EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y SU IMPACTO EN EL DISEÑO DE PLANTAS Y ALMACENES INDUSTRIALES HACIA LA INDUSTRIA 5.0

María Carolina García Leal

Escuela de Industrial. Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela

prof.ma.carolina.garcia@gmail.com

Resumen: Este ensayo reflexivo analiza la evolución de los sistemas de producción desde la Primera Revolución Industrial hasta la emergente Industria 5.0 e influencia en el diseño de plantas y almacenes inteligentes. A partir de una revisión de literatura especializada, se examinan algunos hitos fundamentales marcados en el camino como el Taylorismo, el Fordismo, el Toyotismo (Just-in-Time), la Industria 4.0 (IoT, IA, gemelos digitales) y la Industria 5.0 (Humanocentrismo, sostenibilidad, resiliencia). Los resultados muestran que cada paradigma productivo genera un modelo de distribución (Layout) específico y el diseño de instalaciones ha evolucionado desde espacios rígidos y jerárquicos hacia entornos inteligentes, flexibles y colaborativos. A través del aprendizaje en utilizar inteligentemente los recursos disponibles, se incrementa la productividad donde el ingeniero industrial integra competencias técnicas clásicas, tecnologías digitales avanzadas y habilidades humanas para liderar el diseño de plantas centradas en las personas, ecológico y ambientalmente sostenibles, y económicamente competitivas.

Palabras clave: sistemas de producción, diseño industrial, diseño inteligente de plantas y almacenes.

EVOLUTION OF PRODUCTION SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON THE DESIGN OF PLANTS AND INDUSTRIAL WAREHOUSES TOWARDS INDUSTRY 5.0

Abstract: this reflective essay analyzes the evolution of industrial production systems and their impact on Facilities and warehouse design, from the First Industrial Revolution to Industry 5.0. Through a narrative literature review of specialized sources and recent publications, it examines key milestones: Taylorism, Fordism, Toyotism (Just-in-Time), Industry 4.0 (IoT, AI, digital twins), and Industry 5.0 (human-centricity, sustainability, resilience). Results show that each production paradigm generates a specific layout model, and facility design has evolved from rigid, hierarchical spaces toward intelligent, flexible, and collaborative environments. Learning achievements centered in the available resources' smart use has shown productivity increase. This is where the industrial engineer must integrate classical content technologies, advanced digital technologies and human skills to lead design people-centered, ecologically and environmentally sustainable also being economically competitive.

Keywords: production systems, industrial plant design, smart warehouses and facilities designs.

Presentación del Tema

Los sistemas de producción industrial constituyen la estructura organizativa fundamental de toda empresa dedicada a la manufactura de bienes o servicios. Estos sistemas en evolución desde los tiempos de F. W. Taylor no solo definen cómo se transforman los insumos en productos, sino que también determinan la eficiencia, la calidad y la competitividad de una organización en el mercado global. Paralelamente, el diseño de plantas y almacenes industriales emerge como la materialización física de estos sistemas, involucrando la planificación, distribución y construcción de espacios que albergan los procesos productivos (Carro & González, 2024).

Han transcurrido más de 100 años desde que los fabricantes tomaron la producción como un proceso propio y único que empleaba tecnologías desarrolladas de manera aislada. Durante este tiempo, los diseños en Ingeniería permitieron que las máquinas y herramientas existentes sufrieran cambios y actualizaciones buscando la perfección logrando unos procesos a gran escala. En esos años se trasladaba la producción dentro de las instalaciones de una estación de trabajo a la siguiente a través de un sistema logístico.

En operaciones, el sistema de transformación está presente en las repetidas interacciones con el entorno. En cada acción de transformación que da lugar a cambios en los insumos, se conoce como una operación y la secuencia de operaciones requerida para completar un ciclo determinado de transformación, se le conoce como proceso de transformación o proceso de producción. Adicionalmente, dentro de los sistemas de producción y su entorno, ocurren una serie de procesos internos claves para la Toma de decisiones. Esta toma de decisiones puede ser estratégica o táctica, ambas esenciales a las actividades gerenciales.

En este contexto, el presente ensayo tiene como propósito analizar la evolución histórica de los sistemas de producción y su impacto directo en el diseño de plantas y almacenes industriales. Partiendo de la premisa fundamental de comprender esta trayectoria evolutiva esencial para afrontar los desafíos actuales y futuros de la ingeniería industrial, especialmente en relación de las revoluciones industriales 4.0 y 5.0. La pregunta que guía esta reflexión es: ¿cómo han influido los sucesivos paradigmas productivos en la configuración de los espacios industriales y cuál es el rol del ingeniero industrial en esta transformación?

Para abordar este argumento de manera sistemática, el ensayo se estructura en tres partes fundamentales. Primero, una sustentación que incluye tanto la metodología de revisión empleada como el análisis evolutivo de los paradigmas productivos. En segunda instancia, se presenta una discusión sobre las implicaciones de estos cambios para el diseño de plantas y almacenes. Tercera y última se encuentran las conclusiones y recomendaciones dirigidas a los profesionales del área de la Ingeniería Industrial.

Metodología de Revisión de Literatura

Para profundizar el análisis presentado en este ensayo, se realizó una revisión de literatura de tipo narrativa, consultando bases de datos académicas y repositorios institucionales durante un periodo de 3 meses, comprendido entre enero y marzo del

2025. Los criterios de búsqueda se centraron en la evolución de los sistemas productivos, el diseño de plantas industriales, distribución inteligente de plantas y almacenes, industria 4.0 y 5.0. En esta revisión se seleccionaron fuentes relevantes, priorizándose artículos realizados en la década 2015-2025; obras clásicas de ingeniería industrial, Taylor, Ford, Ohno y Shingo por mencionar algunos autores; documentos de organismos internacionales y material audiovisual técnico. La información recopilada se organizó cronológicamente para trazar la evolución de los paradigmas productivos y su correlato en el diseño de instalaciones, identificando rupturas, continuidades y lecciones aplicables al contexto actual.

Análisis Evolutivo

Primera Revolución Industrial: El Nacimiento de la Mecanización

A finales del siglo XVIII y durante el siglo XIX, la mecanización de procesos y el uso intensivo del carbón como fuente energética transformaron radicalmente la estructura productiva, desplazando a la agricultura como eje central. Adam Smith para 1777, uno de los máximos exponentes de este periodo, introdujo el concepto de división del trabajo como mecanismo para aumentar la productividad. Posteriormente, Eli Whitney en 1799 sentó las bases de la estandarización y la intercambiabilidad de piezas, características fundamentales del "Sistema Norteamericano de Manufactura" su contraparte en la Estandarización y Control de Calidad. Éste se caracterizó por la intercambiabilidad de las piezas que facilitaban un montaje sin etapa de acabados, llevadas a cabo por máquinas y herramientas especializadas responsables de esta intercambiabilidad a los fines de obtener un producto estandarizado en 1879. Básicamente, durante este periodo se presenció un fuerte crecimiento económico, una marcada expansión de la demanda y sin generar un cambio tecnológico importante. Sin embargo, se observó una gran escasez de fuerza de trabajo calificada producto de la Guerra de Secesión en USA durante los años 1861-1865, que trajo consigo la existencia de fuertes sindicatos de oficio, cuyos miembros controlaban el proceso de trabajo. Los trabajadores artesanales controlaban el proceso completo, concentrado en las etapas de concepción, planificación y ejecución. Así mismo, los empresarios llamaban a los tiempos improductivos y de ocio como “Tiempos Muertos” (Nefta,1999).

Adicionalmente y a consecuencia a una falta de organización racional capitalista, los tiempos muertos se producían también a causa de una deficiente coordinación de las etapas del proceso de producción y pérdidas de tiempo por movilizaciones descoordinadas o rotación de trabajadores o piezas. Pocos profesionales se cuestionaban para la época, qué ocurría entre los procesos o cómo se trabajaba con múltiples procesos dentro de una misma instalación o cómo actuaba cada trabajador en su propio puesto de trabajo. Estos cuestionamientos parecían tener muy poca importancia para el momento. Los objetivos planteados para este periodo fueron: Identificar, medir y eliminar el tiempo muerto y movimientos considerados improductivos e inútiles.

Sin embargo, todo cambió gracias a las investigaciones de los primeros ingenieros industriales que ocurrieron a mediados y a finales del siglo XIX entre los cambios que se pueden mencionar están la organización del trabajo, la producción y la empresa. Esta primera Revolución Industrial trajo consigo una transformación económica para la agricultura posicionándola al escenario industrial introduciendo la mecanización en

sus procesos y llevando el esquema de fabricación por primera vez para la manufactura de productos. Se promovió la explotación del carbón, masificándose el uso de máquinas y forja de metales. Para estos tiempos el paradigma Técnico Económico presente era “una combinación más eficiente de productos y procesos, interrelacionados, con innovaciones técnicas, organizacionales y de gestión empresarial, que promueven un crecimiento de la productividad de toda, o de una parte de la economía” (Neffa,1999). Este paradigma además contemplaba una drástica reducción de costos de cuantiosos productos y servicios incluyendo cambios en la estructura de costos relativos, abriendo con ello y de forma inédita un sinnúmero de oportunidades para inversiones rentables.

Luego de un proceso de transformación estructural, emerge el nuevo paradigma, el cual se produce, aun cuando el anterior “ciclo largo” se encuentra todavía en su fase operativa. De este paradigma resalta la generación de innovaciones radicales que a su vez producen un cambio de paradigma técnico-económico a partir de una rama de actividad que ocasionan consecuencias, aquellas que afectan a la mayoría de los grandes sectores económicos. Crean nuevos productos y nuevas industrias que involucran procesos tecnológicos e influyen en la estructura de los insumos.

Una vez que el paradigma cambia, se empieza a hablar en el entorno sobre la racionalización del trabajo u organización científica del trabajo (OCT). Este “management científico” contempla un sistema de control muy preciso sobre la organización de la producción y su gestión. Bajo este contexto se han considerado las condiciones del Sistema Norteamericano de Manufactura, contemplado desde la segunda mitad del siglo XIX y desarrollado en los Estados Unidos. Con sus orígenes en la industria de armas ligeras, se difundió durante el resto del siglo, en las industrias de maquinaria agrícola y de costura. Seguidamente, al cierre del siglo XIX se descubre, inicia el uso y se explota la Electricidad, el Gas y el Petróleo como combustibles y fuentes de energías primarias. Se inventa el motor a combustión. Se desarrollaron productos a base de Acero y/o Químicas que hacen su entrada al Mercado. Se presencian avances tecnológicos como el teléfono y el telégrafo. Se vive el invento de los Automóviles y Aviones. Se le da paso a la producción en masa que trae consigo el crecimiento de la velocidad de la producción.

Taylorismo y Fordismo: la Racionalización del Trabajo

Partiendo con Fredrick W. Taylor (1881), a inicios del siglo XX, también lo identificaban como el Padre de la Administración Científica. Para este tiempo se comenzó a mirar a los trabajadores en forma individual, investigándose los métodos de trabajo. Taylor contribuyó a la planificación y programación de la producción con estudios de tiempos. Como contribución más relevante quedó la creencia de que la administración debe aportar más recursos y búsquedas de mejoras proactivas en los futuros métodos de trabajo.

Resaltó en su estudio que debía tomarse más enserio el indicar a los trabajadores cuál debía ser la tarea más adecuada según las capacidades y habilidades del trabajador. Proveer el entrenamiento y capacitación que fuese necesario para el desarrollo de la tarea asignada. Ofrecer métodos de trabajo y herramientas adecuadas para realizar y establecer incentivos legítimos por la labor a desarrollar (Taylor, F. W., 1973). En esa etapa se empezó a promover el análisis de las tareas, clasificación y división del trabajo.

Por otra parte, el análisis de movimientos estipulando tiempos obliga-torios de reposo y de pausas para el mantenimiento de máquinas y equipos (Estudio sistemático de tiempos y movimientos para eliminar actividades improductivas). Estandarizar materias primas e insumos intermedios y las herramientas más adecuadas para cada tarea (estandarización de los objetivos de trabajo). Implementar solo la mejor y única manera de hacer las cosas (hacer la tarea que haga a la desintegración del trabajo a nivel de talleres y una estructura funcional por áreas o departamentos, divisiones, gerencias o servicios funcionales. (La división Social y técnica del trabajo). Procurar adaptar al perfil del puesto de trabajo, que por lo general se sub-evaluaban las calificaciones de competencias tácticas que se debían movilizar para realizar la tarea. (Selección científica de los trabajadores según sus capacidades). Efectuar un sistema de control y de supervisión de los trabajadores por lo supervisores y capataces, quienes, a pesar de reunir una plantilla de trabajadores considerable, no se cumplen las tareas directamente productivas (Control y Supervisión). Carro & González (2024), Neffa (2022) y Burgos (2009).

Los autores Frank & Lilian Gilbreth (1900-1920, aportaron el estudio de movimientos e introdujeron el concepto de trazabilidad de procesos. Crearon las hojas de ruta que centraban su atención en todos los elementos del trabajo, incluyendo aquellos elementos que se agregaban pero que no proporcionaban valor y que siempre ocurre entre los procesos oficiales. Introdujeron la psicología a través del estudio de la motivación humana y cómo las actitudes de los trabajadores afectan el resultado final de un proceso. A partir de sus aportes en materia de comportamiento humano, proporcionaron una cantidad importante de avances a la administración de empresas. Sus estudios fueron los pilares para la filosofía posterior de eliminación del desperdicio – principio dominante en el sistema “JUST in TIME” y Manufactura Esbelta.

Alrededor de 1910, Henry Ford en colaboración con Charles E. Sorenson, idearon la primera estrategia de fabricación integrando todos los elementos de un sistema productivo: mano de obra, máquinas, procesos y productos, creando un sistema continuo para fabricar el automóvil modelo T. Sus contribuciones fundamentadas en estudios y observaciones fueron pilares en el desarrollo del concepto de la primera “Línea de Ensamble Coordinada”. Aferrándose Ford a sus principios de producción logró convertirse rápidamente en uno de los hombres más ricos por haber “puesto al Mundo sobre Ruedas”, siendo además responsable de la introducción de conceptos esenciales para el desarrollo de sistemas de producción a futuro. (Ford Motor Company,2024)

El método de Ford fue tan exitoso que lo copian muchos fabricantes inspirados en sus ideas de línea de ensamble coordinadas. Aunque no todos llegaban a comprender totalmente los principios fundamentales del sistema. Al pasar el tiempo, el mundo empezó a cambiar, el método fue sometido a análisis y se fue adaptando a las nuevas tecnologías aun cuando Ford no estaba muy de acuerdo con estos cambios. El incremento de las ordenes de producción y la aparición de sindicatos trajeron los conflictos propios al entorno e incrementaron tensiones con los trabajadores de este sector.

Alfred P. Sloan en la primera mitad del siglo XX realizó un proceso mucho más pragmático, desarrollando estrategias de

negocios y de fabricación como forma de gerenciar empresas muy grandes para ocuparse de la variedad de productos que se fabricaban en éstas. Corriendo los años 30, General Motors cambia el escenario y en ventas sobrepasa a Ford Motors, pero a pesar de la gran depresión económica, los métodos implementados por Ford Motors seguían bien arraigados y populares. Con la Segunda Guerra Mundial, los métodos de Ford resultaron factores esenciales en cuanto a sus aportes de ensamble de bombarderos y decisiones que permitieron la victoria de los aliados gracias a su eficiente sistema de línea de ensamble coordinado (Ford Motor Company, 2024) (Carro y González, 2024).

Toyotismo y la Manufactura Esbelta (Just inTime)

La 3era Revolución Industrial se lleva a cabo un siglo después y luego de dos Guerras Mundiales, desarrollo de la Energía Nuclear y la Electrónica. La primera con un gran auge en USA y Europa para luego entrar en remisión por años con un crecimiento significativo en Asia.

Tras el final de la Segunda Guerra Mundial, se despierta la necesidad de ver y evaluar la Calidad de los productos que se fabricaban a través de controles estadísticos. Exponentes como Walter Shewhart (1930-1940) a través de la búsqueda de sistemas de control de calidad de sus productos logra aportar los fundamentos para el muestreo estadístico. Más tarde, en la década de los 50, W. Edward Deming al igual que Taylor sostienen que las empresas deberían pensar más en los ambientes de trabajo y en los procesos para que consecuentemente se mejorara la calidad.

Avanzando los años en el siglo XX y aprovechando el aprendizaje que dejaron las Guerras Mundiales, los japoneses se fueron interesando en el conocimiento que aportaban otras disciplinas y ciencias, como la matemática, estadística, administración y la economía, que hicieron posible el análisis sistémico y la mejora en los sistemas de operaciones. En tal sentido, destacan los trabajos de Taichii Ohno y Shingeo Shingo entre los años 50 y 70, introdujeron conceptos de los métodos de Ford y otras técnicas que exaltaron el papel fundamental del inventario en la producción conocidas a su tiempo como Sistema de Producción Toyota, o también “Just inTime”. The W. Eduard Deming Institute (2024).

Como todo debe evolucionar, los vacíos y deficiencias de los viejos perceptos y fundamentos del Sistema Ford fueron evidenciados en la fuerza laboral, que los japoneses adaptaron a su cultura apoyándose en la cooperación y participación del empleado logrando la contribución a la mejora continua. Estas respuestas de los trabajadores Japoneses creó un espacio ideal para incluir las ideas de mejoras continuas y Círculos de Calidad propuestas por Deming a través del Ciclo de Calidad (PDCA), Juran y Kaoru Ishikawa (1950-1960) con sus 7 Herramientas Clásicas para la Gestión de la Calidad a los fines de valorar procesos empresariales, trayendo consigo grandes contribuciones al movimiento conocido como Gerencia de Calidad Total o TQM, culminando con el desarrollo de las celdas de manufactura y equipos de trabajos con Sistemas de Calidad a nivel gerencial y cambios evolutivos (SPC Consulting Group, 2012).

Los conceptos centrales de este paradigma incluyen: (a) producción pull (tirar) en lugar de push (empujar), mediante tarjetas Kanban, (b) mejora continua (Kaizen) y cero defectos, (c) reducción drástica de los tiempos de preparación (set-up) de

máquinas, (d) involucramiento activo de los trabajadores a través de Círculos de Calidad. El impacto en el diseño de plantas fue revolucionario: se introdujeron celdas de manufactura en forma de U para facilitar el flujo y la comunicación, los almacenes se minimizaron (filosofía de inventario cero o justo a tiempo), y el layout se concibió como flexible y fácilmente reconfigurable (Shingo, 1989; Carro & González, 2024).

Adicionalmente, se incluye el concepto de variedad de productos, el sistema Ford se concentraba en orígenes de un producto único, que nunca cambiaba. A lo que Shingo dedicó esfuerzos para solucionar los problemas de puesta a punto y los cambios de máquinas, buscando reducir tiempos de set up, tiempos de tener lista la máquina para operaciones de minutos a segundos. Estos Cambios fueron imitados y aplicados en otras compañías japonesas dando lugar a incrementos notorios en los niveles de productividad y de calidad a nivel mundial. Los empresarios norteamericanos empezaron a interesarse en Japón viajando para estudiar este nuevo sistema, aprendiendo aspectos importantes como el uso de las tarjetas Kanban y los Círculos de Calidad obligando a cambiar de paradigma, adaptándose a un nuevo sistema de gestión entendiendo los nuevos principios fundamentales de esta Nueva Filosofía de Gestión.

Todas estas transformaciones evolutivas en los sistemas de producción ocurrieron desde 1949 hasta 1975. Corrían los años ’80 y para entonces el éxito en estos nuevos principios lo venían alcanzando empresas como General Electric, Omark Industries y Kawasaki (Nebraska). Avances sustentados por las investigaciones realizadas por Robert Hall y Richard Schönberger bautizando sus aportes como Manufactura de Clase Mundial (WCM) o Manufactura de Flujo Continuo (CFM). Todas hacían referencias a los conceptos creados por el Sistema de Producción Toyota. Derivando un enfoque de sistemas necesario, aplicado al análisis productivo de la empresa, el cual debe integrar aquellos conceptos correspondientes al qué, cómo, y para quién producir, interrelacionando aquellas funciones que le otorgan ese carácter tridimensional a su productividad. (Velázquez,1996)

En su momento Gómez & Núñez (1997) y García & Silva (1996), concordaron en la importancia que tiene el diseño de plantas industriales y la necesidad intrínseca de materializar ideas tecnológicas para dar soluciones a las demandas de consumidores adaptables dentro de la dinámica actual del mercado. al hablar de diseños adaptables a la realidad de las necesidades que demarca el mercado que viene evolucionando, el diseño ideal de una nueva planta industrial contempla también su ubicación, un espacio geográfico delimitado que ofrezca la combinación perfecta de condiciones y servicios ideales para su mejor funcionamiento. Partiendo de las premisas instauradas desde los tiempos de Taylor enfocados en las actividades dentro de la unidad de trabajo, buscando maximizar la utilización de la mano de obra en la medida en la que se adiestraba con el tiempo y las nuevas tecnologías llamándose a este análisis Ingeniería de Métodos.

Por otra parte, estudiar las formas de Manejar los materiales a lo largo del proceso de producción, con la disposición de estos dentro de las instalaciones de planta, se le viene conociendo como distribución en plantas y manejo de materiales. Es de hacer notar que todos estos autores concuerdan en que al Integrar las tres áreas de estudio mencionadas hoy en día se reconoce como el Diseño de Plantas Industriales.

A medida en que el tiempo progresa, emergen mejoras sobre los avances anteriores; e incluso las tecnologías se renuevan, dejando atrás algunas que cumplieron su propósito en el tiempo y abriéndole paso a las tecnologías que permitieron la supervisión en tiempo real de los Sistemas de Producción en sus distintas etapas: diseño, planeación, manufactura, distribución de suministros y supervisión de producción, control de calidad y logística de distribución hasta finalmente, llegar a los consumidores. La inclusión de la automatización de procesos, el uso integral del Wi-Fi y la emergente inteligencia artificial, hoy por hoy han hecho más fáciles las tareas de planificación, supervisión de producción y logística del resto de la cadena de suministro en tiempo real.

Además de hacer más seguras algunas tareas para los trabajadores, que por una u otra razón deban desempeñar actividades de alto riesgo; mejorando con ello los niveles de producción e incrementado a su vez sus niveles de productividad o eficiencia de sus procesos.

Industria 4.0: Digitalización y Fábricas Inteligentes

La 4ta Revolución Industrial, el Internet promovió un cambio a través de avances tecnológicos acelerados: la digitalización de la información y el desarrollo del internet vía Wi-Fi, sinónimo de conexión a tiempo real. La obtención de Energías renovables: Energía Solar, Eólica y Geotérmicas para el año 2000. Esto obligó a estar atentos a cambios y pulsos de ajustes más presentes y a su vez más frecuentes en cada una de las partes de la línea de producción dentro y fuera de las instalaciones o plantas de manufactura. Gracias al impulso creado por la evolución dinámica y vertiginosa del internet emergen desarrollos de nuevas tecnologías como la Inteligencia Artificial AI y el Internet de las cosas (IoT) domésticas y IoTI a nivel industrial. Esta 4ta Revolución tuvo como objetivo mejorar la productividad, eficiencia y a su vez promover la flexibilización de los procesos y cómo se realizan las tareas. Aspectos, criterios y elementos fundamentales que permitan facilitar la toma de decisiones y una personalización más inteligente en la producción y en toda la cadena de suministro.

Así, Acevedo (2018), Autodesk Factory (2018) y Salimbeni (2021), comparten herramientas evolucionadas y de avanzada para complementar esa producción incesante de ideas de mejoras o de diseño de plantas industriales o almacenes inteligentes. acuñándose un término traído por la inclusión de la Inteligencia Artificial, personalizando aún más las ideas propuestas por aquellos Ingenieros Industriales in situ o a distancia, creadores todos de soluciones innovadoras a problemáticas encontradas en diversos procesos de producción.

A esto también se agrega, el aporte que “Las transformaciones de la Industria 4.0 nos permiten trabajar junto con las máquinas de formas innovadoras y altamente productivas” afirmado por el líder futurista y consultor estratégico Burrus (2024). Utilizando como pilares de esta 4ta Revolución Industrial, la integración de los sistemas de información, la ciberseguridad y la utilización de espacios de almacenajes virtuales “la Nube”, trascendiendo la capacidad local a través de las Unidades de Procesamiento de Información Local (CPU) para trabajar ahora con Unidades de Procesamiento de Información Global los (GPU).

A esta triada integrada para el manejo, procesamiento y almacenaje de información

se le agregan, el internet de las cosas (IoT e IoIT) tanto a nivel doméstico como industrial, que permite estar interconectados a tiempo real a los fines de poder estar informados de lo que está pasando en cualquier etapa del proceso o en cualquier actividad que conforma una operación que pertenece al proceso que se está analizando.

Por otra parte, en la industria 4.0 la automatización y la conectividad son bases para lograr el pináculo de optimización de procesos de diseño y producción, permitiendo una producción altamente personalizada, flexible y eficiente. Estas fábricas inteligentes permiten la incorporación o adición de secciones, sistemas o subsistemas automatizados que hagan más fácil, seguros y/o más eficientes cada uno de estos elementos en cualquier proceso que está bajo análisis.

La integración digital de la información proporciona acceso en tiempo real de los datos, parafraseando a Garatu (2018). La inteligencia artificial, la realidad aumentada y los robots colaborativos como primer acto agregan o afinan los niveles de eficiencia y productividad que deseen trazarse las empresas en sus operaciones de manufactura, buscando la anhelada excelencia en sus procesos.

Aunado a esto, hay que resaltar el protagonismo dentro de estos impulsadores de la digitalización industrial al cliente conectado. Este aspecto acentúa aún más ese elemento diferenciador que modifica o resalta a uno u otro de estos procesos más eficientes. Ver la forma en que cada uno refleje original innovación, del cómo y de qué manera se van dando respuestas a las necesidades que presentan los clientes en la medida que aprenden y evolucionan con el mercado global continuamente cambiante de acuerdo a las nuevas exigencias.

Industria 5.0: El Retorno al Humanocentrismo

En la actualidad, la 5ta Revolución Industrial reconocida por la Comisión Europea desde el 2021 la liderizan la Industria como motor clave de la economía y la prosperidad de un país. Las sociedades se enfrentan a una gran transición y para seguir siendo el motor de la prosperidad, las industrias deben encabezar las transiciones humana-digital-verde. Esta busca regresar a lo esencial, aunque se tengan todos los avances tecnológicos, se busca centrar todo al ser humano, el trabajador, el planeador, el cliente, el auditor de calidad o el aliado del almacén de la empresa.

El objetivo central de la Industria 5.0 de acuerdo con Pagethink (2022), en la búsqueda de diseños de plantas exitosas es cambiar paradigmas del mundo industrial – económico. Las organizaciones deben estar al servicio del ser humano. Sus pilares fundamentales según Feixas (2022) se definen como el humanocentrismo, el cual promueve talento, diversidad y el adiestramiento. La tecnología debe estar al servicio de la persona, promoviendo la colaboración efectiva entre humanos y máquinas inteligentes (robots colaborativos o cobots), y respetando la diversidad, el talento y la formación continua de los trabajadores. El segundo la resiliencia, cuando se habla de la creación de organizaciones que sean “antifrágiles”. La capacidad de los sistemas productivos para adaptarse y recuperarse frente a crisis (pandemias, guerras, cambio climático, interrupciones en la cadena de suministro). El tercero es la sostenibilidad, que lideriza la acción sobre el ser sostenible respetando los límites del planeta, adoptando modelos de economía circular, eficiencia energética y reducción de la huella ecológica. Estos tres pilares, proporcionan a las empresas una visión de lo que significará

el verdadero progreso en los próximos años. (Salimbeni, 2021; Núñez, 2023).

Discusión: Implicaciones para el Diseño de Plantas y Almacenes

La evolución descrita demuestra una tesis central: "no existe un diseño de planta único, universal o permanente". Cada paradigma productivo genera su propio modelo de layout, con ventajas y limitaciones específicas. En la tabla 1 se sintetizan las principales relaciones identificadas entre paradigma productivo y diseño de instalaciones.

Tabla 1
Evolución de los paradigmas productivos y su impacto en el diseño de plantas

Paradigma	Principio Clave	Tipo de Layout	Rol del almacén
Taylorismo	División del trabajo /OCT	Funcional o por Procesos	Pulmón de inventario (grandes stocks)
Fordismo	Producción en masa/ Línea de ensamble	Lineal o en Línea (rígido)	Estación intermedia de acumulación
Toyotismo (Lean/Jit)	Eliminación de desperdicios (Kaizen)	Celular o en forma de U	Minimizadorotación continua cero inventarios
Industria 4.0	Digitalización / IoT/ IA	Flexible, simulado con gemelo digital	Smart Warehouse datos en tiempo real, automatizado
Industria 5.0	Humanocéntrico + Sostenible +Resiliente	Adaptativo, colaborativo, reconfigurable	Almacén verde, resiliente y centrado en el empleado.

Nota: Elaboración propia a partir de Carro y González (2024), Salimbeni (2021),Feixas (2022) y Pagethink (2023)

En esta búsqueda de la excelencia y teniendo como norte, ser cada vez más eficientes y ser empresas pioneras en innovaciones de clase mundial se desarrollan más herramientas de diseño de Plantas y Almacenes. Hoy existen herramientas más evolucionadas o personalizadas para cada necesidad de las empresas. Estas nuevas herramientas se les llama Herramientas Inteligentes y han llegado para quedarse así lo confirman fabricantes como Autocad en sus distintas versiones (1990- presente), Autodesk 2D y 3D, (Combita,2015) Sketchup (2000 – presente) (Acevedo, 2018) y sus versiones evolucionadas para instalaciones de Plantas Industriales tales como Autodesk Factory Design (2011) 2D y 3D y Solid Plant en su versión de 2012. Para el diseño de almacenes resaltan Flexsim USA y Flexsim Andina (2024).

En Venezuela se tienen un cruce de circunstancias que pueden de una manera u otra interferir en lo rápido que los profesionales en el área, locales se eduquen, adiestren y entrenen con las distintas herramientas que mundialmente ya se encuentran disponibles. Lamentablemente, por debilidades del entorno o carencia de recursos y equipos disponibles; aunque exista sin duda alguna el talento, la

creatividad e inventiva para proponer ideas que solucionen necesidades. La realidad es que habrá que trabajar en desarrollo de estas herramientas inteligentes o el aprendizaje local de dichas herramientas dadas las limitaciones o restricciones tecnológicas para el desarrollo o innovación propias para atender de manera personalizada necesidades locales.

Las últimas dos revoluciones industriales, Industria 4.0 y 5.0 abrieron las puertas a la digitalización, automatización y la interconexión de sistemas. De aquí se recoge que el Ingeniero Industrial es clave en la implementación de tecnologías avanzadas. Entre las que más resaltan, el Internet de las cosas, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, para optimizar los procesos de producción buscando incrementar la eficiencia de sus procesos, el diseño y gestión de sistemas y procesos de producción, garantizando la calidad, la seguridad y la sostenibilidad en la Industria.
En la actualidad, el ingeniero industrial enfrenta el reto de integrar las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 (IA, IoT, robótica colaborativa, simulación) con los principios orientadores de la Industria 5.0 (centrado en el ser humano, sostenibilidad, resiliencia). Esto requiere repensar la distribución en planta no solo para maximizar la eficiencia y minimizar costos, sino también para potenciar la adaptabilidad, la seguridad psicológica de los trabajadores y la reducción de la huella ecológica de las operaciones logrando consigo unos sistemas de producción aptos y más personalizados para atender las necesidades.

Optimización de los sistemas de producción

En la fase de Diseño de Plantas Industriales, hablar de un buen diseño hacia un Layout de producción más Inteligente es hablar de una optimización. El Diseño de Plantas industriales se rige por la eficiencia y la sostenibilidad. La concepción de una Distribución de Producción Inteligente se convierte en elementos cruciales para el éxito empresarial. Elementos esenciales para maximizar productividad y minimizar costos cumpliendo estándares ambientales.

¿Por dónde empezar a diseñar o redefinir estos espacios productivos?

Partiendo con la Integración de principios de Ingeniería y tecnología avanzada. Tener una compresión profunda de los procesos de manufactura. Aprovechar el aprendizaje de la automatización de procesos y la adopción de la industria 4.0 están redibujando el mapa del Layout Industrial. Teniendo presente que la clave está en la planificación estratégica del espacio físico y la disposición de los equipos de trabajo.

Gestión de Proyectos Diferente: Cómo Lograr los Resultados en la Industria 4.0 y 5.0

La gestión de proyectos, bajo este nuevo contexto, debe evolucionar hacia modelos basados en confianza, diversidad de los equipos, flexibilidad, propósito compartido y uso de la sabiduría colectiva, en lugar de la rigidez, la normalización excesiva y el control jerárquico tradicional. En tal sentido se debe orientar hacia el logro de resultados en un entorno industrial 4.0 y 5.0.

Dentro de los sistemas de Producción también se encuentran la gestión de proyectos, donde se consideran sistemas inteligentes de gestión resaltando el Enfocar el trabajo en lograr un “propósito”, no en cumplir un plan. Hacer una gestión del equipo basada en confianza e influencia, no en imposiciones y control. Aprovechar la diversidad para construir un equipo fuerte, no

buscar la uniformidad. Promover la flexibilidad y la capacidad de adaptación, no la rigidez y normalización. Desarrollar una mentalidad que abrace el cambio, no simplemente gestionarlo. Incentivar la simplicidad y la facilidad, no hacer solo ingeniería para la gestión y la entrega. Utilizar la sabiduría colectiva, por encima del individualismo.

¿Cómo deben prepararse para estos nuevos retos Los Gerentes de Proyectos?

La Nueva Generación de Gerentes deben desarrollar habilidades para trabajar en entornos humanocéntricos, comprendiendo la sostenibilidad, ser resilientes en la Cadena de Suministro y manejar inteligentemente el conocimiento tecnológico enfocándose en la viabilidad.

La Industria 4.0, 5.0 y el Futuro Ingeniero Industrial

Responder a la interrogante de la preparación de los nuevos retos para los gerentes, Rehse (2018) evidencia que la digitalización, particularmente la conectividad y las tecnologías inteligentes, revolucionarán la producción industrial. Salimbeni (2019) agrega que el auge de las herramientas de diseño tanto analíticas y de simulación van a mantener y hasta potenciar la demanda del ingeniero industrial con creces.

También comenta que deberá mantenerse actualizado y aprendiendo nuevas tecnologías de punta, como las utilizadas en empresas digitales que, a través del modelado digital, comunicación y operatividad de procesos de manufactura puedan realizarse diligentemente dentro de sus instalaciones, integrando vertical y horizontalmente sistemas de información de data e interfases como los sistemas de control de procesos físicos a través de dispositivos y sistemas.

Con estos sistemas integrados se busca que los procesos y los trabajadores estén involucrados en diversas tareas como actores dentro de un sistema de trabajo socio tecnológico permitiendo un desarrollo personal, espacio libre de riesgos, de impactos negativos hacia el trabajador integrando lo sensorial y antropológico del propio sistema. Salimbeni (2021). Nuñez (2023) opina que los Ingenieros Industriales deben estar preparados en cuanto a principios y técnicas propias de sus disciplinas; manejando últimas tecnologías y sistemas de gestión. Acentúa que el desarrollo conlleva el despliegue de una serie de combinaciones de tecnologías emergentes, de impacto como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), garantizando la resiliencia y eficiencia dentro de la cadena de suministro.

El Ingeniero industrial es clave en la implementación de tecnologías de avanzada IoT, IoIT e IA, en la Industria 4.0 y 5.0 desarrollando habilidades técnicas y de gestión. Liderar equipos multidisciplinarios y adaptarse a entornos empresariales en constante cambios. Ser resilientes con los retos y complicaciones emergentes causados por factores externos y continuar su labor.

El Profesional de Ingeniería Industrial debe desarrollar habilidades en análisis de datos, ciberseguridad, robótica y gestión de la cadena de suministro. Deben empatizar con sus colaboradores, adaptarse a los cambios, tener pensamiento creativo, crítico y ecológicamente inteligente para estar alineados a las nuevas demandas del mercado laboral actual, desarrollando ventajas competitivas de acuerdo a estas nuevas exigencias.

Conclusiones

El recorrido histórico analizado, desde la Primera Revolución Industrial hasta la emergente Industria 5.0, evidencia una trayectoria no lineal sino dialéctica: de la mecanización a la racionalización científica, luego a la flexibilidad esbelta, después a la digitalización sistémica y, finalmente, a una síntesis que busca rehumanizar la tecnología. Cada etapa ha dejado una huella profunda y duradera en el diseño de plantas y almacenes, que evoluciona desde espacios rígidos, jerárquicos y orientados exclusivamente a la eficiencia física, hasta entornos inteligentes, adaptativos, colaborativos y centrados en las personas.

A partir del análisis realizado, se formulan las siguientes conclusiones:

1.- El diseño de plantas industriales es un reflejo directo del sistema de producción adoptado. No constituye una decisión meramente técnica o de ingeniería de métodos, sino una decisión estratégica de negocio que debe alinearse coherentemente con el paradigma productivo elegido integrando saberes de la ingeniería de métodos, objetivos competitivos de la organización y características de su fuerza laboral.

2.- La Industria 4.0 ha proporcionado un conjunto poderoso de herramientas tecnológicas (IA, IoT, simulación, gemelos digitales, robótica) que permiten niveles de optimización, control y flexibilidad antes inimaginables. Sin embargo, la tecnología por sí sola no garantiza el éxito.

3.- La Industria 5.0 facilita el propósito y la orientación ética: la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano se constituyen ahora como criterios de diseño tan importantes como la productividad y la rentabilidad.

4.- El perfil del ingeniero industrial del futuro inmediato debe ser necesariamente híbrido y multidisciplinario. Requiere: (a) dominio sólido de los principios y técnicas clásicas (estudio de tiempos y movimientos, distribución de planta, manejo de materiales), (b) competencias tecnológicas avanzadas (análisis de datos, ciberseguridad básica, manejo de software de simulación y diseño asistido, comprensión de IoT e IA), y (c) habilidades transversales o "blandas" (empatía, liderazgo adaptativo, pensamiento crítico, inteligencia ecológica, capacidad de trabajo en equipos diversos y resiliencia personal).

5.- En contextos con limitaciones tecnológicas, de conectividad y de recursos como el venezolano, el desafío es doblemente exigente. Se debe fomentar la creatividad, la inventiva y la ingeniería de bajo costo para desarrollar soluciones apropiadas y contextualmente viables. Por otro lado, no se puede perder de vista la dirección de las tendencias globales, formando a los profesionales locales en los principios y metodologías de la Industria 4.0/5.0, aunque sea de manera simulada o con recursos limitados, para evitar un rezago tecnológico insalvable.

Finalmente, se concluye que la transición hacia los principios de la Industria 5.0 no es una opción decorativa o de moda pasajera para las empresas que aspiran a la excelencia sostenible; es una necesidad imperativa y estratégica en un mundo caracterizado por la incertidumbre, la competencia global y las crecientes demandas sociales y ambientales. El diseño inteligente, humanocéntrico y resiliente de plantas y almacenes, anclado en la comprensión profunda de la evolución de los sistemas de producción, se constituye como un factor diferenciador clave para el éxito empresarial en el siglo XXI.

REFERENCIAS

Acevedo Juan (2018). Diseño planta industrial (fábrica de yogurt) Diseño de Plantas Industriales. Visual 3D Layout Sketchup. [Video] Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=9CepY4wHjQk.

Autodesk (2018). Factory design utilities overview. Team D3. [Video] Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=c1UO6mLSmEk.

Autodesk Factory (2011). 3d visual layout with factory design suite. [Video]. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=8MeHL0j-oKE

Burgos V. Fernando (2009). Ingeniería de métodos. Calidad y productividad. 4ª reimpresión de la 2ª edición. Editado por la Dirección de Medios y Publicaciones de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Burrus Daniel (2024). Cutting-edge to and efficiency. ai tool recommendations boost your productivity. Burrus Research. [Pag Web]. Recuperado de: https://www.burrus.com/

Carro P. Roberto y González G. Daniel (2024). El sistema de producción y operaciones. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Nacional de Mar del Plata [PDF] https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1606/1/01_sistema_de_produccion.pdf

Combita Diana (2015). Diseño de plantas industriales usando autodesk. [Video]. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=YNuM8ZN4xbQ

Feixas Josep (2022). Los tres pilares de la industria 5.0. Actualidad y noticias de informática y tecnología
blog inforolot. España [Blog].Recuperado de: https://www.inforolot.com/los-tres-pilares-industria-5-0/

FlexSim (2024). Procesos logísticos picking en el centro de distribución con flexsim. [video]. © 1993-2024 FlexSim Software Products, Inc. Todos los derechos reservados.
https://www.youtube.com/watch?v=2P1kDFKoFAs&list=PLPvTU39UMH0 H74X5-OdZKOPhedS21QDkc

FORD MOTOR COMPANY (2024). Henry Ford biography. Ford Motor company founder. Artículo en Página Web. Recuperado de https://corporate.ford.com/articles/history/henry-ford-biography.html

García L. María C. y Silva E. José R. (1996). Aplicación de la ingeniería de métodos en una empresa maderera. [TEG]. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial. Valencia, Venezuela.

Gómez & Nuñez (1997). Plantas industriales (aspectos técnicos para el diseño). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniaría Industrial. Primeva Revisión.

Grupo Garatu (2018): ¿Qué es y qué aporta la Industria 4? [Blog]. Grupo Garatu. IT Solutions. 15 Septiembre, 2018. Recuperado de: https://grupogaratu.com/que-es-y-que-aporta-la-industria-4-0/

Neffa Julio C (2023). Intensificación del trabajo y cambio de su sentido: consecuencias del nuevo modo de

desarrollo. CEIL-CONICET- Argentina. https://orcid.org/0000-0002-6664-6010

Neffa Julio C (1999). Crisis y emergencia de nuevos modelos productivos. Los retos teóricos de los estudios del trabajo hacia el siglo XXI. Editorial: CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. Buenos Aires. Recuperado de http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/clacso/gt/20101102030206/5neffa.pdf

Núñez Anel (2023) Experiencias en gerencia financiera: preparación para la industria 5.0 del ingeniero industrial. Revista Honoris Causa. Universidad Yacambú .Vol. 4 N° 2.Julio - Diciembre 2023| ISSN: 2244-8217 / ISSN-L: 2244-8217. Recuperado de: https://revista.uny.edu.ve/ojs/index.php/honoris-causa/article/view/326/393

Pagethink (2023). Industria 5.0 y su impacto en el diseño de espacios industriales. [Blog] 29 de Noviembre de 2023. Recuperado de: https://pagethink.com.mx/blog/single/industria-5-0-y-su-impacto-en-el-diseno-de-espacios-industriales

Rehse, J.-R., Dadashnia, S. and Fettke, P. (2018). Business process management for Industry 4.0 – Three application cases in the DFKI Smart Lego Factory. Information Technology: IT, 60, 133–141.

Salimbeni Sergio (2021). Humans and work in the Digital Factory: Designing the work organization. Conference: First Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Harbin, China, July 9-11, 2021 ISSN: 2169-8767.At: Hrbin, China. Affiliation: Universidad del Salvador. Recuperado de: DOI:10.13140/RG.2.2.32272.74243

Salimbeni Sergio (2019). La industria 4.0 y el futuro del ingeniero industria. Research Institute of Science and Technology. Chair and Full Professor Ind.5.0. Linkedin [BLOG]. 8 Febrero 2019. Recuperado de: https://es.linkedin.com/pulse/la-industria-40-y-el-futuro-del-ingeniero-industrial-sergio

Shingo, S. (1989). A study of the Toyota production system: from an industrial engineering viewpoint (Rev. ed.). Productivity Press. DOI: 10.4324/9781315136509.

SPC Consulting Group. (2012). Las 7 herramientas básicas de la calidad. Artículo en línea. [HTML].SPC Consulting Group. Página Web https://spcgroup.com.mx/7-herramientas-basicas/

Taylor, F. (1977). Principio de la administración científica. México: HERRERO HERMANOS.

Taylor, F. W. (1973,1911). Principles of scientific management. Principios de la administración científica. Editorial Ateneo: Buenos Aires, Edición 1973.

The W. Eduard Deming Institute (2024). Deming the man. Artículo Biográfico HTML. Recuperado de: https://deming.org/deming-the-man/

Velázquez Mastretta G. (1996). Administración de los Sistemas de Producción Editorial Limusa S.A. México. Recuperado de: http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/05709.pdf

Fecha de recepción: 05 de marzo de 2025

Fecha de aceptación: 20 abril de 2025