



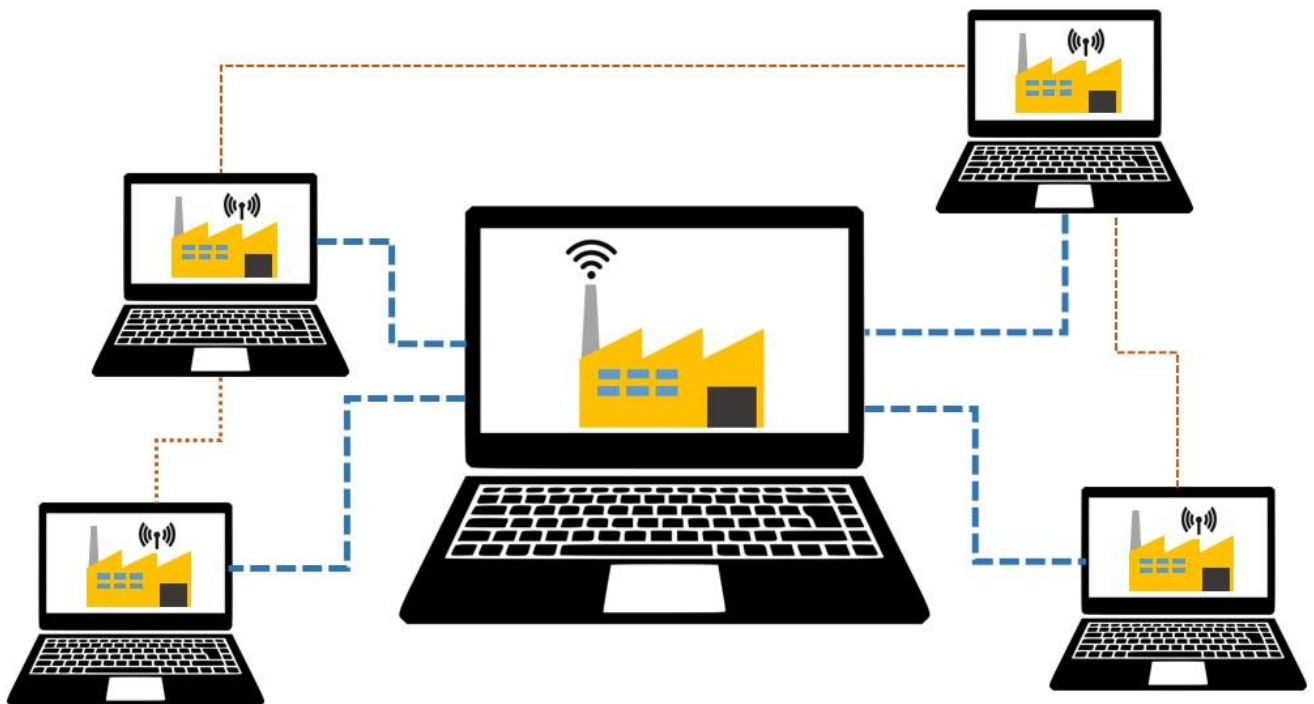
Universidad nacional de La Plata
Facultad de Ingeniería

Área Departamental Mecánica

Cátedra Proyecto Integral de Plantas I

4^{ta} REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: INDUSTRIA 4.0

Autor: Ing. Pablo Moreda



Año 2020

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS	3
¿POR QUÉ SE HABLA DE 4ta REVOLUCIÓN?	4
4ta REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	5
NUEVOS CONCEPTOS	6
PRODUCTOS – VALOR – PROPIEDAD.....	6
LA FÁBRICA INTELIGENTE y MANUFACTURA DISTRIBUÍDA.....	7
INDUSTRIA 4.0 y LEAN MANUFACTURING	9
NOTAS FINALES	10
BIBLIOGRAFÍA	11

INTRODUCCIÓN

El presente artículo no pretende rendir tributo a la tecnología digital, ni abrir juicios de valor sobre la aplicación de las mismas. Tampoco aventurar los resultados que su implementación pueda producir. Tan sólo presenta los cambios de paradigmas que se están generando a nivel mundial respecto de la manufactura y la organización industrial en general, para dotar de herramientas a los y las futuros y futuras profesionales de la Ingeniería. Caso contrario, como dice el Ing. Juan Sacco¹, “*estaremos enseñando La Historia de la Ingeniería*”.

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

“Un cliente puede tener su automóvil del color que desee, siempre y cuando sea negro”

Henry Ford

Esta frase de Henry Ford, asociada a su modelo T (1908), sintetiza y fundamenta los principios de la “Producción en Masa” (2da revolución industrial), basada en los estudios realizado por F. Taylor y el propio Ford sobre división del trabajo y aplicación de métodos científico al estudio del mismo.

La Ingeniería de Manufactura ha buscado adaptar los métodos de fabricación a los contextos socio-económicos en los cuales las empresas desarrollan sus actividades. Es así como se pasó de la producción artesanal (talleres) a la producción en masa y posteriormente a la producción ajustada o esbelta (Lean Manufacturing). Basada, esta última, en el sistema creado por Taiichi Ohno en la década de 1960, conocido vulgarmente como “Toyotismo”, y luego extendido a todo el mundo bajo el concepto de Lean Manufacturing introducido por James P. Womack y Daniel Jones en la década de los ´80s.

En la actualidad ya se habla de la **Industria 4.0**, y se la considera **4ta Revolución Industrial**. La misma se sustenta en las nuevas tecnologías de generación, procesamiento y transmisión de datos e información: Big Data, Internet de las Cosas (I.O.T), Cloud Computing (la Nube), Cadena de Bloques (Blockchain), Realidad Aumentada, Fabricación Aditiva (impresión 3D), Robótica Colaborativa, Biología Sintética, Simulación de Entornos Virtuales. Tecnologías que se explicarán más adelante.

En la siguiente figura se puede observar la evolución de los sistemas de producción a lo largo del tiempo. Es importante notar que tuvieron que pasar alrededor de 100 años para que se produjera una 2da. revolución industrial y luego un período similar para una 3ra. Mientras que entre la 3ra. y 4ta. pasaron apenas 41 años.

¹ El Ing. Juan Sacco se desempeñó como titular de la asignatura Instalaciones Electromecánicas, luego convertida en Proyecto Integral de Plantas, hasta su jubilación en el año 2012

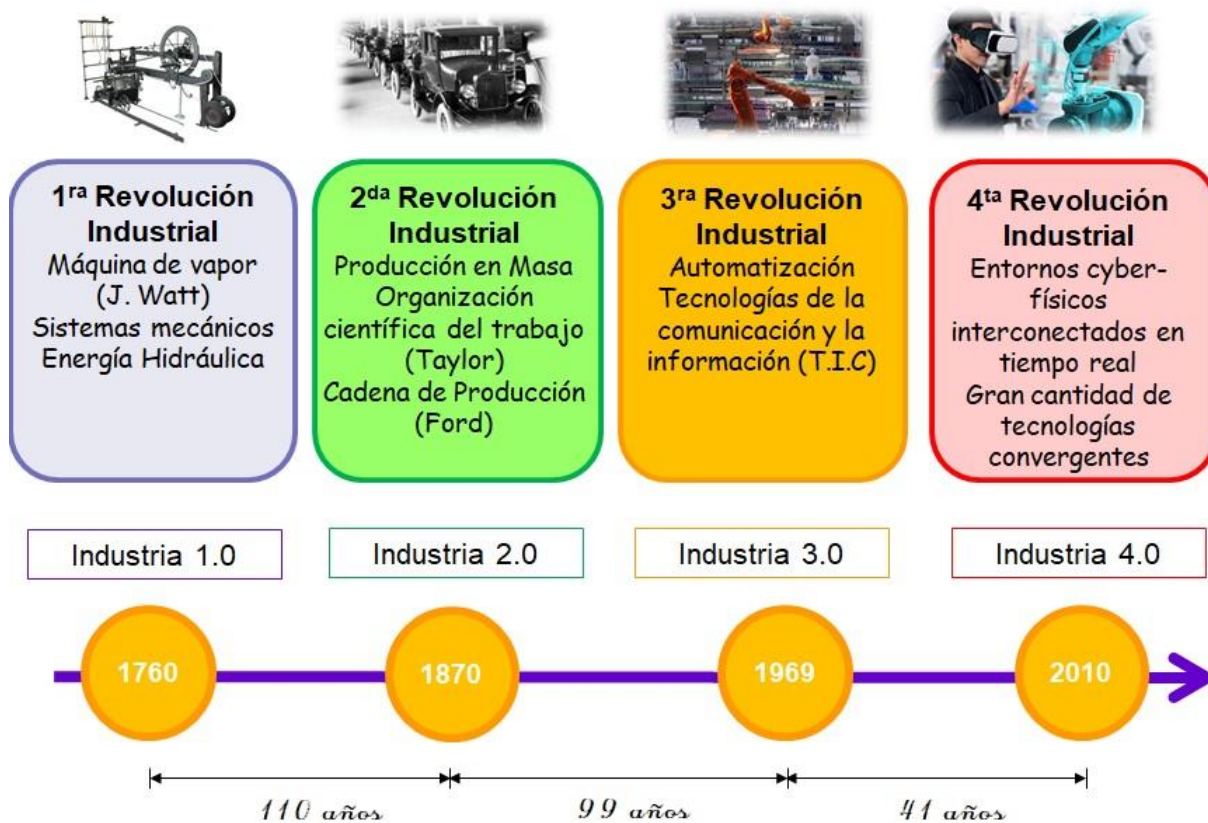


Fig. n° 1 – Evolución de los sistemas productivos.

¿POR QUÉ SE HABLA DE 4ta REVOLUCIÓN?

La utilización de tecnologías por parte de la humanidad para satisfacer las necesidades surgidas de la vida cotidiana, con la promesa de hacerla cada vez mejor, ha sido una constante a lo largo de su evolución.

Más entrados en la modernidad y en su carácter de organización económica, se ha procurado responder lo más rápidamente posible a esas necesidades y lograrlo de forma rentable.

El empleo de la electrónica, la automatización, los sistemas computacionales aplicados a la industria tiene ya unos cuantos años. Entonces, ¿por qué se habla de una nueva Revolución Industrial?

No son las herramientas ni las tecnologías empleadas, muchas de las cuales ya existían, lo que las definen como una Revolución, sino su carácter disruptivo: la convergencia en la aplicación de las tecnologías para convertir los entornos físicos en **ciberfísicos** integrados en redes y la velocidad con que se producen estas transformaciones ha provocado un cambio radical de paradigmas. Se redefinen los modelos de negocios, la relación con los clientes, los factores que definen la ubicación geográfica de las empresas, el concepto de producto, su diseño y ciclo de vida (hoy se habla de producto-plataforma, productos “inteligentes”), la forma en que se fabrica y distribuye, y las finanzas (aparece el concepto de “**Fintech**”). Surge la necesidad de definir nuevos estándares en todas las actividades de la empresa y de seguridad (**ciberseguridad**).

4ta REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La 4ta Revolución Industrial se caracteriza por la transferencia y procesamiento de una gran cantidad de datos (**Big Data**), la digitalización de los entornos productivos y su conectividad.

Los pilares tecnológicos sobre los que se sustenta son los siguientes:

Sistemas de Integración: permiten la comunicación entre las diferentes áreas de una empresa: máquinas con máquinas (M2M), máquinas con productos, productos con personas, aunque no se encuentren dentro del mismo espacio físico; y de ésta con los distintos eslabones de la cadena de valor a través de plataformas digitales. Tecnología como “**Internet de las cosas**” (**IoT**) hacen esto posible.

Robótica colaborativa: utilización de robots no sólo realizando tareas rutinarias o peligrosas, sino colaborando en tareas junto con las personas en el mismo entorno físico. Robots que no sólo son capaces de realizar una tarea repetitiva sino con capacidad de “aprender”.

Manufactura Aditiva: permite obtener productos o prototipos por la adición de capas de material (polímeros, metales, células madre), sin necesidad de generar moldes o “lotes de prueba” usando maquinaria específica. La **impresión 3D** permite acortar los tiempos de diseño y fabricación, fabricar piezas únicas o en muy pequeños lotes, descentralizar la fabricación.

Simulación de entornos virtuales: los entornos en los que interactúan personas, máquinas y productos pueden ser modelados y simulados de manera virtual. Esto permitiría anticipar riesgos, fallas y averías, reduciendo los costos asociados a los procesos de aprendizaje por prueba y error.

Realidad aumentada: mediante tecnologías de digitalización es posible generar objetos digitales entorno al objeto material para ampliar la información sobre el mismo, realizar simulaciones, capacitar personal simulando las condiciones de la planta, entre otras.

Inteligencia artificial (IA): a través de algoritmos computacionales se procesan una gran cantidad de datos a una altísima velocidad. Los algoritmos se nutren de datos y experiencias recientes y se van perfeccionando, logrando un proceso de “aprendizaje” que les otorga capacidad para tomar decisiones (**redes neuronales**).

Computación en la nube (Cloud Computing): la gran cantidad de generación, transferencia, procesamiento de datos e información (**Big Data**) y la necesidad de disponerlos de manera inmediata en distintas ubicaciones geográficas requiere de sistemas de computación de gran capacidad y robustez. “La Nube” provee servicios de almacenamiento y acceso a datos y software desde diferentes dispositivos, ahorrando la necesidad de tener un servidor alojado en la empresa y haciendo más ágil la transferencia de datos.

Ciberseguridad: lo anterior obliga a contar con nuevos protocolos de seguridad informática. Tecnologías como la **Cadena de Bloques (blockchain)** hacen posible esto (es la utilizada por las criptomonedas).

Drones, sensores inteligentes, sistemas de localización, son algunas de las soluciones tecnológicas que se suman a las anteriormente descritas.



Fig. n° 2 – La Industria 4.0.

NUEVOS CONCEPTOS

Tal como se ha mencionado, las nuevas tecnologías obligan a redefinir lo que hasta el momento se entendía por: producto, generación de valor, cadena de valor, naturaleza de la demanda, procesos de fabricación. Haciendo necesario un cambio en el *modelo de negocio*.

Veamos cómo evolucionaron algunos de estos conceptos:

PRODUCTOS – VALOR – PROPIEDAD

Tradicionalmente, el producto era un objeto material obtenido a partir de la transformación de materias primas a las que se les conferían determinados atributos que eran valorados por los consumidores, en una acción que se definía como *creación de valor*.

Esa "*materialidad*" era lo que lo diferenciaba de los Servicios. Dando origen a empresas proveedoras de Productos (fábricas) y empresas proveedoras de Servicios.

En la actualidad, la incorporación de sensores inteligentes, transforman al producto de un objeto "tonto" a un dispositivo "inteligente", con capacidad de comunicarse con otros productos, posibilitando su personalización y dotándolo de nuevas funciones, por ejemplo, mediante aplicaciones, "apps", que se

descargan de la plataforma del proveedor. Se diluye, de esta manera, la diferencia entre *producto* y *servicio*. Creándose un nuevo concepto: el de **producto-plataforma**. El ejemplo más cotidiano es el teléfono celular: un dispositivo cuya función original era poder comunicarse telefónicamente desde cualquier lugar donde el propietario o propietaria se encontrase, se ha convertido en una “caja de herramientas”: apps que registran cuántos kilómetros corrí e informan cuántas calorías consumí; funciones de G.P:S, hacer trámites bancarios, intercambiar documentos, entre otras muchas aplicaciones.

Estos cambios hacen que los productos, como tradicionalmente los concebimos, pierdan su carácter de objeto de valor por “peso propio” y se transformen en un medio para acceder a información y nuevas experiencias. La generación de valor en los modos tradicionales se vuelve cada vez más difícil para los fabricantes que tienen a ésta como su principal estrategia para ser competitivos. No basta con hacer cada vez “mejores productos” en el sentido físico, material del término.

De aquí surge la necesidad de preguntarse: ¿quién crea valor? Y ¿quién se beneficia con él? Las respuestas a estos interrogantes constituye el nuevo desafío para los fabricantes de productos: pasar de “*generar valor para el cliente*” a “**capturar el valor generado por el uso del producto**”. Esto se podría interpretar en dos niveles:

- 1) Aprovechar el valor que tiene un producto, para generar otro nuevo. Por ejemplo, el valor que brinda Nextflit a sus usuarios se sustenta en el valor que tiene el dispositivo físico llamado televisor que permite disfrutar de contenidos audiovisuales en alta definición.
Otro ejemplo podría ser: desarrollar aplicaciones para determinados dispositivos, por ejemplo, Android
- 2) Recoger las experiencias de los usuarios en el uso del producto para añadirle nuevas funcionalidades al mismo o crear productos nuevos. De esta manera se estaría “capturando” lo atributos que los clientes valorarían que tuviera el producto. El cliente deja de ser sólo un usuario e interviene el proceso de creación del producto: **co-creación**.

En este contexto, se produce un desplazamiento del concepto de propiedad como posesión del objeto al de **propiedad al acceso**. Para ilustrar este concepto se puede pensar en la industria de la música: muchas personas han pasado de tener en su casa la música de su preferencia, por ejemplo en CD, a tener acceso a ella a través de plataformas como Spotify o YouTube. Con los libros pasa algo similar.

En otro rubro de la industria, la división de General Electric dedicada a la fabricación de motores de aviones, cuya vida útil ronda los 30 años, ha cambiado su modelo de negocio y ya no vende motores, sino que vende las horas de uso de esos motores. Esto le permite al fabricante estar cerca de su producto y de su cliente, para mejorar continuamente sus prestaciones y funcionalidades, además de tener un flujo de ingresos por toda la vida útil del producto².

LA FÁBRICA INTELIGENTE y MANUFACTURA DISTRIBUÍDA

La aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 revierte la lógica del proceso de producción convencional: las máquinas ya no ‘procesan’ el producto, sino que es el producto que se comunica con la máquina para decirle exactamente qué hacer. Ejemplos de esto son la impresión 3D y los sistemas C.I.M (Computer Integrated Manufacturing), donde a partir del diseño del producto en 3D y mediante aplicaciones

² Basco Ana Inés, Beliz Gustavo, Coatz Diego, Garnero Paula – “Industria 4.0: fabricando el futuro” – Ciudad Autónoma de Buenos Aires – julio 2018

del mismo software, se transforma el modelo en un programa entendible por la máquina que lo va a fabricar (por ejemplo en código G). El programa es enviado desde la computadora a la máquina por los diferentes sistemas de conectividad. De este modo, el producto se fabrica a partir de un programa surgido de su propio diseño; es decir, sin la intervención de una persona que haga el “programa de pieza”.

Como se expresó anteriormente, esta tecnología no es nueva; pero funcionaba de manera restringida al área de producción de la empresa. Lo novedoso es que ahora se integra junto a otras tecnologías para abarcar la totalidad de las operaciones, e incluso, redefinir su modelo de negocio.

Por ejemplo, una *empresa* ofrece sus productos de diseño exclusivo a través de su página web. El potencial *cliente* escoge el modelo de su preferencia. Luego la *empresa* “encarga” la fabricación del producto al *fabricante* más cercano al domicilio del cliente. El *fabricante* descargará el diseño del producto escogido por el *cliente* de la plataforma de la *empresa*, lo fabricará y lo entregará.³

Surge así el concepto de **Manufactura Distribuida** donde la producción no se centra en un sólo ámbito sino que se distribuye en pequeños productores trabajando en red, lo cual les permite lograr escala para competir con las empresas líderes: Las barreras que imponía la necesidad de crear empresas de gran tamaño para alcanzar una economía de escala y las elevadas inversiones en capital inicial, dejaron de ser una ventaja competitiva con la que contaban las grandes Compañías. Hoy en día, muchas de las grandes empresas se están asociando a emprendedores y pequeñas empresas locales (startUp) para que desarrollen y fabriquen nuevos productos (*ecosistemas de innovación local*); aprovechando la rapidez y flexibilidad que les otorga su estructura organizacional pequeña y las posibilidades que les brindan las nuevas tecnologías. Además, de este modo, se reducen los gastos asociados a stocks (materia prima, producto terminado) y logística; y los niveles de inversión requeridos en infraestructura⁴. Logrando así lo que se denomina “**Economía de la Cadena de Valor**”.

En la Fábrica Inteligente, además de sistemas integrados, robótica colaborativa, internet de las cosas, se debe contar con **modelos predictivos**, en contraposición a los tradicionales modelos preventivos, los cuales haciendo uso de **algoritmos** puedan procesar una gran cantidad de datos para anticiparse a los comportamientos del mundo real. Por ejemplo, predecir cuándo se producirá la falla de un equipo y pararlo en el momento preciso y no en cualquier momento de manera preventiva. Reduciendo así los tiempos de interrupción por mantenimiento.

³ Para ilustrar se puede visitar:

<https://www.opendesk.cc/open-making/our-model>

<https://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/167135-Axoom-allana-el-camino-hacia-el-Internet-de-las-cosas-a-los-fabricantes-de-maquinaria.html>

<https://www.etsy.com/es/?ref=lgo>

⁴ John Hagel III, John Seely Brown, Duleesha Kulasoorya, Craig Giffi, Mengmeng Chen – “EL FUTURO DE LA MANUFACTURA. Fabricando Cosas en un mundo cambiante” – Delloite University Press - <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/manufacturing/Futuro-Manufactura-Espanol.pdf>

INDUSTRIA 4.0 y LEAN MANUFACTURING

Esta nueva revolución tecnológica parece haber provocado la obsolescencia de los conceptos aprendidos hasta ahora sobre la Ingeniería de Manufactura: cómo diseñarla y gestionarla. En particular, podría pensarse que la filosofía de Lean Management y sus herramientas, fueran cosas del pasado.

Personalmente considero que Lean Manufacturing realmente constituyó una revolución conceptual que claramente se oponía a los principios sostenidos por la producción en masa, cambiando la forma de concebir y administrar los sistemas de producción⁵.

Dicha revolución no estaba sustentada en avances tecnológicos. Muy por el contrario, proponía simplificar la producción: reemplazar las grandes máquinas, altamente automatizadas, por otras más pequeñas; evitar la automatización en aquellas áreas en las cuales su existencia hiciera perder flexibilidad, y restringirla sólo a las operaciones donde fuera necesaria para crear valor para los clientes y reducir el lead time; transformar las largas líneas de producción en células de trabajo.

Como sostiene Lluís Cuatrecasas, presidente del Instituto Lean Management de España: *Con el Lean Management se rompe con el paradigma de elegir las máquinas de acuerdo a su mayor capacidad. La capacidad de producción ya no es lo más importante: en lugar de primar la cantidad de producto por unidad de tiempo, interesa la cantidad de tiempo por unidad de producto, de forma que se ajuste a la velocidad que exige la demanda y no a la máxima posible*⁶.

Los factores que dieron origen a la *Manufactura Esbelta*: menores plazos de entrega, respuesta flexible, producción orientada a la demanda, oferta de gran variedad de productos con altos estándares de calidad, etc.; no han cambiado, cuanto mucho se han intensificado y siguen constituyendo el desafío para los profesionales encargados de desarrollar e implementar la ingeniería de manufactura en las empresas.

Por lo anteriormente expuesto, podría decir que el Lean no ha muerto. Habrá que encontrar la complementariedad entre éste y la abrumadora revolución tecnológica que impone la Industria 4.0.

Algunos autores consideran que para asegurar buenos resultados en la transformación hacia la “Fabrica Inteligente”, previamente se debe haber eliminado los “desperdicios”, alcanzado una producción en flujo, sin interrupciones; orientada a los procesos y no a las operaciones; tener implementados procesos de Mejora Continua (Kaisen) y un sistema de gestión con foco en el cliente. Todos éstos, principios del Lean Management.⁷ De aquí surge un nuevo concepto: **Lean Industry 4.0**⁸

⁵ Ver: Moreda P. – “Ingeniería de Manufactura” - Apunte Cátedra Proyecto Integral de Plantas I y II – mayo 2020.

⁶ Cuatrecasas Lluís – “Máquinas, automatización y robots en el lean management (1)” – 18 mayo 2017- Newsletter publicado en <https://www.mylean.org/articulos/3613-articulosilm/270-maquinas-automatizacion-y-robots-en-el-lean-management-1>

⁷ Picchi F. y Thompson C.- “¿Por qué necesitas un pensamiento Lean en tu transformación digital? – 02 febrero 2020 - <https://www.mylean.org/articulos/3614-articuloslgn/946-200202-picchi>

⁸ Daniel Küpper , Ailke Heidemann , Johannes Ströhle , Daniel Spindelndreier , and Claudio Knizek – “When Lean meets Industry 4.0. The next level of operational excellence” – 14 diciembre 2017 - <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0.aspx>

NOTAS FINALES

Si bien la 4ta Revolución Industrial se inició hace una década, su desarrollo no ha sido igual en todos los países y en todos los sectores industriales. Países como Alemania, China, Japón, Estados Unidos, parecen liderar el desarrollo de la Industria 4.0; algunos autores consideran también al Reino Unido y a Suecia. En Argentina su desarrollo es incipiente; pero todos en mayor o menor medida convivimos con algunas de las tecnologías descritas.

Mientras escribo estas notas, el mundo está bajo los efectos de la pandemia del Covid19. El mundo en general está en cuarentena, lo que ha acelerado el proceso de digitalización de las empresas e instituciones.

Los efectos que producirá esta transformación en las comunidades, el medio ambiente y en la relación entre países, no los podemos evaluar aun. Se puede augurar que serán buenos o malos; lo que creo que no podemos es desconocerlos. Como dice Eric Hoffer⁹:

“En tiempos de cambio, quienes estén abiertos al aprendizaje se adueñarán del futuro, mientras que aquellos que creen saberlo todo estarán bien equipados para un mundo que ya no existe”

⁹ Eric Hoffer, escritor y filósofo estadounidense.

BIBLIOGRAFÍA

Basco Ana Inés, Beliz Gustavo, Coatz Diego, Garnero Paula – “Industria 4.0: fabricando el futuro” – Ciudad Autónoma de Buenos Aires – julio 2018

Cuatrecasas Lluís – “Máquinas, automatización y robots en el lean management (1)” – 18 mayo 2017- Newsletter publicado en <https://www.mylean.org/articulos/3613-articulosilm/270-maquinas-automatizacion-y-robots-en-el-lean-management-1>

Hagel III J., Seely Brown J., Kulasooriya D., Giffi C., Chen M. – “EL FUTURO DE LA MANUFACTURA. Fabricando Cosas en un mundo cambiante” Delloite University Press - <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/manufacturing/Futuro-Manufactura-Espanol.pdf>

Küpper D. , Heidemann A. , Ströhle J. , Spindelndreier D. , and Knizek C. – “When Lean meets Industry 4.0. The next level of operational excellence” – 14 diciembre 2017 - <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0.aspx>

Moreda P. – “Ingeniería de Manufactura” - Apunte Cátedra Proyecto Integral de Plantas I y II – mayo 2020.

Picchi F. y Thompson C.- “¿Por qué necesitas un pensamiento Lean en tu transformación digital? – 02 febrero 2020 - <https://www.mylean.org/articulos/3614-articuloslgn/946-200202-picchi>