Jacobo & Romero Guerrero, 2020). |
| 2020 | SLP-based Technical Plant Layout Planning and Simulation Analysis  | Se utiliza el método SLP para optimizar y proporcionar el plan de diseño de un taller técnico, finalmente se utiliza el software Flexsim para simular y verificar.  | El diseño de la planta diseñado ha jugado un papel correspondiente, logrando un almacenamiento y montaje eficiente de columnas de alta resistencia y dando un diseño adicional fuera del proceso de diseño principal, teniendo en cuenta la humanización y las condiciones reales. Pero limitado por el tiempo y el esfuerzo (Xu, 2020).   |
| 2020 | A study of the layout planning of plant facility based on the timed Petri net and systematic layout planning                       | Se desarrolla una propuesta de diseño de planta para un taller de fabricación de cojines de energía eólica, abordando los problemas de una manera científica, implementando herramientas como Pietri, SLP y el software de simulación Flexsim para comparar los beneficios de la mejora con el actual diseño. | Se evidencia una reducción del 100% de equipos obstruidos, los cuales podían superar el 80% de todo el procedimiento bloqueado, por ende, mejora la producción y cubre la demanda requerida (Liu, Liu, Lin, Islam, & Xu, 2020).  |
| 2020 | Optimizing production layout and capacity via FlexSim— A case study of and factory   | Aplica tres métodos como SLP, balance de los procesos y la simulación con el software Flexsim a una empresa pequeña que fabrica productos personalizados, para así mejorar la capacidad de producción y reducir tiempo de ciclo.  | Implementando las metodologías, se reduce el total de distancias recorridas en un 81,25% y los tiempos de cada trayecto en un 61,76%, además, se reduce la cantidad de maquinaria, liberando una capacidad importante en la fábrica (T. J. Chen, Lee, & Chiang, 2020).   |
| 2020 | Simulation of layout rearrangement in the grinding/classification process for increasing throughput of industrial gold ore plants. | Este estudio mostró que la simulación se puede utilizar para predecir el efecto de la reordenación del diseño de la distribución de sistemas de fabricación, se utiliza USIM-PAC como software de simulación  | Se simuló el proceso de trituración / clasificación de la planta industrial de mineral de oro en la provincia de Jeollanam Do, Corea y se propuso una reorganización del diseño del proceso, Con base en los resultados, el rendimiento de la planta industrial se puede aumentar en aproximadamente un 36% a 8 t / h utilizando el proceso propuesto(Lee, Jung, Han, Park, & Park, 2020).   |
| 2020 | Manufacturing Plant Layout Optimization  | Se desarrolla un nuevo diseño de planta, el cual sea más crítico para una industria manufacturera, con la herramienta de simulación Flexsim.  | Se proponen 4 diseños, los cuales identifican los problemas actuales, tales como cuellos de botella. El resultado fue mediante arreglos de ubicaciones de puestos de trabajo y agregando maquinaria, donde como resultado se aumenta la productividad y disminuyen los tiempos de los procesos (Kanse & Patil, 2020).  |
| 2020 | Modelling and Simulation of Facility Planning Problem Based on Improved SLP Method   | Se mejora el esquema de planificación de las instalaciones, con una sistemática del diseño (SLP) tradicional, combinado con la optimización de decisiones multiobjetivo, simulando los resultados en Flexsim y por último realizar la implementación en el problema real.                                     | Al combinar el modelo de decisión multiobjetivo y el método SLP, se compensan los defectos del método tradicional del SPL, dando, así como resultados un diseño con eficacia y con una mayor disponibilidad en el algoritmo, aunque en el método mejorado presenta pequeñas falencias debido que, tiene un pequeño número de enlaces de puntuación artificiales, lo cual causará desviaciones en el trazado de las instalaciones (B. Zhang & Wang, 2020).            |

|      |   |  |   |
|------|---|--|---|
| 2019 | A simulation-based approach for plant layout design and production planning   | Se propone un marco de diseño del diseño de planta basado en simulación y un procedimiento de operación para simulación de planta, mediante el Software Promodel   | El enfoque propuesto se aplicó a un estudio de caso de una empresa que deseaba adoptar la disposición del taller para distribuir 12 juegos de tornos, AGV, almacén tridimensional y robots industriales con el fin de optimizar el diseño del taller y el rendimiento dinámico del sistema de fabricación. El estudio de caso demostró que las empresas pueden hacer referencia a esta metodología y seguir el marco mencionado anteriormente para lograr el objetivo del diseño esbelto del diseño de la planta (Z. Zhang et al., 2019).                               |
| 2019 | Perancangan Ulang dan Simulasi Tata Letak Fasilitas Produksi Gripper Rubber Seal dengan Menggunakan Algoritma Corelap, Aldep, dan Flexsim     | Mejora el diseño de planta de producción de una empresa fabricante de sellos de caucho, utilizando los métodos CORELAP y ALDEP y simulándolos con Flexsim, para mejorar la distribución de planta y así disminuir las distancias recorridas.   | Al analizar los modelos establecidos, se encontraron resultados, tales como, desplazamiento utilizando el diseño con el algoritmo CORELAP es de 5,939 metros al mes, y en algoritmo software ALDEP es de 7,370 metros por mes, que en comparación al desplazamiento actual es de 114,495 metros al mes, por ende, el mejor algoritmo para este estudio de caso es CORELAP con un total metros reducidos al mes de 9,564, con una eficiencia de material del 93,74%, además se eliminan movimientos cruzados e interrupciones en el flujo de materiales (Tarigan, 2019). |
| 2019 | Design and improvement layout of a production floor using automated layout design program (ALDEP) and CRAFT algorithm at CV. Aji Jaya Mandiri | Se desarrolla un nuevo diseño utilizando una rutina de construcción seguida de una rutina de mejora, por lo cual se utiliza el programa de ALDEP y mejorándolo con el algoritmo CRAFT y por último simularlo en el software de Promodel.   | En comparación de las otras combinaciones y diseños utilizando un solo algoritmo, el mejor diseño es cuando se emplea el CRAFT mejorado, dado que en las simulaciones realizadas obtuvieron menor costo de manejo de materiales y tiempo de entrega de fabricación (Suhardini & Rahmawati, 2019).   |
| 2019 | An Augmented Reality approach to factory layout design embedding operation simulation   | Desarrollo de una aplicación para la planificación del diseño de maquinaria especialmente para Sistemas de Fabricación Flexible (FMS) con el objetivo de que el usuario evalúe los diseños sugeridos teniendo en cuenta factores no medibles, como la experiencia del operador, el conocimiento empírico o no tácito y la impresión in situ.<br>La aplicación está implementada en la herramienta API ARKit™ y Unity3D™. | La principal contribución de la aplicación desarrollada a la evaluación del diseño de la fábrica consiste en la capacidad del usuario de la aplicación para elegir libremente de una biblioteca de robots u otras máquinas, colocarlos en el piso de la fábrica real como desee y verlos funcionando en colaboración con otras máquinas tanto reales como virtuales según los escenarios cinemáticos definidos por el usuario, presenciando funciones cercanas a las esperadas en la realidad (Kokkas & Vosniakos, 2019).   |
| 2019 | Optimization of workcell layout for hybrid medical device fabrication   | Se propuso una metodología práctica, precisa e implementable basada en conceptos de optimización combinatoria multiobjetivo (MOCO) para optimizar los diseños de las celdas de trabajo de fabricación, evaluada mediante el software de simulación Matlab 2017.  | Basados en un caso de estudio de un dispositivo médico híbrido, se destacó el potencial del modelo propuesto para mejorar la eficiencia de fabricación, proporcionando a los fabricantes la flexibilidad para determinar sus prioridades como: tiempo de producción mínimo, costo operativo mínimo, producción máxima, movimiento mínimo del operador, cantidad óptima de equipos y operadores requeridos y las posiciones óptimas para cada equipo (Ho et al., 2019).  |
| 2019 | Propuesta del modelo de simulación Flexsim para la empresa Textindustria S. A   | Se desarrolla un modelo de simulación en la empresa, para así mejorar la gestión en el sector industrial con el software Flexsim como herramienta para la toma de decisiones.  | Al implementar el modelo, la empresa se vuelve más competitiva debido a que la organización es más eficiente y eficaz en sus operaciones productivas, dado que obtuvo una producción óptima para la sostenibilidad (Luna, 2019).  |

|      |   |  |  |
|------|---|--|--|
| 2018 | Propuesta de mejoramiento de distribución de planta de la empresa SECAM J.R. mediante un software o un aplicativo de simulación   | Mejorar el diseño de la distribución de planta, para disminuir los sobrecostos en los procesos productivos, los tiempos y distancias recorridas.   | Se consigue obtener los causantes de las demoras en la cadena de suministro, debido al sobrecargo de trabajo entre la maquinaria. Se logra aumentar la producción diaria de 149 unidades, lo cual, en términos de costos, productividad, utilización de la maquinaria y demás aspectos dentro de la cadena es muy significativo (Panqueva Rada Nicolas, 2018)  |
| 2018 | Propuesta para un diseño de distribución en planta en el área de separado para una empresa de alimentos cárnicos, evaluada mediante una herramienta de simulación – Flexsim | Se propone un nuevo diseño de distribución de planta para una empresa de alimentos, con el método de relación de actividades, el software Flexsim y la herramienta de AutoCAD, para así mejorar la efectividad en las operaciones, reducir tiempos y costos. | Dado que, en estudio de caso, se define como un criterio importante la seguridad y salud del trabajador, se opta por el escenario que equilibraba la carga de trabajo, que adicione 2 operarios al proceso, y el cual fue el escenario que redujo el 10% de kilómetros recorridos y el porcentaje de actividad subió en un 0,12% (Paz Orozco, Cañar Truque, Plazas Pemberthy, & Angulo Sinisterra, 2018).  |
| 2018 | The use of simulation in the design of Milk-Run intralogistics systems  | Descripción de la metodología e implementación del diseño de distribución del sistema de producción de leche, mediante el uso del software de simulación Flexsim.  | La metodología se realizó en siete pasos, donde se logró diseñar la distribución de las áreas de producción y almacén, las rutas de suministro, manejar el flujo y gestión de la información, horarios, la validación del proyecto y ejecución en la fábrica, destacando el buen desempeño del software de simulación y la facilidad del manejo (Kluska & Pawlewski, 2018).  |
| 2018 | Re-engineering and Relocation of manufacturing process through a simulative and multicriteria decision model  | Se propone un enfoque de toma de decisiones multicriterio y de simulación para evaluar un nuevo proceso de producción con el fin de clasificar el mejor país para la reubicación de la producción a través del Software Flexsim                              | El modelo teórico se aplicó en un estudio de caso real sobre una empresa de fabricación de colchones italiana. El análisis mostró que la producción debería deslocalizarse en Shanghai, y a través del proceso de mejora descrito en el documento, Es posible aumentar la eficiencia de producción en un 25%, reduciendo la mano de obra y reduciendo los costos operativos (Zomparelli, Petrillo, Salvo, & Petrillo, 2018).   |
| 2018 | Ergonomics and simulation-based approach in improving facility layout   | Marco para la mejora de la eficiencia y la productividad del diseño de las instalaciones mediante un enfoque ergonómico y basado en simulación.<br>El rediseño de la distribución de las instalaciones se realizó mediante la simulación de ProModel.        | Para probar la efectividad del método, se midieron los diseños de las instalaciones existentes y mejoradas de una fábrica de prendas.<br>Los resultados indicaron que el diseño mejorado generó una disminución en el nivel de riesgo integral y la puntuación de la evaluación rápida del miembro superior (RULA); un aumento del 78% en la eficiencia y un aumento del 194% en la productividad en comparación con el diseño existente y, por lo tanto, demostró que el enfoque es efectivo para lograr una mejora general del diseño de las instalaciones (Abad, 2018). |
| 2017 | An integrated simulation-based optimization technique for multi-objective dynamic facility layout problem   | Se introduce un procedimiento de optimización para el diseño de distribución de instalaciones basado en simulación mediante el software Enterprise Dynamics 8 Developer y NSGA-II (algoritmo genético de clasificación no dominado)                          | Se evaluó el método propuesto en un sistema de producción en la fabricación de piezas de vehículos en Teherán, teniendo como resultado la capacidad de estudiar las interrelaciones entre las máquinas como variables de entrada y el número de posibles interferencias como variable de salida, minimizando el manejo de materiales y los costos relevantes.<br>Con un intervalo de confianza del 95% para los resultados obtenidos por simulación, se puede concluir que la simulación es una muestra precisa del sistema real (Pourhassan & Raissi, 2017).              |

|      |   |  |  |
|------|---|--|--|
| 2017 | Simulación de una planta de montaje para apoyar la toma de decisiones en el diseño de distribución en planta considerando aspectos de seguridad | Se rediseña la distribución en planta de una empresa encargada del montaje de motores y transmisiones de automóviles, debido al aumento de producción diaria y complejidad, esta distribución se utilizará el modelo de simulación SIMIO Simulation.           | Las alternativas propuestas para el trabajo no proporcionaron ningún beneficio con respecto a la situación actual, aunque se destacan recomendaciones con base en las 3 mejores propuestas del trabajo (Sáez Más, García-Sabater, Morant Llorca, & Maheut, 2016)               |
| 2016 | Workshop facility layout optimization design based on SLP and flexsim   | Se propone un diseño de instalaciones de las zonas de producción de un taller, con la herramienta de simulación Flexsim y el método SLP, y así evaluar la racionalidad y viabilidad de las propuestas de mejora, tanto en aspectos cuantitativo y cualitativo. | Reducen el tiempo de espera de la maquinaria, por lo cual aumenta la tasa de utilización de estas, aumenta la producción del producto terminado y la logística en general se vuelve más fluida, generando un taller más ordenado, razonable y competitivo (Li & Haidong, 2016) |

Para una observación más en detalle de la tendencia de publicación de los documentos encontrados, se realiza la siguiente gráfica.

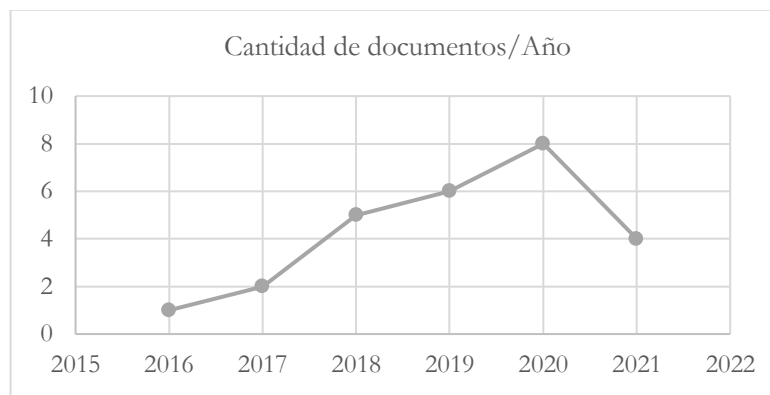


Figura 1. Documentos hallados por año.

Los datos representados en la figura 1, muestran la tendencia de las publicaciones de los artículos donde, se comienza con un ascenso continuo a partir de los años, llegando a su punto máximo en el año 2020 y descendiendo en gran proporción hacia el año 2021.

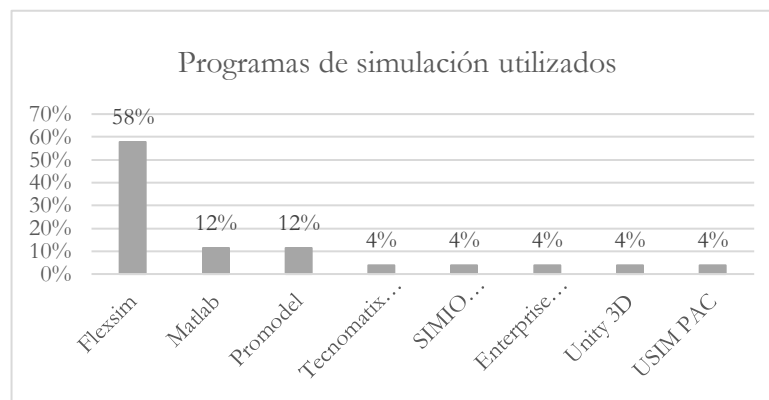
### 3.3. Programas de simulación utilizados en los documentos encontrados

Se han ilustrado claramente los beneficios y la importancia de adoptar una herramienta de simulación en los procesos de diseño y optimización de la distribución de plantas, ya que nos permite “analizar de manera efectiva el comportamiento del sistema simulado y realizar una comparación estimada de los diversos parámetros entre los escenarios / diseños seleccionados, incluso antes físicamente” (Ho et al., 2019), buscando la solución óptima que produce el mayor rendimiento al menor costo.

En cada uno de los documentos seleccionados se hace uso de un programa de simulación, ya sea para evaluar un modelo de optimización para el diseño de la distribución en plantas mediante un caso de estudio en particular o como única herramienta para solución óptima de un problema de este tipo.

Los programas de simulación usados en la revisión documental son:

- Flexsim
- ProModel
- Matlab
- Unity 3D
- Programa USIM-PAC
- Enterprise Dynamics 8 Developer (ED)
- Tecnomatix Plant Simulation de Siemens.
- SIMIO Simulation



**Figura 2. Porcentaje de utilización por programa de simulación.**

El programa de simulación Flexsim demostró ser uno de los más utilizados como herramienta para trabajar la distribución en plantas, pues el 58% de los documentos seleccionados prefirieron este programa como se evidencia en la figura 2, adicional se destacan comentarios de algunos autores como:

Ho et al. (2019) Plantean que el software de simulación Flexsim en lugar de otro software de simulación disponible comercialmente debido a su sólida capacidad analítica, que le permite satisfacer diversas necesidades de análisis de simulación y abordar problemas de optimización. Además, es capaz de proporcionar apoyo en la toma de decisiones de forma rápida, eficaz y económica.

Pawlewski (2018), también afirma "Se eligió el programa Flexsim por la posibilidad de trabajar directamente en 3D y la apertura del sistema, es decir, la posibilidad de adaptar los mecanismos a las propias necesidades e interferencias en este sistema"

Por otra parte, los programas de simulación menos usados fueron Unity 3D, Matlab, Programa USIM-PAC, Enterprise Dynamics 8 Developer (ED), Tecnomatix Plant Simulation de Siemens y SIMIO Simulation, que se emplearon solo en un documento en específico.

### 3.4. Beneficios de usar modelos de simulación para el proceso de diseño de distribución de plantas.

Los beneficios de usar modelos de simulación para el proceso de diseño de distribución de plantas se orientan básicamente en encontrar la forma óptima de ordenar los equipos y áreas de trabajo para fabricar de manera más económica y eficiente, pero además de esto se destacan otros aprovechamientos como:

- Disminución de cuellos de botella.
- Mejora la eficiencia de fabricación, proporcionando a los fabricantes la flexibilidad para determinar sus prioridades como: tiempo de producción mínimo, costo operativo mínimo, producción máxima, movimiento mínimo del operador, cantidad óptima de equipos y operadores requeridos y las posiciones óptimas para cada equipo.
- Minimiza el costo de manipulación de materiales
- Reducen el tiempo de espera de la maquinaria, por lo cual aumenta la tasa de utilización
- Disminución de las distancias a recorrer por los materiales, herramientas y trabajadores
- Utilización efectiva del espacio disponible según la necesidad
- Permite enfocarse en la seguridad y salud del trabajador reduciendo los movimientos no deseados, equilibrando la carga de trabajo y disminuyendo accidentes
- Mejora de la supervisión y el control
- Aumento de la satisfacción del personal

Como lo afirma, (Panqueva Rada Nicolas, 2018) “la implementación de programa de modelación se hace necesaria para sistematizar los procesos y manejar una gama más amplia de alternativas a la hora de tomar decisiones, implementar correctivos y mejorar tiempos”, funciones claves que hacen parte de la planificación del diseño de la distribución de plantas.

### 3.5. Ventajas y desventajas entre la aplicación de métodos de optimización convencionales VS programas de simulación.

Tabla 3. métodos de optimización convencionales VS programas de simulación enfocados al diseño de distribución en planta

| Categoría                                     | Técnicas y/o Herramientas  | Metas  | Ventajas   | Desventajas   |
|---|--|--|--|---|
| <b>Métodos de optimización convencionales</b> | -Métodos heurísticos<br>-Métodos Metaheurísticos<br>-Algoritmo Genético<br>-Algoritmo de recocido simulado<br>-Algoritmo por colonia de hormigas<br>-Búsqueda Tabú<br>-Algoritmos Híbridos | -Diseño óptimo<br>-Mejora de la eficiencia<br>-Disminución de costos | -Facilidad de obtención de datos.<br>-Bajo costo en aplicación.<br>-Poco tiempo de formulación.<br>-Interfaz gráfica<br>-Útil en sistemas de servicios u oficinas donde haya un flujo no medible | -No siempre garantiza buenas soluciones.<br>-Su aplicación se dificulta en plantas de gran tamaño o con números grandes de departamentos, ya que la solución puede no ser la óptima.<br>-El número de interacciones es altamente limitado por lo cual la calidad de la solución no siempre es buena.<br>-Limita las formas de los departamentos a formas rectangulares. |
| <b>Programas de simulación</b>                | -Flexsim<br>-ProModel<br>-Unity 3D   | -Mejor diseño<br>-Mejora de la eficiencia<br>-Disminución de costos  | -Permite analizar grandes problemas complejos para los que   | -La simulación es imprecisa, y no se puede medir el grado de su   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| -Programa USIM-PAC<br>-Enterprise Dynamics 8 Developer (ED)<br>-Tecnomatix Plant Simulation de Siemens. | no están disponibles resultados analíticos<br>-No es necesario interrumpir las operaciones de la compañía.<br>- Proporciona muchos tipos de alternativas posibles de explorar. | imprecisión.<br>-Los modelos de simulación en una computadora son costosos y requieren mucho tiempo para desarrollarse y validarse.<br>-Se requiere gran cantidad de corridas computacionales para encontrar soluciones, lo cual representa altos costos. |
|---|--|---|

En la tabla 3. se muestran las ventajas y desventajas de los métodos de optimización convencionales vs los programas de simulación por separado, donde se puede resaltar como los programas de simulación proporcionan más ventajas que los otros, sin embargo, el 73% de los artículos seleccionados hacen uso de ambas herramientas, donde se usan métodos convencionales para optimizar y proporcionar el plan de diseño de la distribución en planta y finalmente se utiliza el programa de simulación para simular y verificar resultados, por otro lado, el 23% restante hicieron solamente uso de programas de simulación para diseñar o rediseñar la planta de distribución de diferentes empresas, cabe destacar que la finalidad de ambas metodologías era mejorar significativamente el rendimiento de la producción enfocados principalmente en tiempos y costos.

#### 4. CONCLUSIONES

Tal y como hemos podido comprobar la planificación del diseño de la distribución de plantas es un factor que influye significativamente en la eficiencia de la producción principalmente en temas de tiempos y costos, además trae consigo muchos más aprovechamientos que en este entorno tan competitivo son de suma importancia para mantenerse en el mercado, crecer y ser rentables.

Después de realizar la SLR, se pudo determinar la gran influencia que tienen los modelos de simulación en la toma de decisiones para los procesos de diseño de distribución en planta, debido a que se puede encontrar la forma óptima de ordenar los equipos y áreas de trabajo para fabricar de manera económica y eficiente.

Se determinó que el programa de simulación Flexsim ocupa el primer lugar con un 58% de utilización, basados en un análisis estadístico de los documentos encontrados, además, teniendo en cuenta los beneficios más relevantes que proporcione el programa en el desarrollo de la metodología implementada en los casos de estudio, se encontró que contiene una fuerte capacidad analítica, es de fácil manejo y entendimiento, proporciona muchos tipos de alternativas posibles de explorar para la toma de decisiones por la facilidad de trabajar directamente en 3D.

Por otra parte, tras el análisis, se evidencio que hay una gran diferencia entre los métodos de optimización convencionales y los programas de simulación para resolver problemas de diseño de distribución en plantas, destacando que la simulación está en ventaja porque permite analizar grandes problemas complejos para los que no están disponibles resultados analíticos, sin embargo, se pudo inferir que el 73% de los artículos usan ambas herramientas que afortunadamente cumplen con los objetivos de los fabricantes destacando la alta participación de la simulación.

Los modelos de simulación son una herramienta valiosa que, aunque presentan ventajas y desventajas pueden traer múltiples beneficios para las organizaciones, los principales hallazgos encontrados en los casos de estudio fueron la reducción de costos de manipulación de materiales, aumento de producción, movimientos no deseados del operador, manipulación de materiales a través de AGV, disminución en tiempos de procesos, cantidad óptima de equipos y operadores requeridos y las posiciones óptimas para cada equipo.

Finalmente, es importante que las industrias de la transformación y servicios analicen y estudien la capacidad de incluir modelos de simulación en sus procesos porque no solamente sirven para la toma de decisiones con respecto al diseño de distribución en planta, sino que también, permite modelar cualquier sistema sin importar su complejidad y de esta manera poder atacar el problema.

## 5. REFERENCIAS

- Abad, J. D. (2018). Ergonomics and simulation-based approach in improving facility layout. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(4), 783–791. <https://doi.org/10.1007/s40092-018-0260-z>
- Chen, J. C., Chen, T. L., & Teng, Y. C. (2021). Meta-model based simulation optimization for automated guided vehicle system under different charging mechanisms. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 106(August 2020), 102208. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102208>
- Chen, T. J., Lee, Y. C., & Chiang, C. H. (2020). Optimizing production layout and capacity via FlexSim-A case study of y factory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012029>
- García-Jacobo, F., & Romero Guerrero, J. A. (2020). Diseño de un modelo de simulación, utilizando un software de eventos discretos, en una línea de producción de tejido industrial. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, (44), 22–40.
- Ho, N., Ngooi, S. D., & Chui, C. K. (2019). Optimization of workcell layout for hybrid medical device fabrication. *Journal of Manufacturing Systems*, 50(January), 163–179. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.12.010>
- Kanse, A. B., & Patil, A. T. (2020). Manufacturing Plant Layout Optimization Using Simulation, 5(10), 861–869.
- Kluska, K., & Pawlewski, P. (2018). The use of simulation in the design of Milk-Run intralogistics systems. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1428–1433. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.314>
- Kokkas, A., & Vosniakos, G. C. (2019). An Augmented Reality approach to factory layout design embedding operation simulation. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13(3), 1061–1071. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00567-6>
- Lee, W., Jung, M., Han, S., Park, S., & Park, J. koo. (2020). Simulation of layout rearrangement in the grinding/classification process for increasing throughput of industrial gold ore plant. *Minerals Engineering*, 157(July), 106545. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106545>
- Li, Q., & Haidong, L. (2016). Workshop facility layout optimization design based on SLP and flexsim. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 17(8), 1–7. <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.08.08>
- Liu, H., Liu, X., Lin, L., Islam, S. M. N., & Xu, Y. (2020). A study of the layout planning of plant facility based on the timed Petri net and systematic layout planning. *PLoS ONE*, 15(9 September), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239685>
- Luna, Z. (2019). Propuesta del modelo de simulación Flexsim para la empresa Textindustria S.A, 2–27. Retrieved from [http://186.3.32.121/bitstream/48000/14942/1/E-11320\\_LANDETA\\_GONZALEZ\\_LILIBETH\\_STEFANIA.pdf](http://186.3.32.121/bitstream/48000/14942/1/E-11320_LANDETA_GONZALEZ_LILIBETH_STEFANIA.pdf)
- Oktalia, R. D., Nafiah, S. I., Priska, H. A., & Fariza, R. (2021). Redesign Facility Layout and Minimize Material Handling Cost on PT ABC in Pandemic Era, 4(February), 176–181.
- Panqueva Rada Nicolas. (2018). PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE DISTRIBUCION DE PLANTA DE LA EMPRESA SECAM J.R. MEDIANTE UN SOFTWARE O UN APLICATIVO DE SIMULACIÓN, 1–48.
- Pawlewski, P. (2018). Using PFEP for Simulation Modeling of Production Systems. *Procedia Manufacturing*, 17, 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.132>
- Paz Orozco, H., Cañar Truque, J. D., Plazas Pemberthy, L., & Angulo Sinisterra, H. (2018). Propuesta para un diseño de distribución en planta en el área de separado para la empresa de alimentos cárnicos S.A.S, evaluada mediante una herramienta de simulación - Flexsim. *Publicaciones e Investigación*, 12(2), 83–93. <https://doi.org/10.22490/25394088.2961>
- Pourhassan, M. R., & Raissi, S. (2017). An integrated simulation-based optimization technique for multi-objective dynamic facility layout problem. *Journal of Industrial Information Integration*, 8, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.06.001>
- Pourvaziri, H., & Pierreval, H. (2021). Combining metaheuristic search and simulation to deal with capacitated aisles in facility layout. *Neurocomputing*, 452, 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.05.116>

Poziomkowska, A., Nyandowe, I., Ribeiro Da Silva, E., & Sommer, A. F. (2020). Enabling the use of a collaborative table for simulation in operations. *Procedia CIRP*, 97, 385–389. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.255>

Sáez Más, A., García-Sabater, J. P., Morant Llorca, J., & Maheut, J. (2016). Assembly plant simulation to support decision-making in Layout Design considering safety issues. A case study. *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 7(2), 64. <https://doi.org/10.4995/wpom.v7i2.4721>

Suhardini, D., & Rahmawati, S. D. (2019). Design and improvement layout of a production floor using automated layout design program (ALDEP) and CRAFT algorithm at CV. Aji Jaya Mandiri. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012062>

Sulaiman, S. S., Leela Jancy, P., Muthiah, A., Janakiraman, V., & Gnanaraj, S. J. P. (2021). An evolutionary optimal green layout design for a production facility by simulated annealing algorithm. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.256>

Tarigan, U. (2019). Perancangan Ulang dan Simulasi Tata Letak Fasilitas Produksi Gripper Rubber Seal dengan Menggunakan, 21(1), 74–84.

Xu, X. (2020). SLP-based technical plant layout planning and simulation analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 772(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/772/1/012020>

Zhang, B., & Wang, X. (2020). Modelling and Simulation of Facility Planning Problem Based on Improved SLP Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 806(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/806/1/012034>

Zhang, Z., Wang, X., Wang, X., Cui, F., & Cheng, H. (2019). A simulation-based approach for plant layout design and production planning. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(3), 1217–1230. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0687-5>

Zomparelli, F., Petrillo, L., Salvo, B. Di, & Petrillo, A. (2018). Re-engineering and Relocation of manufacturing process through a simulative and multicriteria decision model. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1649–1654. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.220>