

# PLANIFICACIÓN DEL *LAYOUT* PARA LA FABRICACIÓN DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA 4.0. UNA REVISIÓN DE LITERATURA

MARÍA TERESA NORIEGA ARANÍBAR  
<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

PEDRO CARREÑO BARDALES  
<https://orcid.org/0000-0001-5163-911X>

LINCOLN ERWIN BETALLELUZ PALLARDEL  
<https://orcid.org/0000-0002-8557-4315>

LAURA DEL CARMEN GRICELDA MANSILLA PÉREZ  
<https://orcid.org/0000-0002-9281-8584>

ANA MARÍA ALMANDOZ NÚÑEZ  
<https://orcid.org/0000-0002-9139-1099>

JOSÉ LUIS UGARTE GÓMEZ  
<https://orcid.org/0000-0003-2927-1472>

ROSA PATRICIA LARIOS FRANCIA  
<https://orcid.org/0000-0002-1471-9185>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

Recibido: 12 de mayo del 2021 / Aprobado: 21 de junio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n.5810>

**RESUMEN.** La presente investigación reporta el análisis de estudios publicados en las bases de datos Scopus y Google Scholar entre los años 2011 y 2020. El objetivo es examinar qué nuevas formas de planificar el diseño de instalaciones se han desarrollado para la fabricación de alimentos en la cuarta generación industrial. La justificación teórica de esta investigación es que se realiza con el propósito de confrontar la teoría de la planificación del *layout* utilizando el SLP con otras existentes. A partir de un diseño documental, exploratorio y sistematizado, los resultados revelan que se mantiene el *systematic layout planning* (SLP) y que su aplicación brinda facilidades para el mantenimiento, el mejor

---

Correos electrónicos en orden de aparición: [manorieg@ulima.edu.pe](mailto:manorieg@ulima.edu.pe), [pcarren@ulima.edu.pe](mailto:pcarren@ulima.edu.pe), [lbeta@ulima.edu.pe](mailto:lbeta@ulima.edu.pe), [lmansill@ulima.edu.pe](mailto:lmansill@ulima.edu.pe), [aalmando@ulima.edu.pe](mailto:aalmando@ulima.edu.pe), [jugarte@ulima.edu.pe](mailto:jugarte@ulima.edu.pe), [rlariosf@ulima.edu.pe](mailto:rlariosf@ulima.edu.pe)

manejo de inventarios, la reducción de costos y la sostenibilidad en la industria de los alimentos.

PALABRAS CLAVE: metodología SLP / mantenimiento industrial / control de costos / industria alimentaria / edificios sostenibles / diseño industrial

## LAYOUT PLANNING FOR FOOD MANUFACTURING IN INDUSTRY 4.0. A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT. The present research reports the analysis of studies published in the Scopus and Google Scholar databases between the years 2011 and 2020. The objective is to examine what new ways of planning facility design have been developed for food manufacturing for the fourth industrial generation. The theoretical justification for this research is that it is conducted for the purpose of confronting the theory of layout planning using the SLP with other existing ones. From a documentary, exploratory and systematized design, the results reveal that systematic layout planning (SLP) is maintained and that its application allows facilities for maintenance, better inventory management, cost reduction and sustainability in the food industry.

KEYWORDS: systematic layout planning / plant maintenance / cost control / food industry / sustainable buildings / industrial design

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación toma como referencia la industria de alimentos en el Perú, la cual aporta el 20 % del PBI manufacturero y el 2,6 % del PBI nacional; además, las empresas de esta industria están evolucionando según las tendencias y exigencias del mercado por productos saludables, y ya no solo se centran en mejorar la calidad de sus productos, sino en innovar (“Industria de alimentos registraría la tasa de crecimiento más alta de los seis últimos años”, 2019). Asimismo, según la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, el sector de alimentos y bebidas para marzo del 2021 ha presentado un incremento del 20,2 % en las exportaciones, logrando una gran presencia en los mercados europeo y norteamericano (como se cita en Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2021).

La industria de alimentos se dedica a la elaboración de productos que son imprescindibles en el día a día, pues cubren una necesidad básica difícil de eliminar del presupuesto, independientemente de la situación financiera del consumidor. Por eso, se fabrica en grandes volúmenes para aprovechar las economías de escala, y es así como el diseño de la instalación cobra un papel importante al buscar eficiencias que redunden en rentabilidad para la empresa, aprovechando el uso de tecnologías facilitadoras.

Durante las restricciones por la pandemia del COVID-19 en el 2020, algunas empresas de este sector redujeron sus carteras para centrarse en producir solo unos pocos productos, en lugar de seguir fabricando su gama completa. De esta manera, se volvieron más eficientes y capaces de satisfacer la mayor demanda de los productos elegidos, a pesar de factores externos, como la necesidad de desinfectar el equipo después de cada cambio de turno, así como la reducción de la mano de obra como resultado de la expansión de la enfermedad. Además, la nueva forma de vida ha tenido un gran impacto en los alimentos envasados, porque los compradores han reaccionado a la cuarentena acumulando existencias; y, ante el cierre de las opciones de servicio de alimentos, las ocasiones para comer se trasladaron al hogar. Las empresas líderes en la venta de este tipo de alimentos son Gloria S. A. y Alicorp S. A. (Euromonitor International, 2020).

Estos cambios en la cartera de las empresas, en los canales de distribución y en las formas de producir exigen también nuevas formas de gestionar las operaciones. Sin embargo, de las industrias en el Perú ligadas al consumo masivo, se podría decir que solo el 1 % ya pertenece a la categoría 4.0, como estima Mary Wong, gerente general adjunta de GS1 Perú (como se cita en Mendoza, 2017).

La industria 4.0 pretende lograr una mayor participación de la inteligencia artificial en los procesos productivos, buscando crear *smart factories* o fábricas inteligentes. La automatización, el *big data*, los sistemas ciberfísicos y los procesos controlados por robots consiguen una mayor flexibilidad en los procesos, control en línea, adaptabilidad,

eficiencia en los costos, mayor productividad y uso de recursos. Estos serían los aspectos positivos (Urban et al., 2020), pero también generan preocupación los aspectos sociales que afectan al recurso humano si no se adecúa a la nueva realidad (Gasca-Hurtado & Machuca-Villegas 2019).

Se esboza la visión de una fábrica inteligente caracterizada por la completa conexión en red de todas las partes y procesos de producción, control en tiempo real a través de sistemas ciberfísicos, mayor uso de robots y sistemas de producción inteligente y adaptable, que deberían contribuir a incrementar la productividad mediante la eficiencia de los recursos (Peruzzini et al., 2020).

Para que una planta pueda organizarse a fin de incorporar la tecnología planteada en los párrafos precedentes, es necesario que su distribución haya sido planificada para soportar la incorporación de los factores de producción, los mecanismos de control y los sistemas de automatización. El diseño de las instalaciones involucra la distribución de planta proponiendo el ordenamiento físico de los factores de la producción, en el cual cada uno de ellos está ubicado de tal forma que las operaciones sean seguras, satisfactorias y económicas en el logro de sus objetivos (Díaz Garay et al., 2007).

Un diseño adecuadamente planificado puede contribuir en gran medida a la mejora del uso de recursos, eficiencia energética de los sistemas de fabricación, reducción de los costos, aumento de la productividad y la creación sostenible de valor (Lamba et al., 2020; Ahmadi et al., 2017). Para Drira et al. (2007) y Suhardi et al. (2019), el diseño de las instalaciones es un factor importante para el rendimiento de una empresa, pues mejora su productividad y también proporciona los medios para la aplicación de las herramientas *Lean Manufacturing* (Naqvi et al., 2016). Finalmente, es una decisión a largo plazo, ya que cualquier cambio en la distribución existente generalmente conlleva un coste de reordenación muy elevado (Matai et al., 2010).

El planeamiento sistemático de la distribución, también conocido como SLP (*systematic layout planning*), es una forma organizada de planificar un diseño de planta y comprende un conjunto de fases y procedimientos para identificar, calificar y visualizar los elementos y áreas involucradas (Muther & Hales, 2015). También incluye una serie de herramientas que permiten optimizar una planta y minimizar los costos (Díaz Garay & Noriega Aranibar, 2017). Tanto para la distribución general de las áreas como para el diseño detallado, el procedimiento es el siguiente:

- Analizar los elementos de entrada, como el producto, la cantidad, el recorrido, los servicios y el tiempo, así como el tipo de distribución más adecuado.
- Identificar el flujo de materiales y las relaciones entre áreas; en este punto, es necesario elaborar una tabla relacional y el diagrama relacional.
- Calcular el espacio requerido y el disponible.

- Elaborar diferentes alternativas de distribución, que pueden ser modificadas por las limitaciones que se encuentren.
- Finalmente, se evalúan las alternativas y se aprueba aquella que permita el mejor recorrido y la mejora de la productividad.

Este procedimiento ha sido probado para diferentes procesos en planta, como en el caso de un taller de producción de tuberías en un astillero (Fafandjel et al., 2009), o en la distribución de las instalaciones de quirófano (Lin et al., 2013). Por lo tanto, surge la pregunta: ¿esta forma organizada de planificar el diseño de las instalaciones SLP se mantendrá ante la generación de la industria 4.0, o existen otras formas que se están aplicando en esta nueva generación?

Finalmente, con respecto a la industria 4.0 y su conexión con el aspecto académico, Cugno et al. (2021) indican que varios autores han señalado que su implantación es un proceso complejo y que las distintas empresas se enfrentan a una serie de diferentes barreras, las cuales tienen un impacto en el rendimiento actual. Por eso, es necesario su estudio para poder plantear alternativas tecnológicas, aunque no queda claro en ese trabajo en qué medida las diferentes barreras, incentivos y características de las empresas influyen en la relación entre la apertura a la industria 4.0 y el rendimiento de las empresas.

La justificación teórica de esta investigación es que se realiza con el propósito de confrontar la teoría de la planificación del *layout* utilizando el SLP con otras existentes, considerando la generación 4.0 solo para la fabricación de alimentos. El objetivo es examinar qué nuevas formas de planificar el diseño de instalaciones se han desarrollado para la fabricación de alimentos en la cuarta generación industrial.

## METODOLOGÍA

El tipo de diseño que se ha elegido es documental sistematizado, con un alcance exploratorio y descriptivo. En su desarrollo se ha utilizado la revisión sistemática de literatura que, como afirman Tranfield et al. (2003), recopila y analiza críticamente múltiples trabajos de investigación a través de un proceso sistemático, que comprende tres fases: planificar la revisión especificando el objetivo, ejecutar la revisión con la literatura pertinente utilizando criterios de inclusión y exclusión, y reportar los resultados de la revisión.

El primer paso en esta investigación fue realizar una búsqueda en la base de datos de Google Scholar utilizando las palabras clave: *design of facilities* y *food industry* en el título, resumen y palabras clave; de esta manera, se encontraron 47 artículos publicados. Así también con las palabras clave *design of facilities* e *industry 4.0* se hallaron 20 artículos publicados y con *diseño de instalaciones* e *industria 4.0* se ubicaron 8 artículos publicados. Una búsqueda en la base de datos de Scopus con las mismas palabras clave dio como resultado 22 artículos.

La búsqueda bibliográfica se limitó a los artículos de revistas indexadas publicados desde el 2011 hasta el 2021 en las bases de datos Scopus y Google Scholar. Las fechas se eligieron para garantizar que los resultados estuvieran actualizados y fueran relevantes en el contexto de la generación 4.0 que desarrolla la investigación.

Cada uno de los artículos fue sometido a una primera evaluación. La selección de los artículos tomó en cuenta la aplicación de una nueva forma de planificar el diseño de las instalaciones en una industria de alimentos. Al final de esta etapa, quedaron un total de 23 artículos como resultado de esta búsqueda.

Finalmente, se revisaron los artículos considerando las siguientes preguntas: ¿cuál es la producción científica acerca de la forma de planificar el diseño de las instalaciones en la industria de los alimentos?, ¿cuál es el alcance y el enfoque metodológico que aplicaron?, ¿qué sistema de planificación de diseño aplicaron?, ¿cuáles son los beneficios que se logran por la forma de planificar el diseño de instalaciones en las investigaciones realizadas?

En la selección de artículos, se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- Estudios desarrollados en contextos vinculados a la ingeniería industrial
- Artículos escritos en español y en inglés
- Artículos de revistas arbitradas en línea y a texto completo
- Artículos publicados entre los años 2011 y 2020

Se ha excluido en la revisión de literatura trabajos de investigación para optar grados o títulos académicos, así como libros. El análisis de cada uno de los artículos se trabajó con tablas dinámicas en Excel para organizar y estandarizar el manejo de la información de acuerdo con categorías y subcategorías, las cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

*Categorías de la revisión de literatura*

Categoría	Subcategoría
Producción científica del tema	Número de artículos por año
	Revistas académicas en las que se publica
	Número de autores por artículo
Alcance de la investigación	Exploratorio
	Descriptivo
	Correlacional
	Explicativo
	Causal

*(continúa)*

*(continuación)*

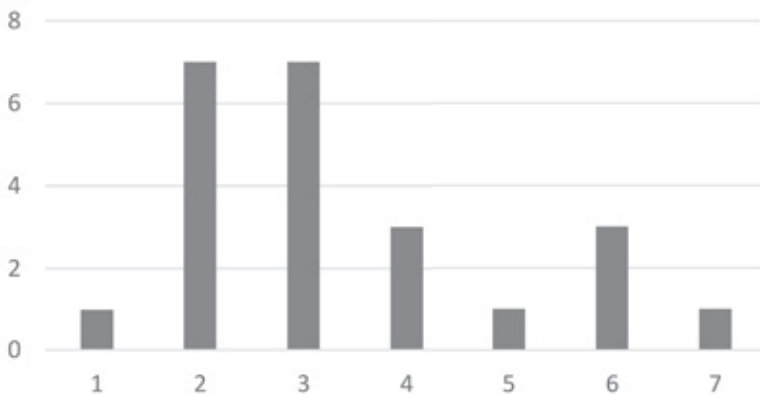
Enfoque de la investigación	Cuantitativo Cualitativo Mixto
Planificación del diseño de las instalaciones	SLP Gestión de las instalaciones Otros
Herramientas de apoyo	<i>Big data</i> Internet de las cosas Automatización Fabricación flexible Optimización
Beneficios logrados	Facilidades para el mantenimiento Reducción de costos (elevar productividad) Mejor manejo de inventarios Reducción de errores

## RESULTADOS

Las investigaciones revisadas han sido ejecutadas en un 70,5 % por docentes universitarios de carreras de ingeniería industrial, negocios, mecánica e institutos tecnológicos. Además, se observa la participación de estudiantes de maestría y doctorado en un 5,12 %. Finalmente, expertos e investigadores participan con un 19,25 % y un 4,88 % corresponde a miembros de empresas, lo que refleja un enfoque multidisciplinario para abordar el tema. El 44,87 % de los artículos presenta la coautoría de dos y tres autores.

Figura 1

*Cantidad de autores por artículo*



En la tabla 2 se listan las revistas especializadas en ingeniería y producción, de donde se extrajeron los artículos científicos analizados en la revisión de literatura.

**Tabla 2**  
*Cantidad de artículos por revista*

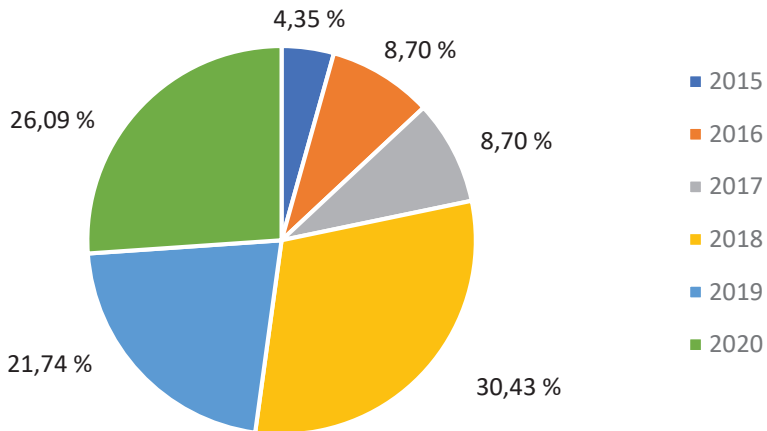
Revista (orden alfabético)	Total de artículos	Revista (orden alfabético)	Total de artículos
Applied Sciences	2	Journal of Cleaner Production	1
Agricultural Engineering International: CIGR Journal	1	Journal of Industrial Information Integration	1
DYNA	1	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	1
Engineering Management in Production and Services	1	Loginn	1
Revista Espacios	1	Management and Production Engineering Review	1
Facilities	1	Procedia Economics and Finance	1
Fire Technology	1	ResearchGate	1
IEEE Access	1	Revista de Estudios y Experiencias en Educación	1
IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing	1	Social Science Research Network	1
IFAC-PapersOnLine	1	Springer	1
International Journal of Technology	1	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	1
<b>Total de artículos</b>	<b>23</b>		

Se aprecia en la figura 2 el creciente interés por la investigación sobre temas referidos a la industria 4.0 en el sector de alimentos en los tres últimos años.



Figura 2

Porcentaje de artículos por año



### Alcance de la investigación y enfoque del estudio

La metodología empleada en gran parte de las investigaciones es explicativa o exploratoria, con un enfoque cuantitativo en mayor proporción, como corresponde al desarrollo de los estudios de ingeniería.

Figura 3

Alcance de la investigación por artículo

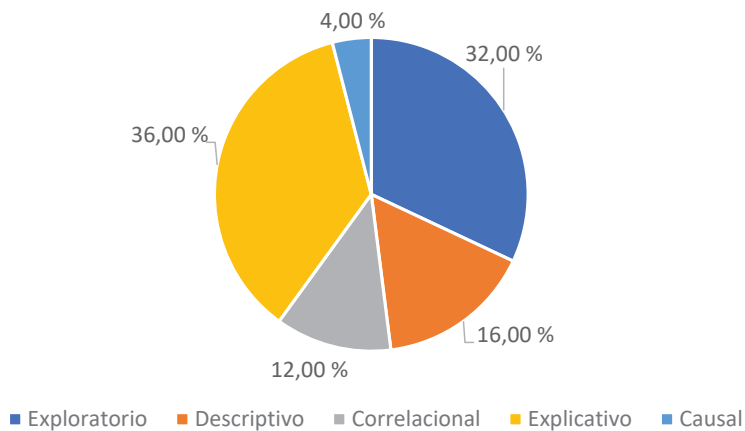
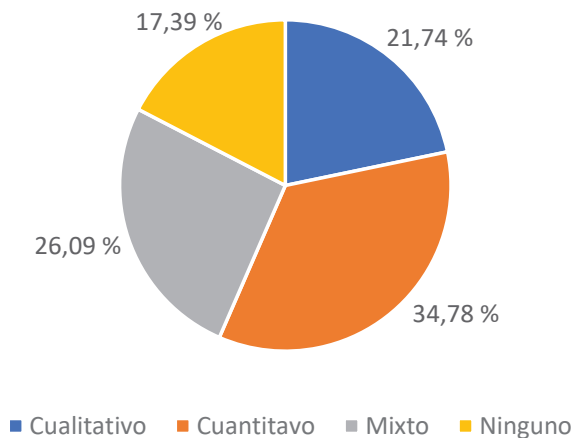


Figura 4

Enfoque del estudio por artículo



### Planificación del diseño de las instalaciones

Los artículos revisados de Lamba et al. (2020), de Alpala et al. (2018), y de Neghabi y Ghassemi Tari (2016) presentan la planificación de las instalaciones con la metodología SLP, y utilizan para su desarrollo el análisis producto-cantidad, la representación y análisis del proceso, las técnicas de análisis de recorrido para optimizar los procesos, así como el análisis de relaciones entre actividades para minimizar el movimiento de los recursos y reducir los costos.

Zileska-Pancovska et al. (2017) exponen la gestión de las instalaciones para planificar, diseñar, construir y gestionar el espacio, con el propósito de mejorar la capacidad de la organización para competir en el mercado. Para ello, integran factores de sostenibilidad en el diseño de instalaciones a fin de proporcionar beneficios económicos y, al mismo tiempo, ser amigables con el medioambiente.

Kikolski y Ko (2018) proponen una nueva metodología considerando principalmente el tipo y características del proceso de fabricación. Su método se despliega en cuatro etapas: (i) la definición del tipo de línea de producción, (ii) la determinación de los factores que afectan la distribución de los puestos de trabajo, (iii) la determinación del criterio de optimización y (iv) la selección del método de optimización en función de las características del proceso de fabricación.

### Herramientas de apoyo

El problema de diseño se aborda de la manera más eficaz y eficiente cuando combina diferentes recursos para producir una variedad de productos. Por ello, los artículos

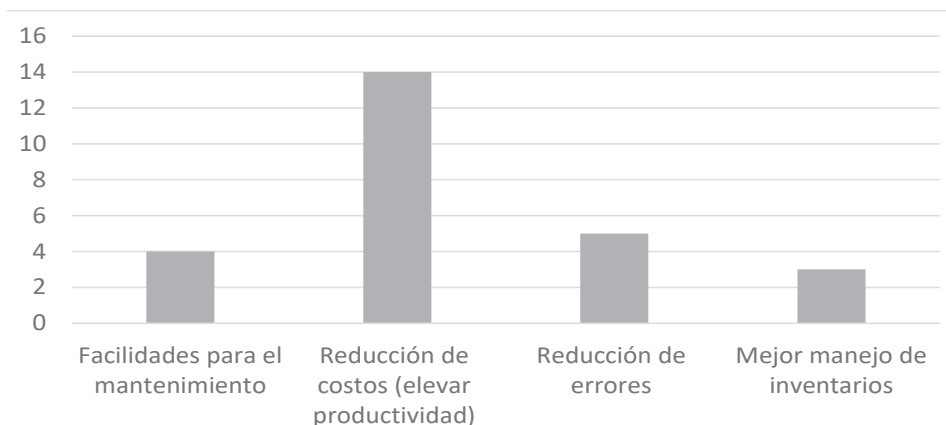
científicos evaluados, en la planificación del *layout*, aplican *big data*, internet de las cosas, realidad aumentada (Peña Galvis & Palacio Osorio, 2018; González et al., 2020; Kumar et al., 2018; Rejeb, 2019), así como la automatización y la fabricación flexible (Peña Galvis & Palacio Osorio, 2018; Prasad & Jayswal, 2019; Schmalzer et al., 2017). Se incluye el modelamiento de simulación y algoritmos de optimización (Wang et al., 2020; Chu & Law, 2019; Zukhruf et al., 2020), como el algoritmo *close neighbor*, utilizado para satisfacer las demandas de los procesos (Benítez Nara et al., 2019); o el modelo de la plataforma Excel GAMS, que propone una estrategia de capacidad dinámica, analizando sus efectos en las decisiones de localización de las instalaciones, el transporte y los flujos de materiales, así como el rendimiento de la cadena de suministro en términos de objetivos económicos, ambientales y sociales (Morales Chávez et al., 2018).

### Beneficios logrados por la planificación del diseño de las instalaciones

En las experiencias reportadas, se nota una marcada tendencia a desarrollar el diseño para que contribuya a la reducción de costos, la disminución de errores y las facilidades para el mantenimiento. De esta manera, se logra un incremento de la productividad total y un mejor manejo de inventarios en los almacenes a fin de atender a un mercado tan demandante como el de los alimentos.

Figura 5

*Beneficios para el diseño de instalaciones por artículo*



## DISCUSIÓN

La técnica más empleada para el diseño de instalaciones es la planificación sistemática del diseño con un enfoque exacto, heurístico y evolutivo (Al-Zubaidi et al., 2020). Sin embargo, existen diferentes herramientas para planificar y evaluar el diseño de las instalaciones; algunos autores proponen soluciones innovadoras como Rejeb (2019), que

sostiene que la realidad aumentada podría servir para evaluar los criterios y limitaciones de diseño en función de las instalaciones existentes disponibles, y para considerar los nuevos planes de diseño de las instalaciones. Lamba et al. (2020) y Alpala et al. (2018) complementan el método tradicional SLP con simulaciones para el rediseño de plantas de los sectores de confección, calzado, bebidas y alimentos.

Lamba et al. (2020) proponen abordar los problemas en el diseño modelando un programa dinámico de diseño celular para todo el horizonte temporal, considerando la minimización del consumo de energía eléctrica, los costos de manipulación y la reordenación de materiales. Para ello utilizan un programa no lineal entero mixto, con el *software* de optimización LINGO 10 y un metaheurístico basado en recocido simulado (SA). Luego, bajo ciertos supuestos, formulan un modelo matemático que permite plantear diseños inter/intracelulares óptimos para todos los periodos de tiempo y sostenibles en un entorno dinámico.

Alpala et al. (2018) abarcan la metodología SLP en un contexto de la industria 4.0, llamado SLP Modulary 4.0, con diferentes herramientas de diseño (análisis producto-cantidad, análisis y representación del proceso productivo, análisis de factores y limitaciones, análisis relacional). Así generan alternativas de diseño mediante la simulación del proceso productivo (CAD) y diseño 3D, con los que logran diseños óptimos.

Para diseñar una estación de trabajo, el usuario potencial no debe ser generalizado, sino específico en términos de ubicación y sexo. Es importante que se utilicen los datos antropométricos apropiados para la ubicación y la población objetivo, pues una diferencia significativa generaría un ambiente inseguro para el personal y baja productividad (Samuel et al., 2016).

Es de vital importancia considerar la variación en la demanda y la productividad para mejorar un diseño de instalaciones. Los algoritmos de optimización basados en enjambres son herramientas valiosas para optimizar los terminales marítimos de contenedores (Zukhruf et al., 2020). Se recomienda un proceso de fabricación reconfigurable, de acuerdo con el mercado, que se adapte rápidamente a los cambios de la demanda; para esto se sugiere alinearse a seis características: escalabilidad, modularidad, personalización, integralidad, convertibilidad, capacidad de diagnóstico, reducción de costos (Prasad & Jayswal, 2019).

Kumar et al. (2018) plantean el diseño de una distribución basado en datos a gran escala (*big data*) para que pueda afrontar los cambios que se den en la demanda del producto, en la mezcla de productos y en la eliminación o incorporación de nuevos productos, a fin de que sea robusta y sostenible. El diseño es clave para la industria 4.0, para lograr precisión y exactitud en los procesos de fabricación con el uso eficiente de los recursos como la energía eléctrica (sostenibilidad medioambiental), el mantenimiento y los riesgos (sostenibilidad social), y la manipulación de materiales (sostenibilidad económica), a fin de lograr una disposición eficaz y eficiente que permita el ahorro de costos.

Por su parte, Zileska-Pancovska et al. (2017) muestran un modelo que con la ayuda de *software* puede predecir los factores que influyen para la evaluación de la sostenibilidad del diseño de la instalación con beneficios económicos, satisfacción de los clientes y sostenible para el ambiente.

Lo más novedoso en el contexto de la industria 4.0 sería el que las plantas puedan redistribuirse, por ejemplo, en caso de que se presenten variaciones en la demanda, mediante algoritmos genéricos que garanticen la no interferencia entre los componentes de la línea automatizada (Wang et al., 2020) y, por supuesto, estrategias de cambios orientados a poder ser flexibles en la manufactura ajustando tres elementos: manejo de los vehículos de acarreo vacíos, balance de las secuencias de producción y replanteamiento continuo de cronogramas de producción y entrega a través de algoritmos de recorrido o ruteo (Schmaler et al., 2017).

Las empresas que han aplicado la industria 4.0 utilizan conceptos como el internet de las cosas o la automatización, en busca de procesos controlados de manera virtual, lo que reduce el número de operarios. La automatización de máquinas operadas de manera programada requiere menos equipos auxiliares; de esta manera, los ambientes son más eficientes y los procesos más flexibles e inteligentes, modificando los espacios en planta y optimizando los ambientes (Peña Galvis & Palacio Osorio, 2018).

En el aspecto educativo, para implementar la industria 4.0 en la formación universitaria, se debe considerar un enfoque de experiencia activa con el uso intensivo de laboratorios para simular diferentes escenarios (Garcés & Peña, 2020).

## CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta investigación advierten que el SPL se sigue aplicando en la planificación del diseño de instalaciones, complementado con el uso de nuevos algoritmos, *software* y diferentes herramientas como el *big data*, internet de las cosas, la simulación del proceso productivo (CAD) y el diseño 3D.

La evidencia también confirma que, en los últimos años, la industria de alimentos ha atravesado por importantes avances tecnológicos, por la implementación de metodologías, técnicas y herramientas de la industria 4.0 que le permitirían una fabricación inteligente y sostenible. A pesar del camino aún pendiente, ya se viene aplicando en la planificación de recursos, en la ejecución de la fabricación, en el control de calidad, en el diseño y en la gestión de las instalaciones para optimizar procesos. No obstante, aún se necesita mayor desarrollo en temas complementarios para el estudio de la demanda, los recursos humanos, la seguridad y la ergonomía, así como el mantenimiento.

Finalmente, los resultados conducen a dos líneas recomendadas de profundización. Por un lado, investigar la viabilidad de las tecnologías de la industria 4.0 entre las

pequeñas y medianas empresas, ya que son los principales establecimientos del sector alimentario para muchos países. Por otro lado, seguir estudiando la implementación curricular del SPL en las carreras de ingeniería industrial, con un enfoque más actualizado y orientado a la realización de simulaciones en los laboratorios con una nueva mirada hacia la experiencia activa. Las experiencias aquí expuestas constituyen un aporte para comprender los desafíos y oportunidades en la implementación de aplicaciones para la industria 4.0 y para seguir reflexionando en torno a ellas.

## REFERENCIAS

- Al-Zubaidi, S. Q. D., Fantoni, G., & Failli, F. (2021). Analysis of drivers for solving facility layout problems: a literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, 21, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100187>
- Ahmadi, A., Saman, M., Reza, M., & Jokar, A. (2017). A survey on multi-floor facility layout problems. *Computers & Industrial Engineering*, 107, 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.03.015>
- Alpala, L. O., Alemany, M. del M. E., Peluffo, D. H., Bolaños, F. A., Rosero, A. M., & Torres, J. C. (2018). Methodology for the design and simulation of industrial facilities and production systems based on a modular approach in an "industry 4.0" context. *DYNA*, 85(207), 243-252. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.68545>
- Bargegol, I., Najafi Moghaddam Gilani, V., & Jamshidpour F. (2017). Relationship between pedestrians' speed, density and flow rate of crossings through urban intersections (case study: Rasht metropolis). *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 30(12), 1814-1821. [https://www.ije.ir/article\\_73070.html](https://www.ije.ir/article_73070.html)
- Benítez Nara, E. O., Kothe, J. V., Baierle, I. C., Schaefer, J. L., & Vidal, B. E. (2019, 15-18 de octubre). *Modular layout using the grouping of machines: a case study based on process variables*. XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção "Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da logística e operações", São Paulo, Brasil.
- Chu, M. L., & Law, K. H. (2019). Incorporating individual behavior, knowledge, and roles in simulating evacuation. *Fire Technology*, 55(2), 437-464. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0747-6>
- Cugno, M., Castagnoli, R., & Büchi, G. (2021). Openness to industry 4.0 and performance: the impact of barriers and incentives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120756. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120756>
- Demartini, M., Pinna, C., Tonelli, F., Terzi, S., Sansone, C., & Testa, C. (2018). Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and

- solutions. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1371-1378. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.337>
- Diao, P.-H., & Shih, N.-J. (2019). BIM-based AR Maintenance System (BARMS) as an intelligent instruction platform for complex plumbing facilities. *Applied Sciences*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/app9081592>
- Díaz Garay, B., Jarufe Zedán, B., & Noriega Aranibar, M. T. (2007). *Disposición de planta* (2.ª ed.). Universidad de Lima, Fondo Editorial.
- Díaz Garay, B., & Noriega Aranibar, M. T. (2017). *Manual para el diseño de instalaciones manufactureras y de servicios*. Universidad de Lima, Fondo Editorial.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: a survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255-267
- Euromonitor International. (2020, abril). *Packaged Food Peru*. <https://www.euromonitor.com/packaged-food-in-peru/report#>
- Fafandjel, N., Rubeša, R., & Matulja, T. (2009). Improvement of industrial production process design using systematic layout planning. *Strojarstvo*, 51(3), 177-186.
- Garcés, G., & Peña, C. (2020). Ajustar la educación en ingeniería a la industria 4.0: una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 19(40), 129-148. <http://dx.doi.org/10.21703/rexe.20201940garces7>
- Gasca-Hurtado, G., & Machuca-Villegas, L. (2019). Era de la cuarta revolución industrial. *RISTI. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 2019(34), xi-xv. <https://doi.org/10.17013/risti.34.0>
- González, Y., Manzano, O., & Jiménez, L. A. (2020). Cualificación del talento humano frente a la organización 4.0 y sus innovaciones. *Revista Espacios*, 41(49). <https://revis-taespacios.com/a20v41n49/a20v41n49p18.pdf>
- Huang, S., Wang, G., Yan, Y., & Hao, J. (2018). Similarity coefficient of RMS part family grouping considering reconfiguration efforts. *IEEE Access*, 6, 71871-71883. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2882179>
- Industria de alimentos registraría la tasa de crecimiento más alta de los seis últimos años. (2019, 28 de enero). *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/industria-alimentos-registraria-tasa-crecimiento-alta-seis-ultimos-anos-257014-noticia/?ref=gesr>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021, 11 de mayo). *Evolución de las exportaciones e importaciones* [Informe técnico]. <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin-export-import.pdf>

- Jiang, Y., Khattak, A., Hu, L., Zhu, J., & Yao, Z. (2016). Analytical modeling of two-level urban rail transit station elevator system as phase-type bulk service queuing system. *European Transport-Trasporti Europei*, (62).
- Kikolski, M., & Ko, C.-H. (2018). Facility layout design — review of current research directions. *Engineering Management in Production and Services*, 10(3), 70-79. <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0018>
- Kumar, R., Singh, S. P., & Lamba, K. (2018). Sustainable robust layout using big data approach: a key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 204, 643-659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.327>
- Lamba, K., Kumar, R., Mishra, S., & Rajput, S. (2020). Sustainable dynamic cellular facility layout: A solution approach using simulated annealing-based meta-heuristic. *Annals of Operations Research*, 290(1), 5-26. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03340-w>
- Lin, Q. L., Liu, H. C., Wang, D. J., & Liu, L. (2013). Integrating systematic layout planning with fuzzy constraint theory to design and optimize the facility layout for operating theatre in hospitals. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(1), 87-95. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0764-8>
- Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010). Facility layout problem: a state-of-the-art review. *Vilakshan: The XIMB Journal of Management*, 7(2), 81-106.
- Mendoza, M. (2017, 19 de octubre). El Perú solo tiene un 1 % de industrias 4.0. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/economia/peru-1-industrias-4-0-noticia-467091-noticia/>
- Morales Chávez, M. M., Sarache, W., & Costa, Y. J. (2018). Towards a comprehensive model of a biofuel supply chain optimization from coffee crop residues. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 136-162. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.06.001>
- Muther, R., & Hales, L. (2015). *Systematic layout planning* (4.ª ed.). Management & Industrial Research Publications.
- Naqvi, S. A. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1), 1207296. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Neghabi, H., & Ghassemi Tari, F. (2016). A new concept of adjacency for concurrent consideration of economic and safety aspects in design of facility layout problems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 603-614. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.02.010>



- Peña Galvis, O. L., & Palacio Osorio, G. J. (2018). Impacto de las nuevas tecnologías de "industry 4.0" en Colombia. *Revista Loginn: Investigación Científica y Tecnológica*, 2(2), 113-121. <https://doi.org/10.23850/25907441.2007>
- Peruzzini, M., Wognum, N., Bil, C., & Stjepandic, J. (2020). Special issue on 'transdisciplinary approaches to digital manufacturing for industry 4.0' [Editorial]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(4), 321-324. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1752071>
- Prasad, D., & Jayswal, S. C. (2019). Reconfigurable manufacturing system — a new class of manufacturing system. *Management and Production Engineering Review*, 10(4), 37-47. <https://doi.org/10.24425/MPER.2019.131443>
- Randolph, J. (2009). A guide to writing the dissertation literature review. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 14(1). <https://doi.org/10.7275/b0az-8t74>
- Rejeb, A. (2019). The challenges of augmented reality in logistics: a systematic literature review. *Social Science Research Network*, 134(2), 281-311. <https://ssrn.com/abstract=3446102>
- Samuel, T. M., Aremu O. O., Salami, I. O., Adetifa, B. O., Onu, L. I., Adegbite S. E., & Olokoshe, A. A. (2016). Anthropometric studies for designing to fit gari-frying workers. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(1), 180-191.
- Sa'udah, N., Amit, N., & Ali, M. N. (2015). Facility layout for SME food industry via value stream mapping and simulation. *Procedia Economics and Finance*, 31, 797-802. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01169-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01169-7)
- Schmaler, R., Hammel, C., Schmidt, T., Schoeps, M., Luebke, J., & Hupfer, R. (2017). Strategies to empower existing automated material handling systems to rising requirements. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 30(4), 440-447. <https://doi.org/10.1109/TSM.2017.2756104>
- Suhardi, B., Anisa, N., & Laksono, P. W. (2019). Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry. *Cogent Engineering*, 6. DOI: 10.1080/23311916.2019.1567019
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Urban, W., Łukaszewicz, K., & Krawczyk-Dembicka, E. (2020). Application of industry 4.0 to the product development process in project-type production. *Energies*, 13(21), 1-20. <https://doi.org/10.3390/en13215553>

Wang, S., Guo, R., Wang, H., & Vogel-Heuser, B. (2020). Safe three-dimensional assembly line design for robots based on combined multiobjective approach. *Applied Sciences*, 10(24), 8844. <https://doi.org/10.3390/app10248844>

Zileska-Pancovska, V., Petrusheva, S., & Petrovski, A. (2017). Predicting sustainability assessment at early facilities design phase. *Facilities*, 35(7-8), 388-404. <https://doi.org/10.1108/f-03-2016-0033>

Zukhruf, F., Frazila, R. B., & Widhiarso, W. (2020). A comparative study on swarm-based algorithms to solve the stochastic optimization problem in container terminal design. *International Journal of Technology*, 11(2), 374-387. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i2.2090>