



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ingeniería
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA

“PROYECCIONES DE IMPACTO Y ALCANCE DEL NUEVO
MODELO DE PRODUCCIÓN INTEGRAL DE LA INDUSTRIA
4.0: EMPLEO Y COMPETITIVIDAD”

TESIS

Que para obtener el título de:

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

Presenta:

RAMOS HERRERA VÍCTOR MANUEL

Asesor de tesis:

DR. JUAN ANTONIO LÓPEZ CUAUTLE

Co-asesor de tesis:

M. C. GUILLERMO FLORES MARTÍNEZ

Puebla, Pue.

Noviembre 2018

Índice

Abstracto	5
I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. Análisis teórico	7
i. Procesos integrales	7
ii. Aprovechamiento de los datos y evolución de los procesos automatizados	7
III. Contraste histórico.....	8
i. Factor humano: economía basada en el conocimiento	8
IV. Planteo.....	9
i. Retos de la digitalización en la manufactura y la automatización.....	9
ii. Oportunidades de colaboración: factor humano-máquina.....	9
V. Objetivo general.....	10
VI. Objetivos específicos	10
VII. Hipótesis	11
VIII. Impacto y alcance	11
i. ¿De qué manera el manejo de la información, y la implementación de herramientas de análisis en la manufactura y la automatización, cambiará la economía de las empresas y la sociedad en el futuro?.....	11
CAPÍTULO 1. EVOLUCIÓN DEL MODELO PRODUCTIVO Y LA FUERZA DE TRABAJO	13
1.1 Información: activo de gran valor.....	15
1.1.1 Sociedad informacional	15
1.1.2 Economía informacional.....	16
1.2 Tecnologías de la Información (IT).....	17
1.2.1 Revolución tecnológica: IT	17
1.2.2 Interconexión: sociedad y tecnología.....	22
1.3 Industria conectada	23
1.3.1 Modelo productivo flexible	24
1.3.2 El “sistema Toyota” sustentado en el Kan-ban.....	25
1.3.3 Procesos integrados: el nuevo modelo productivo	26
1.4 Factor humano: reorganización laboral	28
1.4.1 Teoría postindustrial	28

1.4.2	El nuevo modelo productivo y su impacto en la reorganización laboral.....	30
1.4.3	Evolución de las habilidades y el futuro de la fuerza de trabajo	32
1.4.4	Rol del operador en la industria 4.0.....	34
CAPÍTULO 2. DIGITALIZACIÓN INDUSTRIAL		36
2.1	Pilares tecnológicos de la industria conectada.....	37
2.1.1	Análisis de datos “Big data”	37
a.	Big data para la manufactura.....	38
b.	¿Qué analizar?.....	39
2.1.2	Machine-to-Machine	40
2.1.3	Automatización inteligente	41
2.1.4	Campo de aplicación	42
2.2	Integración industrial.....	43
2.2.1	Niveles de integración.....	43
2.2.2	Infraestructura.....	45
a.	Data center	45
b.	Distribución	48
i.	Energía	49
ii.	Refrigeración.....	50
iii.	Equipo de IT.....	51
a.	Equipo de red.....	51
b.	Servidores y storage	52
c.	Cloud Computing	54
2.2.3	Niveles de control.....	55
2.3	Análisis de implementación.....	57
CAPÍTULO 3. PROYECCIONES.....		63
3.1	Futuros escenarios para la industria.....	63
3.2	Alcance e impacto.....	66
3.2.1	Adopción	68
3.2.2	Viabilidad Técnica.....	69
3.3	Conclusiones	70

Infografia	75
Bibliografia	82

Abstracto

Durante años, la información ha sido el motor de productividad y crecimiento que ha conectado a sociedades y economías; acortando así, las grandes brechas de integración que han existido en el mundo.

Esto ha dado paso a una nueva era que se centra en lograr interconectar globalmente todas las actividades económicas; en donde la industria, impulsada principalmente por la tecnología, se ha desarrollado en torno a un nuevo paradigma tecno-social informativo que ha redefinido su modelo productivo y su estructura organizacional.

También conocida como industria 4.0, integral o conectada; este nuevo modelo logra interponer las prioridades principales de la manufactura a través de un modelo de producción flexible y sistémico, que, está sostenido por pilares tecnológicos de gran referencia en la actualidad como lo son: la fabricación aditiva, la inteligencia artificial, la robótica, la automatización inteligente, el análisis de datos big data, internet of things, cloud computing y la realidad aumentada.

El presente trabajo de investigación, pretende determinar de manera histórica el desarrollo de esta era, desde el surgimiento del informacionalismo, la evolución de las tecnologías de la información, el planteamiento de modelos productivos y su tendencia frente al trabajo. Asimismo, de manera descriptiva analizar la industria conectada; soluciones, implementaciones, integración y un análisis comparativo de infraestructura.

Finalmente poder proporcionar una proyección del impacto y alcance de la industria integral, con una breve mirada al futuro del trabajo, competitividad y productividad de México.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de producción se han modificado como resultado del impacto de la cuarta revolución tecnológica, también llamada industria 4.0; con base en ello, hoy la manufactura ha implementado innovadoras tecnologías operativas basadas en el análisis de datos, virtualización, monitorización, modularización y digitalización de procesos; optimizando los recursos y operaciones; dejando un resultado económico favorable en la planeación y ejecución de proyectos; lo que ha generado que el valor agregado a la cadena de producción, se sustente en el conocimiento.

La documentación e información ha tenido un alto impacto en la industria, además ha sido base de la reorganización de las estructuras sociales, económicas y productivas; es por esto, que la clara interpretación de los datos y su adecuado trato, ha considerado que las tecnologías de la información y las herramientas de análisis sean indispensables en el futuro; un futuro casi inmediato, imprevisto de cambios y que ha provocado una rápida adaptación a la implementación tecnológica.

Big data, más allá de solo ser una herramienta de análisis, es un integrador que proporciona la flexibilidad a un modelo de producción que se encuentra en constante cambio; este dinamismo que existe actualmente en la industria, ha creado la necesidad de optimizar todos los niveles de operatividad, impulsada principalmente por el informacionalismo, buscando la inclusión y la interconexión tecnológica-social.

A partir de esto, la industria integral podrá ser considerada un modelo productivo vigente, autosuficiente y con alto nivel de autonomía; es decir, la capacidad de interpretación, análisis, aprendizaje y ejecución de las máquinas, tendrá un alto efecto en la industria; y lo que en referencia se ha dicho, el valor se sustentará en el conocimiento que el factor humano aportará a la cadena productiva.

II. Análisis teórico

i. Procesos integrales

La actual tecnología en control y automatización, y los modernos procesos de fabricación se crearon con el objetivo de tener dominio sobre la programación de activos (maquinaria) y permitir que los procesos puedan funcionar de manera predecible; es decir, si bien esto forma parte de un modelo productivo flexible, no fueron diseñados para poder ser una cadena de IT.

En la actualidad, la manufactura y las actividades industriales deben ser coordinadas e integradas; lo que significa que la implementación de IT, ha modificado la estructura organizativa de la industria, creando así un nuevo modelo productivo que, no solo es flexible, sino que además presenta la característica de interconexión.

Este nuevo modelo, tiene como base el estudio de la información relacionada al tipo y duración de procesos, de esta manera poder dar una interpretación al análisis de datos resultante; permitiendo así, una adecuada administración organizativa y productiva.

De esta integración tecnológica se ha generado una gran ventaja competitiva, modificando la estructura productiva con una visión anticipada a los cambios en la industria, haciéndoles frente con mayor eficiencia y asertividad.

ii. Aprovechamiento de los datos y evolución de los procesos automatizados

El mejoramiento de los procesos automatizados ha implementado herramientas tecnológicas de manejo y administración de datos, convirtiéndolo así en una cadena de IT, con la finalidad de aprovechar la información y aportar un aprendizaje profundo (*Deep Learning*) y aprendizaje automático (*Machine Learning*) a la cadena de producción.

Esta característica en particular es la base de la automatización inteligente, que tiene como objetivo asimilar representaciones de datos con diversos niveles de abstracción y lograr un aprendizaje automático con respuesta autónoma.

III. **Contraste histórico**

i. **Factor humano: economía basada en el conocimiento**

Históricamente, en los procesos productivos y en las cadenas de suministro, los operadores se esforzaban por cumplir con pautas y procedimientos trabajando dentro de un conjunto de parámetros establecidos; actuaban de acuerdo a su capacitación y eran adquirentes de un profundo conocimiento de procesos operativos y sus decisiones se basaban en la experiencia.

En muchos casos la demanda de operadores era demasiada, existía un sistema por proceso/operador enfocando al especialista solo en una tarea; lo que desde un punto de vista significaba algo positivo, en su momento, ya que el operador adquiriría mayor experiencia en ese proceso, una mejor comprensión de las operaciones y un mayor razonamiento para la resolución de problemas; sin embargo, el conocimiento lineal es algo insostenible para la demanda de la competencia global actual.

El factor humano ha cambiado a consideración de la revolución en la industria; la preparación y la adquisición de habilidades técnicas (*Hard Skills*) son insuficientes para lograr competir en el mercado laboral.

En la actualidad, las tareas y responsabilidades de los empleadores son “generalistas”, necesitan una mejor capacidad de análisis, planificación y resolución de problemas, con habilidad de comunicación, gestión y diligencia; a esta característica particular se le denomina: habilidades blandas (*Soft Skills*), hoy en día estas capacidades son vitales en la formación de un personal calificado que pueda hacer frente a los retos que la industria 4.0 demanda.

El uso de herramientas complejas de software, hacen más fácil comprender los errores, predecir y evitar las posibles fallas, aumentar la productividad de la empresa aprovechando el análisis de datos y tomar decisiones objetivas basándose en información en tiempo real.

Asimismo, el rol del operador ha evolucionado, actuando en torno a las nuevas soluciones en sistemas o herramientas de análisis; adaptándose a las necesidades que las empresas requieren para competir en el futuro. De esta manera surge una forma de analizar los procesos.

IV. Planteo

i. Retos de la digitalización en la manufactura y la automatización

Compañías en todo el mundo, han aprovechado la digitalización de los procesos, implementando soluciones de automatización con sistemas de adquisición y procesamiento de datos; los cuales han hecho que los procesos operativos, las maquinarias y las partes tengan la capacidad de replicar acciones humanas y eliminar las tareas repetitivas.

Siendo los datos y la información el activo estratégico más importante, aún siguen existiendo demasiados obstáculos que la industria debe hacer frente para lograr una conexión efectiva entre sus procesos, como lo son los problemas de estandarización e interoperabilidad que limitan la transparencia y el aprovechamiento de información.

ii. Oportunidades de colaboración: factor humano-máquina

De acuerdo a una investigación realizada por *McKinsey Global Institute*, la automatización de los procesos ha aumentado la productividad a nivel mundial de un 0.8 a un 1.4% anual y continuará aumentando a medida en que se apliquen los procesos. Sin embargo, la pregunta es: ¿La automatización reemplazará al factor humano? y ¿Qué oportunidades de colaboración debemos aprovechar?

De ello, un análisis realizado con base en 2,000 actividades laborales en 800 profesiones, más de la mitad de las actividades laborales tienen potencial de automatización (cerca de 15 billones en la economía mundial) y solo 5% de las profesiones pueden ser reemplazadas completamente por la automatización.

Las actividades más susceptibles al remplazo del factor humano son las tareas o actividades que involucran el esfuerzo físico o se desarrollan en entornos estructurados y predecibles (manufactura, alojamiento, industria alimentaria y

A nivel mundial, las actividades automatizables equivalen a **1.1 miles de millones de empleados y \$15.8 billones en salarios**

Ilustración 1. Fuente: A Future that works: automation, employment and productivity. McKinsey Global Institute.

comercio; incluyendo empleos de trabajadores medianamente calificados); esto representa el 51% de las actividades económicas o en términos económicos cerca de \$2.7 billones en salario.

La automatización causará que un número considerable de trabajadores sea desplazado y podrá agravar la brecha que existe entre las habilidades y el empleo de los trabajadores calificados y no calificados, lo que puede significar una depreciación de los salarios como resultado; sin embargo, el mercado laboral es muy dinámico y la creación de nuevas profesiones puede ser una oportunidad para poder tener una colaboración con la automatización y aportar con el crecimiento económico.

v. Objetivo general

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar las estructuras sociales, económicas y productivas; así como el futuro modelo productivo con base en la industria 4.0.

vi. Objetivos específicos

Dar a conocer la base del informacionalismo y el origen del análisis de información, establecer porque surge la necesidad de digitalizar los procesos industriales y por ello se considera clave analizar el cambio social, económico y productivo que ha existido como resultado de la evolución y la transformación de los procesos operativos; asimismo, conocer la estructura de la industria conectada, la infraestructura física y las soluciones de análisis de datos para mejorar la operatividad.

VII. Hipótesis

A partir del nuevo paradigma tecno-social informativo, de la economía basada en el conocimiento y la digitalización de la producción basados en el informacionalismo, se han formulado nuevos retos que se deben afrontar para obtener una completa integración de los elementos y los factores que interactúan en los procesos industriales; asimismo, la restructuración social y económica que esto conlleva.

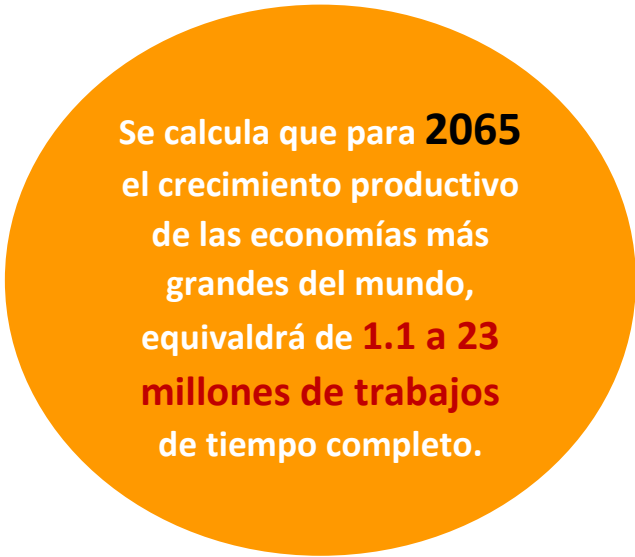
VIII. Impacto y alcance

- i. **¿De qué manera el manejo de la información, y la implementación de herramientas de análisis en la manufactura y la automatización, cambiará la economía de las empresas y la sociedad en el futuro?**

La revolución en la industria ha traído consigo tecnologías que han aportado soluciones efectivas al mejoramiento de la productividad; el aprovechamiento de los datos y su uso ha cambiado la forma en cómo se desarrollan los procesos, además es importante mencionar que su integración ha hecho que puedan ligarse a la manufactura y la automatización.

Hacer los procesos automatizados más inteligentes, mediante la implementación de big data, forma parte de la interoperabilidad de las partes con los procesos.

La industria en conjunto ha facilitado las condiciones de producción: reduciendo errores, mejorando la calidad, aumentando la velocidad y en algunos casos lograr resultados que van más allá de la capacidad humana.



Se calcula que para 2065 el crecimiento productivo de las economías más grandes del mundo, equivaldrá de 1.1 a 23 millones de trabajos de tiempo completo.

Ilustración 2. Fuente: A Future that works: automation, employment and productivity. McKinsey Global Institute.

A pesar de que los beneficios para las empresas son claros y numerosos, se deberá enfrentarse diversos escenarios de aceptación y adaptación en la sociedad; uno de ellos es el desplazamiento de mano de obra con el cual deberá de plantearse la creación de empleos basados en nuevas habilidades, desarrollo de industrias e inversión en investigación para innovación empresarial.

Aunque el aumento de la productividad proyecta un crecimiento económico en el PIB mundial, el declive de la población en edad de trabajar abrirá una brecha sobre el crecimiento del empleo los cuales dejarán de existir conforme la población envejezca.

México es una economía emergente con población más joven, el crecimiento continuo de la población en edad de trabajar puede ayudar a mantener el PIB per cápita actual; sin embargo, dadas las aspiraciones de crecimiento, la automatización y la industria integral serán necesarias para el desarrollo económico y el crecimiento productivo.

El impacto económico será subjetivo, y su análisis dependerá del estudio de diversos factores y variables (sector, países, etc...) que delimitarán el potencial de la industria 4.0.

CAPÍTULO 1. EVOLUCIÓN DEL MODELO PRODUCTIVO Y LA FUERZA DE TRABAJO

Si bien, el final del segundo milenio ha sido una época manifestada por diversos acontecimientos tecnológicos de importancia trascendente; la integración y transformación tecno-social informativa, continuará aportando significativamente un progresivo crecimiento productivo, que reorientará el futuro con mayor lucidez y emancipación.

Las revoluciones tecnológicas se han caracterizado por la capacidad de penetración en todos los dominios de las actividades económicas, como una fuente endógena orientada a la construcción y transformación del tejido social; cambiando así, la manera de producir, comunicar, gestionar y vivir.

La cuarta revolución tecno-científica industrial, también llamada industria 4.0, ha sido consecuencia del avance cognitivo y la transformación de las condiciones materiales de producción y de reproducción histórica, contribuyendo objetivamente en la generación de cambios y favoreciendo el desarrollo de una rápida integración productiva y económica.

A diferencia de cualquier otra, esta revolución tecnológica se ha centrado en las tecnologías de la información; caracterizándose por una reorganización de la base material de la sociedad que va más allá de las transformaciones actuales, determinando la importancia de la relación entre la información y sociedad.

La información, en la presente revolución tecnológica, es en proporción lo que fue la invención de generadores de fuerza motriz o el desarrollo de tecnologías de generación y distribución de energía durante las revoluciones industriales previas, lo que suele llamarse “Era de la Máquina”.

Desde la primera revolución industrial los periodos de integración, en promedio, tardaban cien años en alcanzar su fase de fluctuación; no obstante, hoy en día este proceso solo tarda décadas o en algunos casos años, dependiendo los sectores

productivos y las ramas de producción, lo que se supone cambiar de *ceteris paribus*¹ al *mutatis mutandis*.²

Este acortamiento de tiempo de integración es resultado de la búsqueda de un crecimiento eficiente y objetivo en las economías, impulsado principalmente por la gran necesidad de cambio que el Estado y las sociedades demandan.

A pesar de que la primera revolución industrial se relacionó constantemente con el desarrollo y la innovación tecnológica; esta solo tuvo una apariencia dramática, ya que el crecimiento de productividad, durante este periodo, está estrechamente relacionado con una revolución demográfica y el amplio uso de información.

De igual manera, la segunda revolución industrial se caracterizó por la aplicación de cambios organizativos que fomentaron la innovación: diseño, desarrollo y construcción de tecnologías de la información; con el objetivo de acortar los desfases de integración.

Si bien, esta es una característica imprescindible de una revolución tecnológica; el carácter central predominante, es la aplicación efectiva del conocimiento y la información para lograr una retroalimentación acumulativa para el desarrollo de procesos.

Este paradigma tecnológico ha aportado un replanteamiento de los deberes económicos, induciendo a una reorganización de los elementos que integran una economía productiva: mercado, producción, factor humano, organización empresarial, etc...

Así, con la finalidad de poder transmitir y mantener un crecimiento económico constante a través del aumento de la productividad, en cada revolución tecnológica se ha citado cambios de gran magnitud.

Como, la implementación de nuevos enfoques productivos basados en la competencia, buscando la reducción de los costos de fabricación, la disminución

¹ *Ceteris paribus* es una locución en latín utilizada para indicar el efecto de una variable económica sobre otra, manteniéndola siempre constante para no provocar el cambio.

² *Mutatis mutandis* es una locución en latín que al igual que la anterior se utiliza para indicar el efecto de una variable económica sobre otra, a diferencia de que esta no mantiene las variables constantes ya que es necesario el cambio.

Cambiar de *ceteris paribus* a *mutatis mutandis* significa la ruptura de dos modelos diferentes.

de los precios de consumo y el aumento de la capacidad operativa; con la sobreposición del cliente en el centro de todas las actividades económicas.

Generando una reorganización laboral que está cualificada a una economía sustentada en el conocimiento, donde el aprendizaje y la reeducación de la fuerza de trabajo se hacen permanente para acoplarse adecuadamente a la digitalización, en un contexto de una nueva división internacional del trabajo.

1.1 Información: activo de gran valor

1.1.1 Sociedad informacional

La interdependencia económica ha provocado la introducción de una nueva forma de correlación de la economía entre el Estado, la industria, la universidad y la sociedad, impulsando una reestructuración que busca la flexibilidad en la gestión: descentralización e interconexión, también llamada sociedad red o informacional.³

Esta nueva estructura social contiene rasgos y atributos como: la generación, el procesamiento y la transmisión de información⁴, para convertirse en fuentes fundamentales de productividad y poder.

Favorecido por las nuevas condiciones, la sociedad informacional ha impregnado todas las esferas de las actividades del sistema económico, estableciendo una afinidad entre las formas sociales y tecnológicas.

Asimismo, las nuevas tecnologías de la información han permitido a los usuarios tener un control sobre la tecnología, convirtiendo el conocimiento y la capacidad de la mente humana en una fuerza directa de generación productiva; provocando una estrecha relación entre los procesos sociales y la capacidad de creación.⁵

De esta manera, las herramientas de información se convierten en amplificadores y proyectores de la mente humana, convirtiendo nuestra producción intelectual en bienes materiales o de servicios.

³ (Castells, 2000) Un proceso de reestructuración que se ha presentado en el modelo económico del capitalismo, caracterizado por el aumento de poder considerable del capital frente al trabajo, la individualización y la diversificación de las crecientes relaciones laborales.

⁴ (Forester, 1985)

⁵ Cultura de la sociedad y las fuerzas productivas.

1.1.2 Economía informacional

Las presentes transformaciones han aportado una redimensión en la economía, con un enfoque de crecimiento y desarrollo, basadas en la expansión de los valores del conocimiento y de la producción en las sociedades.

La nueva economía⁶ surge a partir de que determinadas industrias, impulsadas principalmente por las tecnologías de la información, aportaron una redefinición productiva y de esta manera estimularon la competencia económica.

Esta disposición proporcionó un nuevo margen de actuación a las industrias de tecnología e innovación, permitiendo una rápida apertura de oportunidades en el mercado, capitalización e inversión, y sobre todo redefinición laboral.

Esto generó un nuevo modelo económico, considerado como una economía informacional y de interconexión global en red, la cual tiene afinidad con la sociedad, la información, la productividad y la eficiencia económica; identificando aquí sus rasgos fundamentales⁷:

Es *informacional* porque la productividad y la competitividad de las unidades o agentes de esta economía (ya sean empresas, regiones o naciones) dependen fundamentalmente de su capacidad para generar, procesar y aplicar con eficacia la información basada en el conocimiento.

Es *global* porque la producción, el consumo y la circulación, así como sus componentes (capital, mano de obra, materias primas, gestión, información, tecnología, mercados), están organizados a escala global, bien de forma directa, bien mediante una red de vehículos entre los agentes económicos.

Está *conectado en red* porque, en las nuevas condiciones históricas, la productividad se genera y la competencia se desarrolla en una red global de interacción entre redes empresariales.

⁶ (Castells, 2000) La nueva economía surgió en los años noventa en los Estados Unidos, en torno a determinadas industrias; principalmente de la información y las finanzas, aportando nuevos procesos y productos, espoleando el crecimiento de la productividad y estimulando la competencia económica.

⁷ (Castells, 2000, pág. 121)

Asimismo, este modelo ha materializado el valor intangible de la información y la interconexión social; constituyendo una estructura dinámica de gran alcance en la presente revolución tecno-social informativa.

Como consecuencia, el conocimiento se ha convertido en un activo que interviene estrechamente con la información⁸ para la generación de cambios profundos en la economía; determinando así, la capacidad productiva de la sociedad y los niveles de vida, así como las formas sociales de la organización económica.

De esta manera, se posibilita la conexión entre elementos y procesos; con el objetivo de gestionar la información para conducir a una operatividad y eficiencia mayor.

Ya conocido el rol que representa la información, la sociedad y las tecnologías en este nuevo modelo económico; se debe identificar las capacidades productivas y de competitividad económica, para crear las condiciones apropiadas para el desarrollo y crecimiento.

1.2 Tecnologías de la Información (IT)

1.2.1 Revolución tecnológica: IT

Durante muchos años, los flujos de información eran demasiados lentos; como consecuencia a este hecho, existió un evidente atraso de difusión que limitaba la integración social y económica.⁹

De este modo, el comienzo de desarrollo e implementación de IT a finales del Siglo XIX, inquirió en la reducción de los tiempos de viaje de información para así lograr facilitar la difusión y acortar los desfases de integración.¹⁰

⁸ (Castells, 2000) La información y el conocimiento siempre han sido componentes cruciales del crecimiento económico, y la evolución de la tecnología ha determinado en buena medida la capacidad productiva de la sociedad y los niveles de vida, así como las formas sociales de la organización económica.

⁹ A mediados del Siglo XIX, ya finalizada la primera revolución industrial, se abrió una brecha de integración económica resultado de los lentos tiempos de difusión tecnológica; dando como consecuencia una reorganización social basada en la información y el desarrollo de tecnologías que se centraron en eliminar los desfases de integración y lograr dar paso a un mundo globalizado e interconectado.

¹⁰ (Clark, 2007) Los desfases tecnológicos se traducirían en moderados pero notorios niveles de eficiencia: oeste de Europa 13 años, este y sur de Europa 22 años, India 35 años y Latín América 55 años.

Pronto, estas tecnologías facilitarían el impulso de transformación; aportando un paradigma tecno-social informativo que tendría una interacción específica con la economía, la cultura y la sociedad.

No sin hacer menos importante la invención del teléfono por Bell en 1876, de la radio por Marconi en 1898 y del tubo de vacío por De Forest en 1906; no fue sino durante la Segunda Guerra Mundial y el periodo subsiguiente, que el desarrollo tecnologías basadas en la electrónica dieron paso a una auténtica revolución en las tecnologías de la información.¹¹

Existen tres principales campos tecnológicos, estrechamente relacionados, que constituyen esta revolución tecnológica: la microelectrónica, los ordenadores y las telecomunicaciones.

En el campo de la microelectrónica, el transistor, inventado en 1947 en los Laboratorios Bell de Murray Hill (Nueva Jersey) por tres físicos, Bardeen, Brattain y Shockley; dio la posibilidad de codificación lógica y la comunicación con máquinas y entre ellas, denominándolos dispositivos de procesamiento.

Para la difusión de esta tecnología, se necesitó de nuevas tecnologías de fabricación y de desarrollo de materiales (como el silicio utilizado por primera vez por Texas Instruments en 1945, en Dallas), esto con el objetivo de poder integrar componentes miniaturizados con una fabricación de precisión.

La invención del proceso planar en 1959 por Fairchild Semiconductors (Silicon Valley) dio esta extensión requerida en la tecnología de fabricación, para lograr la integración de los componentes.

Sin embargo, no fue sino dos años antes, que la microelectrónica tuvo su punto de partida cuando el circuito integrado fue co-inventado por Jack Kilby (ingeniero de Texas Instruments) y Bob Noyce (uno de los creadores de Fairchild); siendo Noyce quien los fabricaría utilizando el proceso planar.

Esto denotó en una explosión tecnológica que trascendería con la depreciación económica de los dispositivos microelectrónicos: el precio de los semiconductores cayó 85% (durante el periodo de 1959-1962) y el precio de los circuitos integrados

¹¹ (Castells, 2000, pág. 70)

cayó 98% (durante el periodo de 1962-1971). Considerando que existió un moderado aumento de producción.

Esto como ya se había mencionado, consecuencia de la implementación de nuevos enfoques productivos basados en el desarrollo, la reducción de costos y el aumento de la productividad con enfoque al cliente.¹²

El gran salto hacia la difusión de la microelectrónica llegó en 1971 con la invención del microprocesador, efectuada por ingeniero de Intel, Ted Hoff (Silicon Valley). De esta manera se logró obtener una mayor capacidad de integración y procesamiento de información.

En pos de este evento, se emprendió una carrera de desarrollo tecnológico que buscaba aumentar la capacidad de integración, mejorar el procesamiento de información con una superación constante de los límites de fabricación y diseño de los procesadores.

Aunque resultaría imposible describir con exactitud todos los detalles técnicos de los desarrollos tecnológicos de las últimas dos décadas, es prescindible indicar la velocidad y la extensión del cambio tecnológico.

Al igual que el transistor, los ordenadores también fueron creados por y durante la Segunda Guerra Mundial; aparatos de uso bélico, como el Colossus británico de 1943, aplicado a descifrar los códigos enemigos, y el Z-3 alemán, creado en 1941 con el objetivo de ayudar al análisis de cálculos de la aviación.¹³

Sin embargo, no fue sino hasta 1946 que nació la madre de todas las tecnologías; una investigación del MIT y bajo patrocinio del ejército Estadounidense, donde Mauchly y Eckert, en la Universidad de Pennsylvania, Filadelfia, crearon el primer ordenador con fines generales y con experimentación real del poder de cálculo, el ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator).¹⁴

¹² La implementación de los nuevos enfoques productivos basados en la competencia y centrados en el cliente, tenían como objetivo la reducción de costos de producción y el aumento de la capacidad productiva. Este modelo se basa en la oferta y la demanda del producto, facilitado por un modelo de producción estandarizado y en cadena; dando apertura a la competencia y un rápido desarrollo tecnológico.

¹³ (Hall & Preston, 1988)

¹⁴ (Forester, 1985)

El ordenador pesaba 30 toneladas, fue construido en módulos de metal de dos metros y medio de altura, contenía 70,000 resistores y 18,000 tubos de vacío; su superficie de uso era aproximadamente del tamaño de un gimnasio y el consumo eléctrico era excesivamente elevado.

Su primera versión comercial, fue fabricada en 1951 bajo la marca Remington Rand. Posteriormente IBM, superando sus reservas hacia la era del ordenador, comenzó a producir en 1953 su primer ordenador.

Esto dio inicio a una carrera comercial, en donde IBM y Sperry Rand dominaban la industria de los ordenadores; poblándose posteriormente de nuevas empresas de máquinas de oficina, como Control Data Digital.

Pronto existiría una destrucción creativa, cuando en la década de 1990 muchas empresas sufrirían una falta de visión tecnológica y terminarían cerrando o cesando sus actividades de fabricación.

La microelectrónica introdujo una revolución tecnológica con la llegada del microprocesador en 1971, dando la capacidad de colocar un ordenador en un chip; en 1975, Ed Robert (ingeniero creador de MITS, Albuquerque) desarrolló una máquina entorno a un microprocesador y del tamaño de un ordenador a escala.

Este desarrollo fue la base del diseño del Apple I y el Apple II, Apple Computers fundada por Steve Wozniak y Steve Jobs en 1976, en Menlo Park (Silicon Valley); quien pronto provocaría una extraordinaria revolución de la era de la información.¹⁵

La presentación del Macintosh de Apple, en 1984, dio paso a una informática fácil con la introducción de una interfaz basada en la experiencia de usuario. De esta manera, la incorporación del software, desarrollado por Bill Gates y Paul Allen en 1976, se convirtió en una condición fundamental para el desarrollo y difusión de los microordenadores.

El incremento del potencial electrónico, dio un gran salto al desarrollo de software como herramientas conjunto de los ordenadores; los cuales comienzan a actuar

¹⁵ (Rogers & Larsen, 1984)

con versatilidad y con la posibilidad de aumento de capacidad de almacenamiento y procesamiento informativo.

Un agregado potencial con interacción en una red informativa, la cual no solo cambio el sistema tecnológico, sino además apporto una reorganización de las interacciones sociales.

Esta capacidad de interconexión se hizo posible por los desarrollados logrados en las redes informativas. Las telecomunicaciones aportaron la sinergia en la revolución de las tecnologías de la información.

La flexibilidad y las altas prestaciones que presentaban las telecomunicaciones, provoco un acelerado desarrollo de tecnologías de transmisión de paquetes digitales y avances en optoelectrónica (fibras ópticas y transmisión por láser); ampliando las capacidades en las líneas de transmisión informativa.

Estas tecnologías informativas junto con otras aplicaciones de transmisión (tradicional, directa por satélite, telefonía celular y digitalización), ofrecieron la posibilidad de comunicación móvil. Esta convergencia tecnológica introdujo la constitución del Internet, el medio tecnológico más revolucionario en la “Era de la Información”.¹⁶

La introducción del internet como aportación tecnológica informativa, re direccionó a gran escala el enfoque productivo, desarrollando diversas estrategias que facilitarían la capacidad de comunicación en todas las direcciones y a escala global.

Con base en desarrollos de protocolos de comunicación y transmisión de datos, se logró dar la cabida para establecer una red de comunicación; y aún más necesario, fue la implementación de sistemas operativos para poder dar el gran salto a una integración tecnológica y de esta manera lograr una comunicación entre ordenadores y máquinas.

Asimismo, la creación de aplicaciones de Internet, dio la praxis y trayectoria necesaria para constituir los rasgos y las características esenciales que conocemos de Internet, aportando la interconexión de máquinas y ordenadores posibilitando

¹⁶ (Castells, 2000)

la utilización de recursos informativos en tiempo compartido y con procesamiento remoto, *on-line*.¹⁷

El rediseño de los sistemas operativos se enfocó en las necesidades de comunicación creando de manera literal una red mundial de información; facilitando la integración cultural y social, mediante nuevas formas de interconexión y transmisión de datos.

1.2.2 Interconexión: sociedad y tecnología

El ajuste tecnológico a la sociedad tuvo una rápida incorporación y adaptación, casi de manera mecánica; esto en comparación con otros hechos y procesos históricos, los cuales se presentaron con lentitud y se ajustaron imperfectamente a la sociedad.

Influenciada por diversos factores institucionales, económicos y sociales; esta revolución tecnológica informacional ha atendido de primera mano las necesidades que la sociedad demanda; permitiendo así, una fácil interconexión.

Considerando que la información ha jugado un papel facilitador, se emprendería un proceso de reestructuración social y organizativa en la economía, dando apertura a nuevas redes de comunicación y sistemas de información, los cuales cimentarían la integración global del mercado financiero, comercial y productivo.

De este modo se dispondría de nuevas tecnologías que condicionarían la trayectoria del presente siglo. Evolucionando la industria hacia la interpretación, las alianzas estratégicas y el establecimiento de redes, con enfoque hacia la expansión de innovadoras firmas tecnológicas que tendrán gran afluencia en un futuro.¹⁸

Esta transformación ha constituido la base material de la llamada “sociedad red”, convergiendo en un paradigma que se ha definido por rasgos o características específicas¹⁹:

¹⁷ (Forester, 1985)

¹⁸ (Castells, 2000)

¹⁹ (Castells, 2000, pág. 105)

- La información, como materia prima de los actuales modelos productivos, necesita de la *tecnología como actuador directo* para la amplitud de capacidades de comunicación.
- La información, como parte integral de todas las actividades humanas, tiene la *capacidad de penetración* en todas las formas y efectos de la tecnología.
- La relación e interacción entre la información y tecnología, alude a la *lógica de interconexión*, actuando con flexibilidad a la creciente innovación en las actividades humanas.
- La *flexibilidad* a la reorganización, reordenación o reconfiguración; con capacidad de determinar mediante análisis, los resultados de interacción de las nuevas tecnologías y las nuevas estructuras sociales.
- *Integración* de las tecnologías en un sistema que converge con la información; los elementos, las máquinas y los procesos son inimaginables sin una correlación directa entre ellos.

Las formas de correlación entre la sociedad y la tecnología, como ya se había mencionado, han dado un enfoque complejo a las capacidades productivas y de reproducción histórica; obligando a la sociedad a crear una estructura auto organizativa que ha modificado los límites de desarrollo de una nueva economía.

1.3 Industria conectada

Las aportaciones tecnológicas en conjunto con las estrategias empresariales han articulado este nuevo sistema económico, dando una lógica organizativa que está estrechamente conectada con la IT y la digitalización de los procesos.

La convergencia de estos dos paradigmas, ha constituido la base histórica de este nuevo modelo económico, el cual ha sido reestructurado desde el último cuarto de Siglo XX, transformando los procesos de producción, consumo y distribución.

Como ya se ha mencionado, la reorganización de las empresas es un parte aguas de la transformación productiva; desde el punto de vista subjetivo de diversos analistas, esta transición está sostenida de hechos específicos.

Piore y Sabel, sostienen que la crisis económica de los años setenta fue el resultado del agotamiento del sistema de producción en serie y constituyó una segunda “divisoria industrial” en la historia del capitalismo.²⁰

Apoiado por otros analistas, como Benjamin Coriat, sugieren que esta evolución surge en un periodo de transición histórica del “*fordismo*”²¹ al “*postfordismo*”, transformando la relación entre producción y productividad, y, consumo y competencia.

Sea cual sea la causa de transformación, este punto de ruptura estuvo influenciado directamente por la tecnología de la información, generando un rápido cambio de entorno organizativo en aspectos económicos, institucionales y tecnológicos de la empresa; aportando flexibilidad al modelo de negocios y producción.

Redefiniendo principalmente los procesos de manufactura, introduciendo un nuevo modelo productivo que tiene como objetivo la reducción de mano de obra en procesos donde esta tarea es innecesaria mediante la implementación de sistemas automatizados.

De igual manera, la introducción de estas tecnologías aportaron un cambio en la división del empleo y trabajo²²; modificando las prácticas de contratación hasta las capacidades de organización y gestión.

1.3.1 Modelo productivo flexible

El modelo de producción en serie se basaba en un proceso mecanizado constituido por una cadena de montaje en el que se fabricaba un producto estandarizado²³, este modelo fue considerado efectivo por los altos niveles de productividad que se obtenía.

Pronto se convirtió en un modelo rígido e inflexible frente a la demanda de la economía moderna; lo que provocó la reestructuración organizativa que planteó

²⁰ (Castells, 2000, pág. 215)

²¹ Sugerencia de lectura, un análisis más profundo del modelo productivo en cadena y la afirmación de nuevos sistemas de fabricación. (Coriat, *L'atelier et le robot: Essai sur le fordisme et la production de masse à l'âge de l'électronique*, 1994)

²² (Taddei, 1988)

²³ (Coriat, *L'atelier et le robot: Essai sur le fordisme et la production de masse à l'âge de l'électronique*, 1994)

un sistema más flexible adaptable a la demanda de calidad, cantidad, diversificación comercial y sobre todo la integración industrial.

La incorporación de tecnologías menos rígidas, como la automatización, plantea un nuevo modelo que se ajusta a la producción de alto volumen, combinando la adaptabilidad a los cambios constantes y la producción personalizada reprogramable, previsible a las variaciones de mercado e insumos (producto y proceso).

1.3.2 El “sistema Toyota” sustentado en el Kan-ban

Sumado a la implementación de un nuevo modelo productivo, una nueva tendencia organizativa de producción y gestión se integra a esta transformación industrial.

Este modelo organizacional²⁴, procedente de Japón, se convierte en la base cultural de la industria; fomentando principalmente la colaboración como modelo de trabajo.

El Kan-ban²⁵, como filosofía del nuevo proceso de producción y estructuración organizacional de la nueva forma de hacer las cosas (justo a tiempo), elemento de este modelo organizacional, logra generalizar en un método todo un sistema de fabricación; lo que es considerado como los procedimientos de control incluyendo una un modelo de producción flexible.

Esto aporta una considerable reducción de tiempos, un aumento de productividad, eficiencia, calidad y producción; enfocados principalmente en evitar defectos en piezas, fallos, desabasto, retrasos y papeleo, o mejor conocido como “cinco ceros”.

²⁴ (Castells, 2000) El éxito considerable obtenido por las firmas automovilísticas japonesas en productividad y competitividad se ha atribuido en buena medida a su revolución de la gestión, de tal modo que en la literatura empresarial “toyotismo” se opone a “fordismo” como la nueva fórmula ganadora, adaptada a la economía global y al sistema de producción flexible.

²⁵ (Coriat, Penser à l'envers, 1991)

En conjunto con el modelo productivo flexible, el cual está enfocado a la adaptabilidad en el proceso, el “ohnismo”²⁶ fomenta la gestión laboral mediante la especialización multifuncional de los trabajadores, reorganizando la mano de obra.

De esta forma se destaca la capacidad de gestión y resolución de problemas, que el personal debe manejar de forma autónoma; esto a causa del aprendizaje por práctica y el conocimiento compartido.

Esto determina una nueva cultura productiva y organizativa, replanteando las ideas y los valores de la nueva economía; en donde la fuente de innovación y desarrollo se convierten en la base de la productividad, y estos están cimentados en el conocimiento.

Es así que, actuando en conjunto con herramientas de la información y las nuevas técnicas de producción, se logró idealizar una industria conectada, la cual se desarrollaría mediante un complejo vínculo organizacional en la que se establece una interconexión entre producción y factor humano.

En la actualidad este modelo organizacional, generó un campo de implementación directa en los procesos productivos. El modelo de fabricación esbelta “*Lean Manufacturing*” ha constituido un pilar de la industria moderna y del nuevo sistema de producción de la industria 4.0.

Las herramientas y las técnicas de este modelo, como: el kan-ban, control visual, Jidoka, control de calidad, etc... son ahora la base de implementación en la industria digital; el control de los procesos mediante el análisis de la información, etc.... Este tema se profundizará en el siguiente capítulo.

1.3.3 Procesos integrados: el nuevo modelo productivo

La automatización programable²⁷ surge del desarrollo de las técnicas de trabajo, la innovación tecnológica y el impulso económico de producción y competencia; este

²⁶ (Coriat, 1991, pág. 24) El método Ohno es el complemento del método Kan-Ban el cual generaliza la racionalización del trabajo, y se especifica el concepto “de efectivo mínimo”. Esta es la clave de una fábrica flexible; buscando la productividad, la flexibilidad de trabajo, asignación de operaciones de fabricación y oponiéndose así a las facilidades de la producción en serie.

²⁷ (Coriat, La Robotique, 1984) como se define en el texto (Usine nouvelle, n° 8, 23 février 1978) “una máquina electrónica programada por personal no informático destinado a realizar, en un entorno industrial y en tiempo

sistema de producción se adaptó al modelo de producción flexible y de reorganización laboral.

Algo claro, es que la automatización no es un fenómeno nuevo; las máquinas programadas han sustituido el trabajo manual desde el origen de la industria²⁸, simplificando las tareas, agregado a todos los beneficios de una producción limpia y eficiente en el que se reducen riesgos, materia, costos, tiempos, etc...; con un considerable nivel de eficiencia, calidad y productividad.

Las tecnologías de la información en conjunto con la microelectrónica agregaron flexibilidad a las disciplinas ya conocidas en la producción, el resultado final fueron las diversas aplicaciones de la automatización en la industria, las cuales penetraron en todos los niveles organizativos y de gestión.

Dando así un grado más de autonomía, con la capacidad de tomar decisiones precisas; esto se ha denominado inteligencia artificial (AI), la cual ha impactado notablemente la industria, agregando mayor valor al proceso.

Es decir, que esta integración industrial ha generado una oportunidad de autosuficiencia operativa, en donde la máquina se retroalimenta de la información que genera; aportando capacidad de análisis y procesamiento de datos, mediante herramientas de big data, y modificación del programa de ejecución de las operaciones de los sistemas automatizados.

Esto ha dado paso a la robótica y la automatización inteligente, y otros modelos tecnológicos como machine-to-machine (M2M), los cuales conforman los pilares tecnológicos del modelo de producción integral.

Es a partir de este punto, que el rol del trabajador en la industria presenta una modificación adaptativa; con el objetivo de poder integrarse al modelo productivo flexible, el cual demanda una mayor capacidad de gestión y análisis de información.

real, funciones de automatización lógica, combinatoria o secuencial; con característica de tener la capacidad de manejar una máquina o un proceso.

²⁸ (Coriat, 1984)

1.4 Factor humano: reorganización laboral

La estructura laboral ha enfrentado un proceso de transición histórica, sufriendo cambios sistemáticos en la organización de la división del empleo y trabajo; resultado de las nuevas estructuras sociales, las cuales han moldeado sus necesidades a esta reestructuración laboral.

En este tema se abordará la transformación de la estructura laboral para poder analizar el impacto de la reorganización productiva, el presente paradigma tecno-social informativo y de la economía basada en el conocimiento; de esta manera poder considerar las oportunidades de desarrollo.

Asimismo, atender los tabúes sociales y los temas de incertidumbre; basando la división laboral y la fragmentación social en el nuevo modelo productivo y organizativo.

1.4.1 Teoría postindustrial

El arribo de las tecnologías de la información, la reorganización productiva y social, y la reestructuración económica, en el último cuarto de Siglo XX, dio lugar a una notable reducción de empleos industriales; en algunos países esta reducción de empleos fue moderada, sin embargo, en otros se experimentó una rápida desindustrialización.

Esto denominó a la sociedad *postindustrial*, la cual considero la siguiente estructura laboral²⁹:

- La información es un conector para poder extender las fuentes de productividad y crecimiento a todas las actividades económicas, misma que se sustenta de la generación de conocimiento.
- Las actividades económicas trascenderán y la transformación laboral se enfoca en empleos de producción de productos y servicios, en los que se tiene una mayor proporción de empleos.
- La nueva estructura social estará constituida de ocupaciones con alto contenido informacional y de conocimiento, ocupaciones ejecutivas, profesionales o técnicas las cuales se consideraran con gran afluencia en el

²⁹ (Castells, 2000)

futuro. Esto sustentado a la sociedad red y la economía basada en el conocimiento.

Este periodo, considera que la interconexión económica y productiva se sustenta en la información y el conocimiento; convirtiéndolos en un rasgo distintivo de la evolución en la estructura laboral.

La información se ha extendido a diversos niveles de las actividades económicas, y ha sido un componente de gran valor en la economía; la sociedad está inmersa en la información y su procesamiento, esto verifica empíricamente que el primer punto de la teoría “*postindustrial*”³⁰ tiene un grado de asertividad sobre el futuro industrial.

Atendiendo al segundo punto, a pesar de que la industria de servicios tiene un alto nivel de implementación en el presente y el futuro, la manufactura continua siendo un factor de gran importancia en el crecimiento económico.

Es decir, que en un futuro existirá un crecimiento en ambas industrias pero con la distinción de una incorporación específica del factor humano a cada una de ellas, ya que es evidente que en cada transformación existe un remplazo de factor humano.

Un ejemplo claro es señalar que entre 1989 y 1997 el sector de manufactura en Estados Unidos³¹ y la Unión Europea, encontrándose en su punto más alto de desarrollo y productividad, sufrió un declive en los niveles de empleos de manufactura: en Estados Unidos los empleos descendieron de 19.367 millones a 18.657 millones y en la Unión Europeo descendió de forma sustancial de 38.400 millones a 29.919 millones.

Todo esto en el nivel más alto, en donde la industria de manufactura tenia mayor afluencia; pero a pesar de esto, en otros países como Japón, hubo una

³⁰ (Castells, 2000) Surge de la prueba empírica más poderosa del cambio del curso histórico, el nacimiento de una nueva estructura social; caracterizado por el crecimiento de industrias de servicios, ocupaciones ejecutivas y profesionales con alto nivel de gestión, y la desaparición de empleos agrícolas y fabriles. Esto como resultado del contenido informacional en las economías con mayor afluencia.

³¹ Los empleos en industrias de servicio tuvieron un incremento muy notorio en comparación con la creación de empleos en el sector manufactura, es recomendable observar el análisis estadístico de esta fuente sobre la creación y destrucción de empleos por sector de los Estados Unidos: <https://qwexplorer.ces.census.gov/static/explore.html#x=0&g=0>

multiplicación de empleos de manufactura de 1.5 a 4 veces mayor; esto equilibrio de algún modo la economía en el mundo.

Lo mismo ocurrió en la sociedad *postagrícola* con la reducción ocupacional, pero que se transformó en empleo industrial sin eliminar esta ocupación; razonablemente a esto, una clara reducción de participación económica de la actividad agrícola pero no nula.

A partir de este análisis se puede considerar que existe ambigüedad en la predicción sobre los empleos y la producción de servicios como el principal sector de las actividades económicas, sin embargo, no se descarta la posibilidad de inclusión; recalando que la eliminación de empleos industrial no significaba la eliminación total de la ocupación laboral sino una modificación.

1.4.2 El nuevo modelo productivo y su impacto en la reorganización laboral

El reemplazo de factor humano ha sido motivo para considerar que la estructura ocupacional deberá afrontar una reestructuración, la cual deberá tener mayor crecimiento en ocupaciones ejecutivas, profesionales y técnicas, con alta nivel informativo y de conocimiento productivo.

Sin embargo, a pesar de que en comparación con los últimos años, se ha presentado un aumento de ocupaciones inferiores o menos cualificadas; es decir, que ha existido una transformación de la división de trabajo acoplándose así a las nuevas habilidades y necesidades de la sociedad.

Esto significa que este tipo de ocupación continuará representando un porcentaje considerable, no absoluto; esto basado en la evolución histórica y las tendencias que presentan.

Reflejando así que la sociedad y la información conformarán indudablemente la futura organización laboral, alcanzando todos los niveles ocupacionales de la reorganización laboral. Esto precisa de una mayor preparación y una mayor capacidad de adquisición de conocimiento, para integrarse a la industria 4.0.

Hoy en día la automatización representa cerca de un tercio del salario a nivel global³², lo que significa que en los últimos 18 años ha existido una reestructuración de la fuerza de trabajo y una transformación de las ocupaciones laborales; afectando la demanda de las habilidades digitales y las habilidades sociales.

Tan solo en Estados Unidos, la automatización representa el 51% de sus actividades económicas; mientras tanto en México la creación de trabajos de manufactura se han incrementado proporcionalmente desde el año 2009³³, lo que representa que a pesar de que México tiene un alto porcentaje de incorporación tecnológica, aún sigue existiendo mayor porcentaje de mano de obra.

En comparación, ambos países tienen una tendencia opuesta al nuevo modelo productivo basado en la industria 4.0, sobre todo que se debe señalar que la mayor aportación económica en México es la industria alimentaria, automotriz y metal básica.³⁴

Es decir, que son industrias que tienen un alto nivel de potencial de automatización; pero que a su vez representa un gran porcentaje del PIB nacional y de la ocupación. La incorporación de este modelo productivo se ha presentado de manera desacelerada³⁵, al igual que la incorporación de las tecnologías de la información.³⁶

Esto además crea una brecha importante en el desarrollo e implementación tecnológica, sobre todo en la manufactura ya que es esta la principal actividad económica del país. Objetivamente hacer una comparación con Estados Unidos, en donde el sector de IT ha crecido más de 10 veces en los últimos 48 años.³⁷

También es importante señalar que México ha ocupado el lugar 23 de 23 del índice de países preparados para la automatización y la industria inteligente, una lista que

³² (Manyika, y otros, 2017)

³³ Importante observar las tablas de datos estadísticos de ocupaciones y horas de trabajo en la manufactura: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/manufacturas>

³⁴ (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016)

³⁵ (Arturo, 2018)

³⁶ El sector de IT tuvo su valor más alto en 1998, y solo ha existido una desaceleración notable en los últimos veinte años; esto es debido a la escasez de profesiones en la industria de desarrollo de tecnologías de información y su bajo nivel de integración a los sectores productivos.

³⁷ Sirva de gran apoyo, este reporte estadístico: Julia, B. (2016). *Occupations in Information Technology*. *American Community Survey Reports*. U. S. Department of Commerce Economics and Statistics Administration.

encabeza Singapur, Alemania y Corea del Sur; la falta de madures en el sector ha provocado que México tenga que prever una solución a el incremento del salario laboral.

Esto, considerando la proyección de implementación tecnológica en los próximos veinte o treinta años, más de la mitad de las actividades laborales podrán automatizarse³⁸, ya que el costo de máquinas de control, automatización e IT tendrá una desaceleración de gran impacto en la industria; lo que significara que en esto años el sueldo de un robot será igual al de un sueldo de mano de obra regular.

Esto sugiere una necesaria reorganización laboral, impulsada principalmente por la razón de que si el costo de implementación tecnológica se igualara al costo de mano de obra en un futuro, existirá un evidente cruce organizativo de las empresas que reconsiderarán su inversión en el país.

Dicho esto antes, el bajo nivel de implementación tecnológica y automatización en México, ha replanteado que exista una transformación de su estructura laboral; esto a razón de que México tiene un crecimiento continuo de población en edad de trabajar.³⁹

Es posible que la población en edad para trabajar, en un futuro pueda mantener el crecimiento del PIB nacional, en respuesta de un escenario de alto impacto de la industria 4.0 y el nuevo modelo productivo.⁴⁰

Si bien, es factible tener una pronta inclusión de tecnologías a la industria, también es importante que la sociedad tenga una favorable adopción y apoye el alcance de la presente revolución; esto vital a una evolución de las habilidades y las capacidades de la fuerza de trabajo

1.4.3 Evolución de las habilidades y el futuro de la fuerza de trabajo

La transformación, la reorganización productiva y la implementación de las tecnologías como el análisis de datos, la automatización, la IA y el machine

³⁸ (Manyika, y otros, 2017)

³⁹ Sirva de apoyo, analizar los indicadores estadísticos de población, edad, sexo y ubicación; para poder comprender esta tendencia: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/estructura>

⁴⁰ (Manyika, y otros, 2017)

learning; han acelerado de manera substancial la evolución de las habilidades de la fuerza de trabajo.

Como se ha demostrado, la tendencia indica una transformación de la fuerza laboral que se desplaza a otro tipo de industria o producción; sobre todo, la mano de obra y las tareas que se realizan en entornos predecibles⁴¹, ya que este tipo de trabajo tiene un alto nivel de remplazo tecnológico; seguido por tareas como la compilación y el procesamiento de datos, sobre todo a causa de la carencia de las habilidades cognitivas.

Sin embargo, tareas como la gestión y el desarrollo de personal, la toma de decisiones, planeación de proyectos creativos, la interrelación o tareas en entornos no predecibles; tienen un nivel más bajo de automatización.

Para esto es importante poder evaluar el tipo de desarrollo y el impacto que la industria conectada tendrá sobre el factor humano; y así analizar las habilidades y competencias requeridas de la fuerza de trabajo en la actualidad.

Competencias requeridas⁴²:

- **Percepción sensorial**
- **Competencias cognitivas:** obtención de información, reconocimiento y generación de patrones o categorías, razonamiento lógico para la solución de problemas, optimización y planeación de proyecto, alto nivel creativo, coordinación con múltiples agentes y articulación de emociones.
- **Procesamiento de lenguaje natural:** Generación y comprensión del lenguaje corporal, empatía.
- **Competencias sociales-emocionales:** percepción y razonamiento social-emocional, con capacidad de empatía.
- **Competencias físicas:** habilidades de destreza y capacidades motoras gruesas (*Soft Skill and Hard Skill*), capacidad de navegación y movilidad.

⁴¹ (Manyika, y otros, 2017)

⁴² (Manyika, y otros, 2017)

1.4.4 Rol del operador en la industria 4.0

El factor hombre-máquina ha evolucionado de manera lineal y paralela a la transformación industrial y la integración de nuevas tecnologías a la manufactura; cambiando así, el papel que el operador desarrolla en la industria y su forma de correlacionarse en los procesos productivos.⁴³ Generando un carrera de desarrollo e implementación de herramientas informáticas que han facilitado las tareas del operador, y su colaboración con las máquinas.

Los operadores necesitan de estas herramientas para poder involucrarse en el proceso, de igual manera poder aprovechar el análisis y la inteligencia artificial para poder dar solución a problemas críticos o aportar ideas con gran alcance de implementación.

Como se mencionó en el subtema anterior, las capacidades y habilidades laborales han evolucionado con el objetivo de poder envolver la nueva industria y así mantener la colaboración del factor humano en la manufactura; el operador debe considerar esta evolución y acoplarse a las nuevas demandas laborales.

Estos deben tener la capacidad generalista y adaptativa, un enfoque más flexible a los procesos y una rápida toma de decisiones; los cuales deben basarse, en los datos que se generan mediante la digitalización de los procesos. Además su amplio conocimiento de los procesos productivos garantizara una manufactura efectiva y más segura.

Las capacidades futuras⁴⁴ podrán incluir:

La comunicación remota mediante una red social global en la que se permitirá conectarse con ingenieros o expertos, esto con el objetivo de analizar los procesos y facilitar la resolución de problemas, evitando los paros innecesarios o los tiempos perdidos.

⁴³ (GE Intelligent Platforms, 2010)

⁴⁴ (GE Intelligent Platforms, 2010)

Y la adaptabilidad a la inclusión tecnológica⁴⁵, entendimiento y dominio del software; para futuras integraciones tecnológicas, con el objetivo de reducir los costos y tiempos de implementación.

En el siguiente capítulo se abordaran las tecnologías y las herramientas de información que se han integrado actualmente a la industria; cuál es su objetivo técnico y poder describir su funcionalidad en los procesos integrados.

⁴⁵ Es importante entender que el desarrollo de esta capacidad también tiene influencia de los límites de implementación tecnológica; es decir, que los problemas de interoperabilidad o estandarización pueden acelerar o desacelerar esta habilidad. Es por esto que la importancia de un desarrollo integral debe generarse desde este momento para que en un futuro la inclusión tecnológica y la relación del factor humano sea efectiva.

CAPÍTULO 2. DIGITALIZACIÓN INDUSTRIAL

La transformación industrial y la revolución tecnológica, han replanteado una favorable reestructuración organizativa y productiva; constituyendo así la industria 4.0, también conocida como industria conectada o digital; permitiendo la integración e interconexión de los elementos y procesos que interactúan en la industria.

Esto mediante tecnologías, herramientas e infraestructura específica que se ajustan a la escala de negocio y los requerimientos que se demandan. Esta implementación ha dado la capacidad de conexión con procesos más complejos como la automatización; siendo esta la característica del modelo de producción integral.

En la actualidad, la industria convencional se ha convertido en multifuncional, al igual que la fuerza de trabajo; planteando su base en el informacionalismo y las herramientas de generación, almacenamiento y análisis; para poder dar ejecución eficiente a las decisiones.

De esta manera replantear los objetivos en la manufactura; los cuales van desde la reducción de costos, tiempos y recursos, enfocados al aumento de la eficiencia y la productividad operativa.

Siendo esta la característica generadora de competitividad, desarrollo y eficiencia productiva de las empresas; de esta manera se ha materializado proyectos de gran valor y aportando cambios significativos mediante su implementación, incluyendo la capacidad de crear oportunidades a partir de información que se desconocía o dar solución a problemas con un difícil grado de interpretación.

Este capítulo se centrará en describir de manera más específica la industria digital, así como su base de implementación, sus pilares tecnológicos y su funcionalidad; de igual manera, señalar su objetivo de integración y la infraestructura requerida para alcanzar este objetivo.

2.1 Pilares tecnológicos de la industria conectada

La digitalización en conjunto con el análisis de datos, se ha aprovechado en la implementación de tecnologías de automatización⁴⁶, capaces de replicar acciones humanas basadas en la información que se genera en la manufactura, eliminando así las tareas repetitivas o de rutina y agregando valor al desarrollo laboral de los empleados, requiriendo un mayor nivel de preparación y capacidad analítica.

El informacionalismo transformó de primera instancia la sociedad y la economía, extendiéndose así a todos los niveles y actividades profesionales de todo tipo de industria. La era de la electrónica, la microelectrónica, y la automatización dio un salto de integración productiva, conformando un nuevo esquema productivo en donde la relación entre el hombre y la máquina se hace más estrecha y se sustenta de pilares tecnológicos.

Estos pilares son innovaciones tecnológicas representativas y características de la industria digital⁴⁷, en primer punto se hablara de big data; más allá de un término convencional, big data se convierte en una solución de análisis de datos que tiene como objetivo la integración industrial, es decir, esta herramienta desde un punto de vista subjetivo, no solo representa un pilar sino la base de la industria 4.0.

2.1.1 Análisis de datos “Big data”

Desde que la información se convirtió en un reto para el análisis y la comunicación, comenzaron a surgir nuevas y diversas herramientas que pudieran dar un trato correcto a los datos; “big data” surge con el propósito de recolección, almacenamiento, gestión, visualización, vinculación, aprovechamiento y análisis de grandes volúmenes de datos.⁴⁸

El objetivo específico de big data es la integración y el aprovechamiento de los datos para proporcionar soluciones a nuevos retos productivos y empresariales;

⁴⁶ (Chao, y otros, 2018)

⁴⁷ Los pilares tecnológicos de la industria 4.0 son: el análisis y simulación de datos “Big data”, Robótica y automatización inteligente, Internet of Things (IoT) o machine-to-machine (M2M), Cloud Computing, fabricación aditiva y realidad aumentada. Todos estos constituyen su base en la información.

⁴⁸ (Schroeck, y otros, 2012)

creando así, nuevas y mejores formas de transformar los procesos de producción, distribución y circulación.

a. Big data para la manufactura

Big data no solo se trata de una herramienta de análisis, es un complejo conjunto de instrumentos y aplicaciones diseñadas específicamente para integrar la industria y conectar todos los activos de la manufactura.

La interconexión tecnológica en la industria, se basa en unificar datos en tiempo real sobre procesos y productos, obteniendo una rápida respuesta de implementación mediante el *machine learning* (aprendizaje automático) y el *deep learning* (aprendizaje profundo).⁴⁹

Big data para la manufactura tiene tres enfoques de implementación:

- **Calidad:** al poder capturar y analizar la información de un proceso, se puede controlar las tolerancias y las variaciones que afectan la calidad de un producto; de esta manera, poder medir los cambios, ajustar los límites y cumplir las especificaciones o regulaciones. Esto contribuye al aumento de rendimiento operativo mediante un proceso de control de calidad estricto.
- **Productividad:** Más allá del indicador OEE (Eficiencia Global de los Equipos), mediante big data se puede obtener una visión más clara y profunda del proceso; dando anticipación a los problemas y resolviéndolo de raíz, además de proporcionar una solución anticipada a problemas futuros, promoviendo la mejora continua de los procesos y maximizando la capacidad operativa.
- **Visibilidad:** Esta es la característica principal, de esta manera se puede tener acceso a información específica en tiempo real de cada máquina, línea de producción o planta; pero además, es importante el histórico de datos, es decir, poder tener una gran cantidad de datos capturados previamente y poder hacerlos parte del análisis actual con el objetivo de tomar decisiones rápidas y correctas basados en tendencias. Esta información puede estar

⁴⁹ Estos términos son directamente conocidos del modelo productivo integral, tema que se abordó en el capítulo 1 sobre modelos productivos, fomentando la aplicación de inteligencia artificial para la respuesta autónoma de los activos.

almacenada en servidores físicos o virtuales, profundizaremos más esto en el tema de infraestructura.

b. ¿Qué analizar?

La información generada por las empresas u organizaciones, contiene conocimiento de alto valor, sin embargo no todos los datos tienen el mismo valor o calidad informativa, entonces se debe determinar ¿Cuáles son los datos que contienen verdadero valor? ¿Cuál es el objetivo del análisis? y ¿Cómo estructurar la información para tener un manejo óptimo de los datos?

Las prácticas estratégicas, tales como Lean Manufacturing, Six Sigma, Kaizen, etc...; son aplicadas en numerosas organizaciones con el objetivo de mejorar sus procesos y acelerar la productividad.⁵⁰

Históricamente, en la industria se han utilizado diversas y variadas herramientas de medición, con métricas específicas para clasificar la calidad del proceso, el rendimiento operativo y la efectividad productiva. Estas métricas son conocidas como indicadores KPI (Key Performance Indicators)⁵¹:

- **OEE** (Eficiencia Global de los Equipos)
- **TEEP** (Rendimiento Efectivo Total de los Equipos)
- **FTT** (Calidad a la Primera)
- **DTD** (Tiempo de Muelle a Muelle)
- **OTD** (Entregas a Tiempo)
- **BTS** (Fabricación Según Programa)
- **ITO** (Tasa Rotación Inventario)
- **RVA** (Ratio Valor Añadido)
- **PPMs** (Partes Por Millón de Defectos)
- **FR** (Tasa Cumplimiento Entregas)
- **IFA** (índice de Frecuencia de Accidentes)
- **MTBF – MTTR** (Fiabilidad y Mantenibilidad del Equipo)

⁵⁰ (Red Lion, 2016)

⁵¹ (Asensi, 2017)

Estos indicadores son propios del modelo de manufactura esbelta⁵², y en la industria en general, es vital poder analizar alineados a estos indicadores; pero en la manufactura, existen ciertos indicadores base para el análisis de procesos y resolución de problemas de causa raíz.

Tal es el caso del indicador OEE, este indicador mide el porcentaje máximo de productividad mediante una ecuación que multiplica la calidad por el rendimiento operativo y la disponibilidad; sin embargo, la industria 4.0 demanda vinculación de soluciones que puedan analizar en tiempo real no solo uno, sino todos los procesos que pertenecen a la industria.

Esto ha redefinido las métricas y diversos indicadores con la finalidad de integrarse al objetivo de la digitalización industrial y big data. Por ejemplo, el índice de rendimiento de fabricación (Manufacturing Performance Index MPI)⁵³, métrica propuesta por la empresa Sight Machine, es una métrica que se adapta a las necesidades de análisis para las empresas: costo operativo, producción y tiempos de ciclos, gasto de capital, etc...

2.1.2 Machine-to-Machine

La generación de grandes masas de datos en la industria, proveniente de diversas fuentes conectadas a la red, y esta ha crecido exponencialmente. Si bien sabemos que cada tipo de dato proveniente de fuentes diversas, con un objetivo específico de análisis, y aunque todos son aplicables a la industria⁵⁴; nos podemos enfocar en concreto a los tipos de datos que se generan en la manufactura, es decir Machine-to-Machine.

Los datos *machine-to-machine* (M2M) provienen de la comunicación máquina a máquina, estos provienen principalmente de dispositivos como sensores o medidores; además son los de mayor contribución de información en la industria.

⁵² (Coriat, Penser à l'envers, 1991) Lean Manufacturing tiene su base histórica en el modelo Toyota y el ohnismo, este surgió de la necesidad de adaptar un modelo productivo y organizativo flexible a la industria.

⁵³ (Sudhir)

⁵⁴ Todos los datos tiene una implementación en la manufactura, en todos los niveles de integración y en todas las escalas de infraestructura; en la mayoría de los tipos de datos se puede observar que la funcionalidad más notable es la de seguridad. Es por esto que big data y la tecnología de la información se ha generado principalmente los servicios financieros.

El gran valor de creación de volúmenes de datos que las máquinas y sensores generan son muy importantes; se estima que en la actualidad hay más de 30 millones de sensores y mecanismos interconectados en diversos sectores productivos, sobre todo de manufactura, y de acuerdo a un análisis realizado por Cisco, se espera un crecimiento de 30% anual en la implementación de M2M.⁵⁵

2.1.3 Automatización inteligente

En marcha con los nuevos desarrollos de la tecnología de la información, se ha dado paso a nuevas aplicaciones en la manufactura; la era de la automatización inteligente, representa una nueva oportunidad de generar valor a partir del paradigma tecno-social informativo, en donde la nueva sociedad informativa y la reorganización laboral desempeñan un papel significativo en esta transformación.

En conjunto con big data se han creado nuevas oportunidades enfocadas a la industria y la automatización, tareas basadas en la información. Con la integración de big data para el procesamiento y análisis de datos, se han expandido rápidamente el rango de las capacidades automatizables hasta lograr controlar acciones basadas en el juicio e interacción humana.

Esta tiene la capacidad de regular la intervención humana en los procesos, así como gestionar la carga laboral; esto ha modificado la organización laboral y el modelo productivo, tema que se trató en el capítulo anterior.

Estas capacidades derivan directamente de las tecnologías implementadas en la cadena de IT⁵⁶:

- **Inteligencia Artificial (AI) y machine learning:** esto es consecuencia de la aplicación de IT, basados en big data, que simulan procesos de inteligencia humana incluido el aprendizaje sin instrucciones explícitas.
- **Procesamiento de lenguaje natural:** sistemas con la capacidad de comprender la comunicación humana.

⁵⁵ (Barranco Fragoso, 2012)

⁵⁶ (Chao, y otros, 2018)

- **Robótica:** el uso de robots y su implementación con machine-to-machine (M2M), puede ser aprovechado para aprender a partir de los datos analizados y tomar decisiones autónomas.
- **Análisis predictivo:** correlacionado a big data, el análisis predictivo puede ayudar a predecir errores o fallas en la operatividad; como resultado del uso de datos y estadísticas del aprendizaje automático.

2.1.4 Campo de aplicación

El campo de aplicación de big data es muy diverso, de acuerdo al bloque o sector de actividad productiva en la que se presente y la planeación de integración que se proponga.

De primera mano será estudiar la situación o el caso de implementación, enfocándonos en procesos de manufactura como: inyección, montaje, soldadura, fundición, etc...; esto con el objetivo de reducir las tasas de desechos, riesgos, costos de manufactura o mejorar la calidad, solo por mencionar algunos.

Dentro de este proceso en el que se implementa la solución con el objetivo propuesto, se deben considerar todas las variables establecidas en la infraestructura; y así, poder reconocer cuales son los tipos de datos que se recaban y sobre todo identificar su fuente.

Esto puede ser, desde sensores en función de temperatura, presión, movimiento, material, etc...; o también, cualquier tipo de generador de información que se involucre en el proceso productivo.

Estos deben ser precisos y específicamente calibrados, para poder funcionar en una amplia variedad de ambientes, de acuerdo al entorno donde se desarrolle la manufactura.

Es a partir de este punto que la recolección y organización de los datos es un factor determinante para resolver el problema; los modernos sistemas de administración, hacen esta tarea de manera más sencilla y en menor tiempo; recopilando y haciendo coincidir cada dato a cada producto manufacturado, a cada parte de proceso, etc...

De este modo, se puede encontrar la fuente de mala calidad, la parte que afecta el proceso o el costo, solo por mencionar algunos; he aquí la importancia de tener un gran historial de datos, que además, debe estar organizado y administrado por sistemas específicos con el objetivo de análisis.

Si bien, big data es una herramienta integral; el análisis de datos comienza en este punto con el objetivo de encontrar la causa raíz del problema o la meta de análisis, existen diversas causas que afectan la productividad, la calidad del producto, el alto costo o los elevados niveles de desperdicio.

Esto puede ser por una adquisición de datos incorrectos debido a la mala calibración de los sensores, o a un error en el código de programación de los controles.

Las soluciones radican en el tipo de problema que se planteó o el objetivo de implementación, se puede reprogramar los sistemas de control con el objetivo de adquirir datos limpios y precisos, aumentar la cantidad de sensores con el objetivo de adquirir más datos, etc...

Al final, lo importante es que se hará con los datos; este activo de gran valor, puede tener diversos objetivos de acuerdo a la necesidad, como por ejemplo un control preciso de producción de acuerdo a demanda. La mayoría de las soluciones se enfocan directamente al cliente o consumidor final, notablemente con la mayor eficiencia y el costo más bajo de producción.

2.2 Integración industrial

2.2.1 Niveles de integración

La industria 4.0 tiene el objetivo de envolver y extender los activos de la industria; es decir, ampliar la interacción de los elementos que existen en la infraestructura logrando la integración industrial.

Existen 6 niveles que representan esta integración, los cuales cumplen un orden escalable.

- **Nivel 0 | Producción y materiales:** supone únicamente la interacción de máquinas y material prima.
- **Nivel 1 | Automatización:** en este nivel se sugiere la aplicación de sistemas automatizados con dispositivos e instrumentos de información.

Es a partir de este punto que la información, percibida por estos dispositivos e instrumentos, comienza a ser un punto de inflexión en la toma de decisiones; sin embargo, aunque existe una infraestructura con procesos automatizados, para darle un trato apropiado a la información es necesario escalar un nivel más de integración.

- **Nivel 2 | Equipamiento y procesos de control:** a partir de este nivel, la infraestructura de almacenamiento y procesamiento de datos (data center) se convierte en una necesidad y esta debe estar efectivamente interconectada a los sistemas automatizados.

Esta interconexión de herramientas y máquinas tiene la finalidad de aumentar la eficiencia operativa, facilitar el entendimiento de la operación y los problemas, además de ejecutar las operaciones a prueba de errores.

Este aprovechamiento de información va más allá de su almacenamiento y procesamiento, su análisis es el proceso final antes de la toma de decisiones y la ejecución óptima de los proyectos.

- **Nivel 3 | Administración de operaciones en la manufactura:** es un nivel en el que la información ha integrado los procesos productivos, ampliando la capacidad de razonamiento y decisión sobre la operatividad, este análisis facilita el reemplazo de procesos manuales innecesarios, aplicando sistemas modernos de monitorización con base en la información que la empresa puede tener.

Si bien ya se ha mencionado muchas veces, es necesario volver a remarcar que las soluciones que big datas y las herramientas de información pueden ofrecer a la industria van más allá de su operatividad.

Extendiéndose así, a la modificación o establecimiento de los siguientes niveles.

- **Nivel 4 | Sistema de negocios**
- **Nivel 5 | Sistema de planeación autosustentables**

Siendo estos los últimos dos niveles de integración, los cuales aportan una ventaja competitiva a las empresas que aplican este esquema de integración.

2.2.2 Infraestructura

Big data hace referencia a los grandes volúmenes de datos, en un término convencional. Sin embargo, algo no tan convencional, es el trato que requieren estos datos para lograr su aprovechamiento, pues la capacidad de las herramientas tradicionales de trabajo no podría dar cabida a la información que se captura, se procesa y se gestiona en la manufactura.

Siendo ilimitadas las soluciones que big data puede ofrecer a la manufactura hoy en día, industria en general, es necesaria la implementación de infraestructura, tecnologías y servicios especialmente diseñados para esta tarea.

Como ya se mencionó, el nivel de integración en la industria demanda un constante desarrollo de tecnologías y aplicaciones que cumplan con flexibilidad la interconexión de los elementos.

Esto ha provocado que los procesos productivos automatizados se transformen en una cadena de IT; en conjunto con centros de datos, redes de comunicación y software, lo que llamamos una infraestructura de IT.

Esta está conformada por elementos físicos o hardware (dispositivos, equipos y máquinas) y elementos no físicos o software (sistemas operativos o aplicaciones), con el objetivo de recabar, almacenar, procesar, analizar y visualizar la información.

a. Data center

Un centro de datos, mejor conocido como clúster de datos, es un espacio dedicado específicamente a todos los elementos físicos que comprenden la infraestructura de procesamiento, almacenamiento y análisis de información, estos varían de tamaño de acuerdo a su infraestructura⁵⁷:

⁵⁷ (U. S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program, 2007)

	Cantidad de servidores	Infraestructura
Server Closet	1-2 servidores	<200 ft ²
Server Room	docena de servidores	<500 ft ²
Localized data center	docena a cientos de servidores	<1000 ft ²
Mid-tier data center	cientos de servidores	<5000 ft ²
Enterprise-class data center	cientos a miles de servidores	>5000 ft ²

Este espacio tiene como objetivo, la flexibilidad y la disponibilidad de los elementos que trabajan en conjunto, conocido como sistema distribuido, los cuales actúan independientemente pero a su vez están interconectados por una red de comunicación que presentan una arquitectura de acuerdo a la necesidad de análisis.

Hoy en día, esta infraestructura se ha convertido en el activo de más valor de una empresa; esto, por el alto nivel de eficiencia y las soluciones de gestión que puede aportar. Además de solo ser un clúster que alberga tecnología de IT (servidores, equipo de almacenamiento y equipo de red) es un conjunto de herramientas que integran la manufactura.

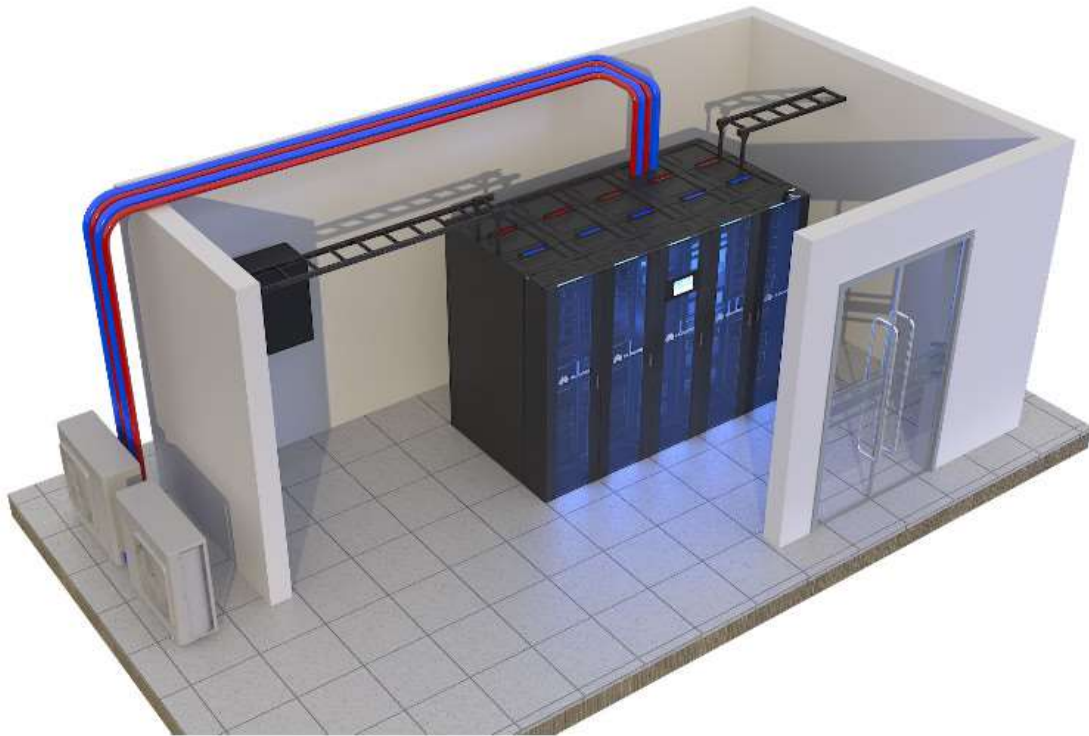


Ilustración 3. Locación típica de un cuarto de Equipo IT. Fuente: Huawei, Rechenzentrums-Infrastruktur.

Los objetivos principales de un centro de datos son:

- Alinear las prioridades operativas y de negocio.
- Mantener un orden de costos operativos y de capital.
- Aportar flexibilidad a la implementación de tecnología, reduciendo riesgos y tiempos.

Esto significa que se debe tener una planeación precisa sobre la infraestructura de un centro de datos, tomando en cuenta: la calidad, confiabilidad, estabilidad, flexibilidad y versatilidad de los equipos; así también considerar la disponibilidad de los componentes, esto con la finalidad de diseñar un proyecto escalable.

b. Distribución

La sala de centro de datos está llena de filas de bastidores de equipos de IT que contienen servidores, dispositivos de almacenamiento y equipos de red.⁵⁸ Estos, además incluyen sistemas de suministro de energía (energía de respaldo, reguladores de voltaje y transformadores de energía CA/CC).

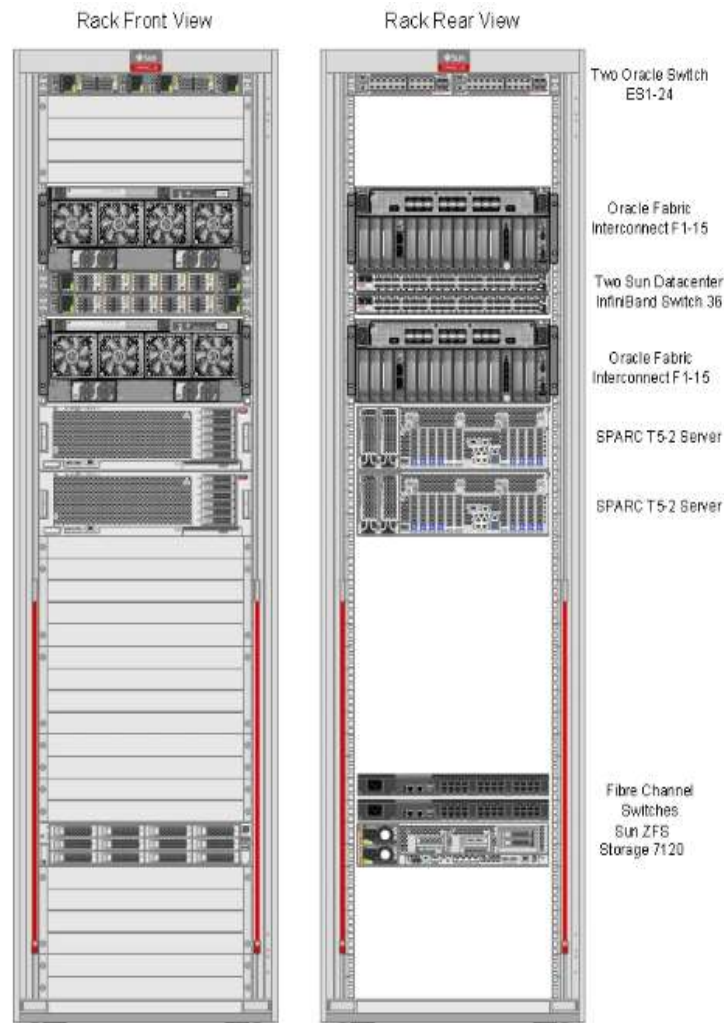


Ilustración 4. Distribución típica de un rack o bastidor, para almacenar el equipo de IT (servidores, storage, switches, etc...). Fuente: Oracle/ (Nijjar, 2014).

Es decir, que la distribución de un *data center* se compone por: energía, equipo IT y refrigeración.

⁵⁸ (U. S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program, 2007)

i. Energía

Antes de que la energía eléctrica llegue a los equipos de IT, se suministra primero a unidades de alimentación interrumpida (UPS), esta actúa como una batería de respaldo para evitar que el equipo de IT experimente interrupciones eléctricas y en consecuencia caídas comerciales y pérdidas de datos. En este dispositivo se convierte la energía CA/CC para cargar las baterías.

Al salir la energía eléctrica del dispositivo UPS, la energía se transforma a CA

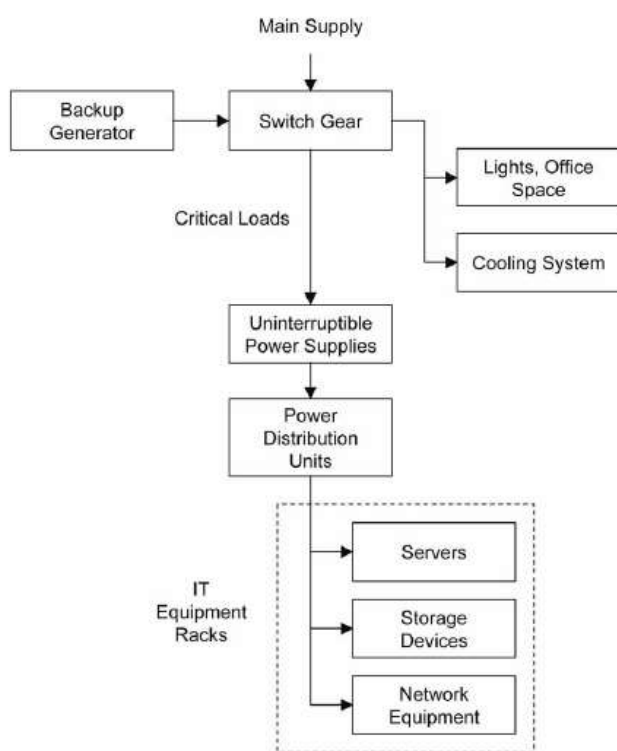


Ilustración 5. Distribución eléctrica típica de un data center.
Fuentes: Energy Star/derived from Fan et al. (2007) and Turner et al. (2005)

nuevamente para poder ser transferida a una unidad de distribución de energía (PDU), esta energía va directo a los racks o bastidores donde se encuentra todo el equipo de IT.

Esta energía entra directamente en servidores de unidad de suministro (PSU) la cual distribuye la energía en CC de bajo voltaje para poder ser utilizado por los componentes internos de los servidores. La energía administrada será regulada mediante reguladores de voltaje (VR) para el uso de equipos con uso específico.

La operación continua de los equipos de IT y el equipo de suministro de energía, generan una significativa cantidad de calor, la cual debe ser disipada por sistemas de refrigeración⁵⁹; esto, con el objetivo de no afectar la vida útil de los equipos y mejorar su rendimiento.

⁵⁹ (U. S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program, 2007)

ii. Refrigeración

El enfriamiento del equipo de IT es, a menudo, proporcionado por unidades de aire acondicionado de salas de computación (CRAC), esta se encuentra en el techo de un *data center*; de igual manera, en el piso se ubican las unidades de tratamiento de aire (AHU), las cuales contienen ventiladores, filtros y dispositivos de enfriamiento.

El objetivo principal es regular y distribuir el aire por todo el centro de datos.

El aire es acondicionado a través de bobinas que contienen agua enfriada, la cual es bombeada desde un enfriador ubicado fuera de esta infraestructura; este aire se distribuye principalmente a los servidores, desde el piso hacia arriba, alcanzando todos los niveles de equipo que se encuentran dentro del rack, a través de pequeñas perforaciones.

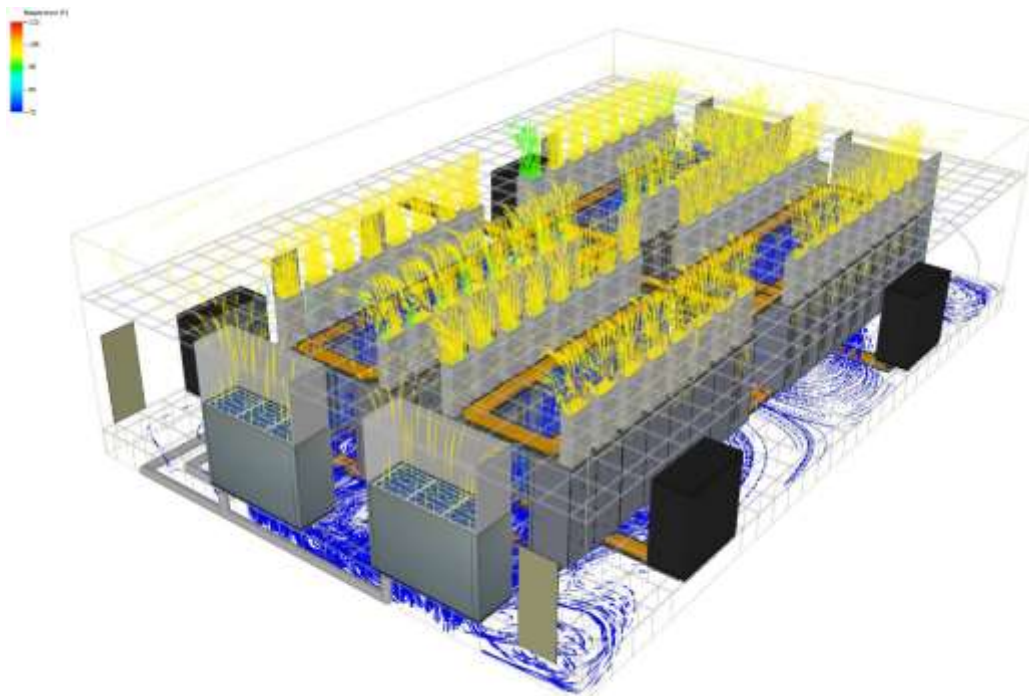


Ilustración 6. Disipación del calor, flujo de aire frío a través del piso falso elevándose hasta el techo de la sala para poder ser absorbido por la unidad CRAC. Fuente: Energy Star/ASHRAE (2004).

De igual manera con ayuda de ventiladores instalados en cada bastidor, el aire llega con mayor fuerza al equipo de IT, y el aire caliente se eleva hacia el techo para poder ser absorbido por la unidad CRAC para volver a ser tratado y continuar enfriando la sala.

Un *data center* solo acepta un pequeño porcentaje de aire exterior, ya que debe estar debidamente presurizado; es decir, el único aire exterior que puede filtrarse en esta zona, provendrían de áreas adyacentes al centro de datos, como lo son: oficinas, cuartos de control, etc...⁶⁰

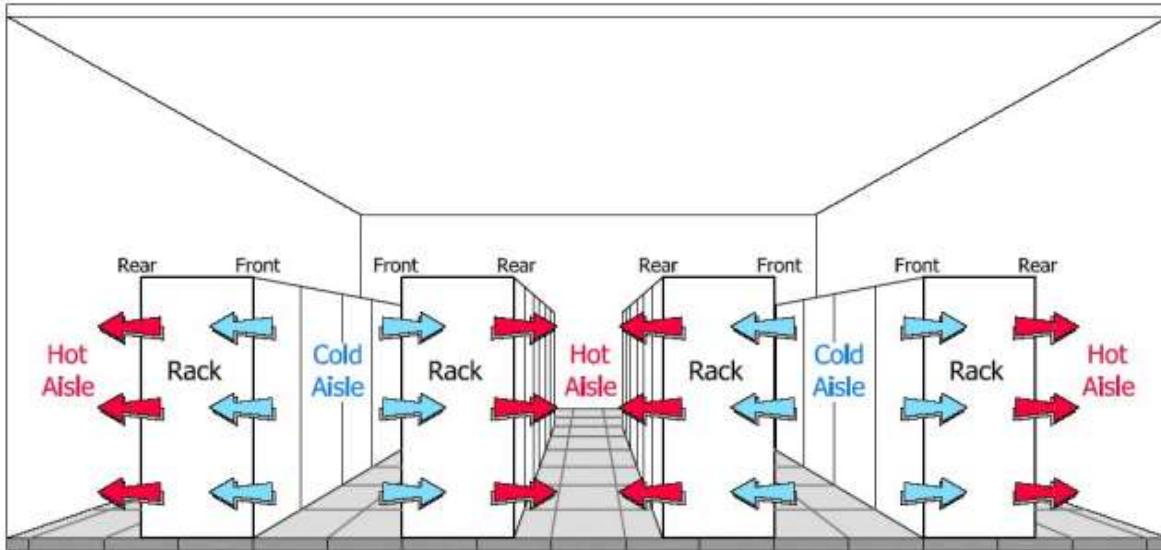


Ilustración 7. Distribución típica de pasillo de calor/pasillo frío. Dispersión de calor. Fuentes: Energy Star/ASHRAE (2004).

iii. Equipo de IT

a. *Equipo de red*

El equipo de red y comunicación se representa específicamente al hardware que garantiza la interconexión física de los elementos, así como el software que gestiona y administra la transferencia de datos. Esto refiere a: routers, switches, tecnología de conexión inalámbrica y puntos de acceso, sistemas de gestión, seguridad y administración de redes, etc...⁶¹

- **Switches:** se utilizan para conectar varios dispositivos, creando una red de recursos compartidos, permitiendo a estos dispositivos compartir información y comunicarse entre sí.
- **Routers:** se utilizan para conectar diversas redes, actuando como distribuidor de información, seleccionando una ruta rápida de desplazamiento de datos. Estos analizan los datos, los empaquetan y envían de

⁶⁰ (U. S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program, 2007)

⁶¹ (Cisco, 2012)

acuerdo a la red. Este dispositivo también tiene la posibilidad de ser virtual, así, las empresas pueden reducir costos en infraestructura y poder elegir la integración mediante contratación de servicios.

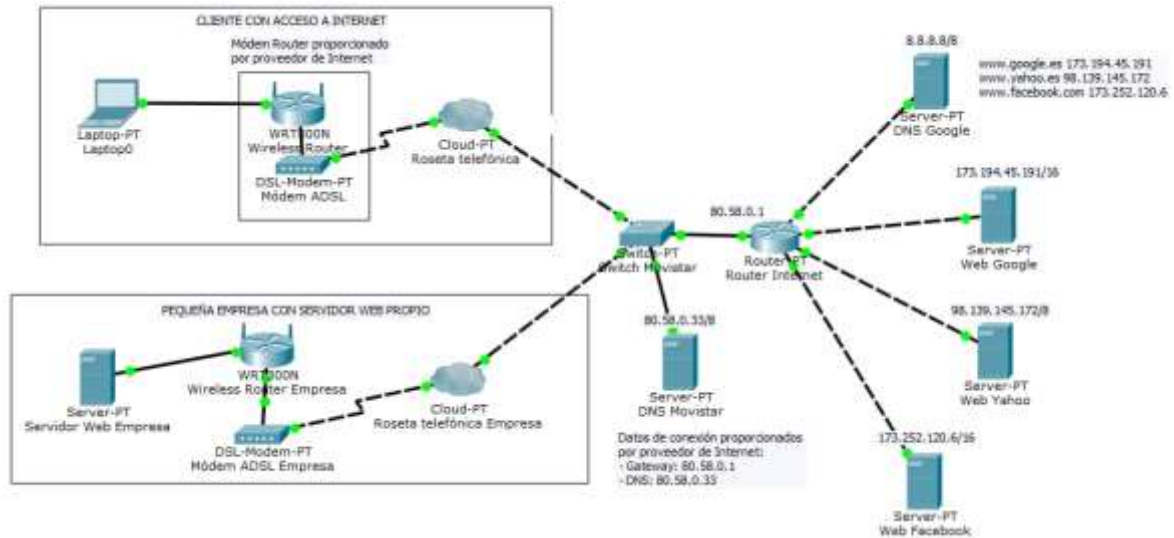


Ilustración 8. Distribución típica de una red. Router/Switch/Cloud PT/Modem. Cliente o empresa con servidor propio, conectado a internet para uso de aplicaciones en servidores web de diversas compañías de servicios. Fuente: elaboración propia.

Estos dispositivos son pilares de la comunicación en la empresa, sobre todo en la manufactura; en donde la interconexión de los elementos y dispositivos que trabajan en cada proceso puede aportar mayor factibilidad a la administración de recursos, aumentando la productividad, reduciendo costos, etc...

De esta manera el rol del trabajador se enfoca en poder proporcionar la dirección correcta a la información que percibe mediante aplicaciones específicas.

b. *Servidores y storage*

Un servidor es un recurso de computo dedicado a responder a los requerimientos del cliente (CPU's, PLC's, etc...), estos están interconectados para proveer un acceso a la base de datos. Un storage es un equipo de almacenamiento, que al igual que el servidor es un recurso; sin embargo, este está dedicado a almacenar la información.

Proporcionando este servicio, los servidores se clasifican de acuerdo a su especialización y el requerimiento, estos pueden ser:

- **Mainframe:** este servidor es el más costoso del mercado, tiene un uso específico para empresas financieras, gobierno, investigación o que trabajan con grandes cantidades de datos; esto debido, a que tienen una gran capacidad de procesamiento, almacenamiento, etc... Este servidor puede soportar múltiples interconexiones físicas y virtuales, son de alta fiabilidad técnica ya que pueden funcionar durante largos periodos sin interrupciones y tienen un alto nivel de interdependencia.
- **De alta disponibilidad:** este tipo de servidor contiene características similares al servidor tipo *mainframe*, sin embargo con un costo menos elevado.
- **Clúster:** es un grupo de servidores que desempeñan la misma función pero que distribuyen las cargas de trabajo, estos son escalables de acuerdo a la necesidad de negocio y la capacidad de trabajo.
- **Virtual:** este servidor se refiere a todos los servicios de administración, almacenamiento, análisis, etc... dentro de un servidor físico; esta es una solución efectiva y con un excelente control de costos.

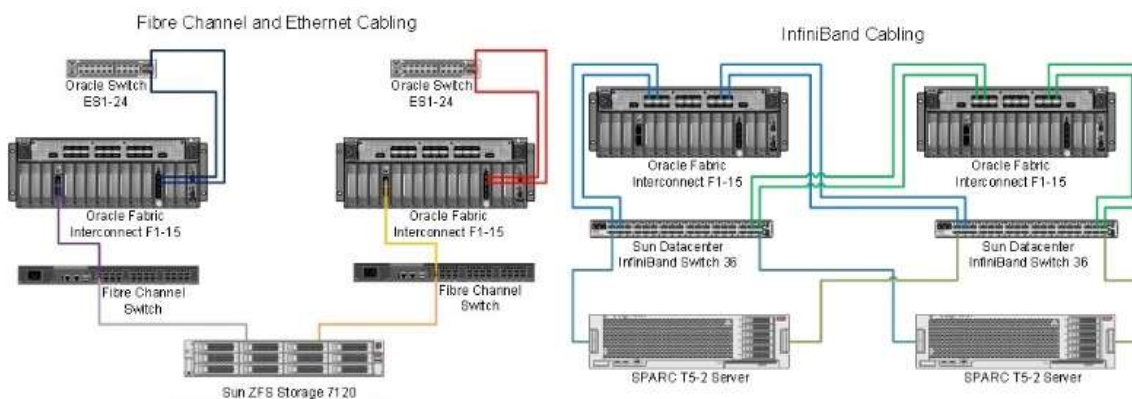


Ilustración 9. Distribución típica de conexión de dispositivos. Cable de fibra óptica, Ethernet e InfiniBand (Cables de comunicación). Fuente: Oracle

Si bien, de acuerdo a los puntos de infraestructura antes mencionados; el alto costo de construcción de un centro de datos, sumados los costos de puesta en marcha, mantenimiento y los elevados costos de energía que se suministrará; es razonable poder determinar que la opción más sólida es la de un servidor virtual, esto debidamente al tipo de negocio y escala de manufactura.

Es por eso que se debe precisar las características de los servicios en la nube o *cloud computing* para poder conocer descriptivamente la funcionalidad y el alcance de esta herramienta.

c. *Cloud Computing*

El origen de la nube no es nuevo, la evolución de IT tuvo su afluencia a mediados del S. XX y este término tuvo su origen durante la década de 1960, pero no fue sino hasta la década de 1990 que este término tuvo mayor dominio.

Existen dos usos básicos de *cloud computing*, almacenamiento de archivos, donde los usuarios y las empresas guardan su información, la comparten de forma remota, etc...Y el otro, es el uso y la distribución de aplicaciones de software, llamado SaaS (Software As A Service).⁶²

Así como SaaS, existe PaaS (Platform As A Service) y IaaS (Infrastructure As A Service); cada una de estas con características específicas⁶³:

- **SaaS:** el software como servicio, proporciona aplicaciones específicas en la web de fácil accesibilidad, en general son de uso personal.
- **PaaS:** la plataforma como servicio, proporciona un entorno basado en la nube con todas las herramientas y aplicaciones necesarias, sin el costo o la complejidad de comprar y administrar el hardware, el software, el aprovisionamiento y el alojamiento.
- **IaaS:** la infraestructura como servicio, proporciona a las empresas todos los recursos informáticos que incluyen servidores, redes, almacenamiento y espacio de centro de datos; con la ventaja de no invertir en infraestructura física, con el dinamismo y la flexibilidad de soportar diferentes y diversas cargas de trabajo.

Toda la información que se genera, hablando específicamente de su uso en la industria, se aloja en lo que comúnmente se llama “nube”, este en realidad es una compleja infraestructura de servidores conectados entre sí denominado *data center*.

⁶² (Zanoni, 2014)

⁶³ Datos extraídos de IBM: <https://www.ibm.com/cloud>

Las empresas tienen la opción de invertir en construir su propia infraestructura de data center o en rentar un espacio a una empresa dedicada a este tipo de servicio; es decir se aloja en una nube privada o híbrida.

La nube privada es una infraestructura operada únicamente para una sola organización, ya sea administrada internamente o por un tercero, y alojada interna o externamente. La eficiencia de este tipo de servicio, proporciona mayor control de los recursos informáticos con una rápida interfaz.

La nube híbrida tiene base en la nube privada, a diferencia de que está integrada estratégicamente con la nube pública; es decir, integra mayor seguridad y confiabilidad de los datos, con la ventaja de utilizar recursos de SaaS o IaaS. De esta manera se facilita la interconexión aportando más modelos de implementación.

Esta última es la opción más elegida por las empresas, ya que mediante esta infraestructura se puede obtener un gran abanico de aplicaciones de nivel empresarial para el desarrollo y la administración de información.

Puede ayudar a modernizar y automatizar las cargas de trabajo, con una gran adaptabilidad; este desarrollo e implementación se lleva a cabo en la propia infraestructura de la empresa y en su centro de datos, pero con la ventaja de mitigación de riesgo.

Esta solución y su implementación depende de la escala de negocios y la demanda de las necesidades que requiera la industria, este punto se profundizará en un análisis de implementación al final de este capítulo.

2.2.3 Niveles de control

Con la introducción de software a la industria de la tecnología de la información, muchas tareas comenzaron a automatizarse, reenfocando las tareas en la producción.

Los sistemas de software han evolucionado para proporcionar un control y visualización confiable sobre los dispositivos, en la actualidad existe múltiples

herramientas que han facilitado la comunicación con los activos de la industria y han aportado factibilidad al proceso de manufactura⁶⁴, como:

- **ERP (Enterprise Resource Planning)**
- **HMI (Human Machine Interface)**
- **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**
- **MES (Manufacturing Execution Systems)**
- **MI (Manufacturing Intelligence)**

Estas herramientas ayudan a los usuarios y operadores a involucrarse en el proceso productivo, aprovechando la analítica e inteligencia para responder con mayor enfoque y rapidez; y de esta manera, dar impulso a la productividad y efectividad del trabajador y la empresa.

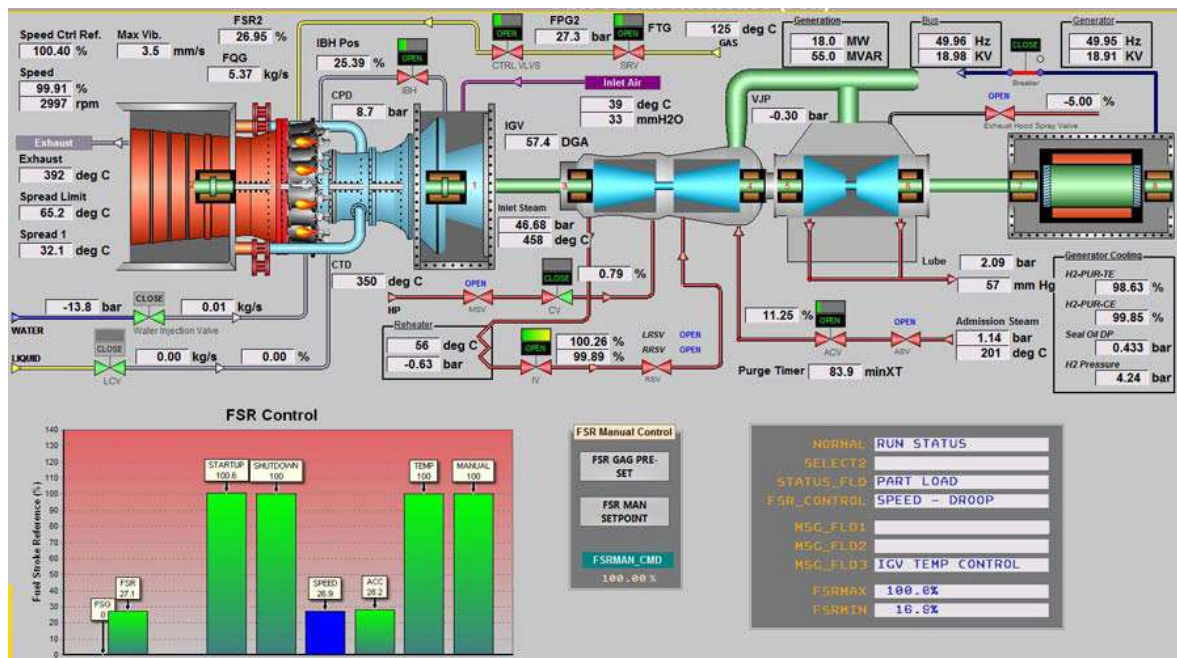


Ilustración 10. Ejemplo de aplicación HMI/SCADA. Visualización de proceso. Fuente: Siemens

Los software para el análisis tienen un enfoque automático para la visualización de los procesos, además de que su funcionalidad puede permitir que los datos puedan ser compartidos en tiempo real para una colaboración en equipo mediante el análisis automático o el estudio de tendencias históricas; aportando capacidad de un análisis predictivo para una gestión rápida ante posibles fallas.

⁶⁴ (GE Intelligent Platforms, 2010)

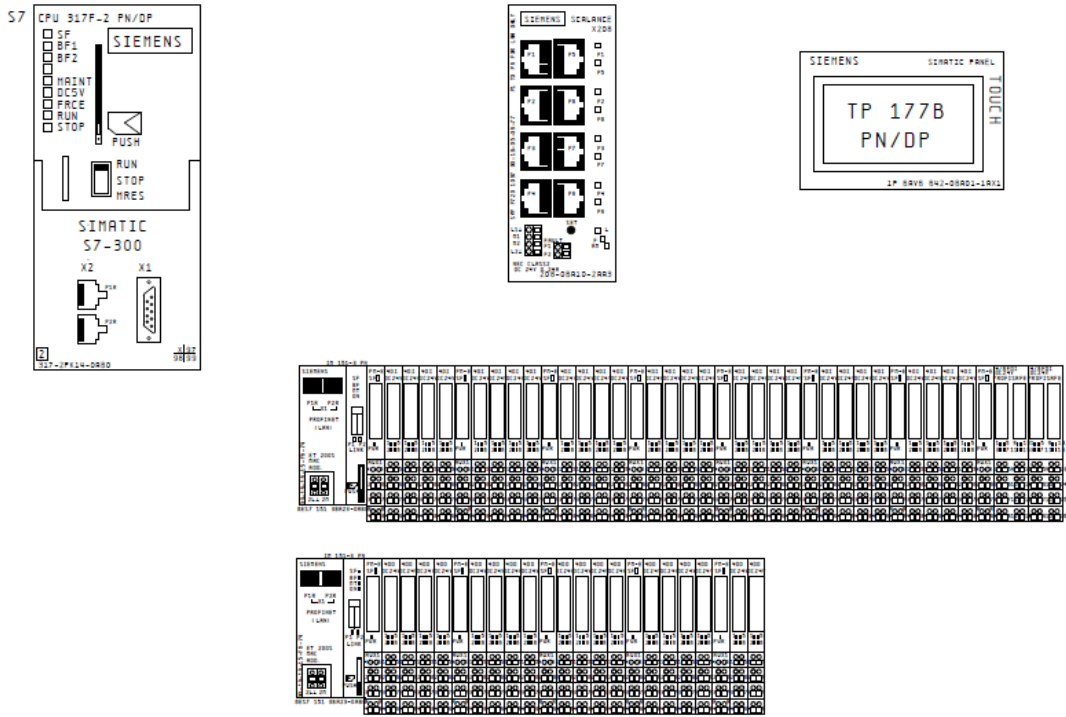


Ilustración 11. Elementos típicos de integración para nivel de control HMI/SCADA; cliente CPU, panel de visualización, componente de comunicación y PLC. Este último estará conectado con dispositivos de control como: sensores, actuadores, arrancadores, etc... Fuente: elaboración propia.

2.3 Análisis de implementación

El crecimiento de la industria de datos y su integración a otras diversas actividades económicas, enfocándonos en la manufactura; junto a la existente dependencia de los datos y la digitalización, ha provocado una creciente implementación de IT sobre la infraestructura tradicional, es decir, que el tamaño y la cantidad de centros de datos ha aumentado.⁶⁵

Esto evidentemente al incremento del uso de medios de internet y comunicaciones, así como la convergencia con la industria mediante la inclusión de diversas aplicaciones con enfoques específicos, los cuales demandan una mayor necesidad

⁶⁵ Esta afirmación hace referencia específicamente a la implementación de IT en Estados Unidos, en donde se ha observado la tendencia de análisis de un crecimiento superior de 50 veces el tamaño de implementación de hace 40 años. Esta tendencia se analizó en el capítulo “Evolución del modelo productivo y la fuerza de trabajo”, que está incluido en este trabajo de investigación.

de servicios de datos⁶⁶; tal es el caso de: la manufactura, la banca y servicios financieros, el comercio, el sector salud, etc...

Como ya se mencionó al inicio del capítulo, existirá un incremento de hardware instalado en el mundo; de esta manera se generará una mayor y amplia red de elementos interconectados (M2M). Es decir, mayor información que analizar.

Dado el alto interés del análisis de datos, diversas empresas han optado por la solución de big data para mantenerse competitivos, mejorando su operatividad, productividad y generando nuevas oportunidades.

Existen diversos factores que afectan la transformación a la industria conectada, en primera parte se debe considerar que nivel de integración se planea alcanzar; para posteriormente analizar los requerimientos de implementación.

Entonces, la empresa, de acuerdo al nivel de integración y control que desea adquirir, será el tipo de inversión en infraestructura que realizará. Suponiendo que la empresa ya dispone de sistemas de control y automatización de procesos pero desea un nivel de adquisición de datos (SCADA) o más allá, desea poder consolidarse en un nivel ERP.

Entonces, la primera parte consistirá en la “conexión” de la industria, es en este punto que los proyectos de big data y digitalización solo son una planeación; es así que se deben desarrollar soluciones para poder implementar una interconexión de los elementos físicos en la manufactura.

La “visualización” de los procesos mediante parámetros establecidos basados en la información que recaban sensores u generadores de información, como pudimos observar en la ilustración de ejemplo de aplicación HMI/SCADA; en este punto de implementación ya puede enfocarse en soluciones de “eficiencia” operativa.

La interconexión se convierte efectiva y la comunicación entre máquinas se vuelve fluida con una gran capacidad adquisición de datos; solo queda desarrollar aplicaciones específicas para el análisis de datos, es decir, se utilizarán técnicas estadísticas desarrolladas específicamente para las necesidades de la empresa en su manufactura.

⁶⁶ Se estimó que el crecimiento de servidores instalados en Estados Unidos crecería 15.8 millones del año 2000 a 2010, esta tendencia se ha marcado de manera lineal, lo que podría considerar que existirá un crecimiento similar para el año 2020. (U. S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program, 2007)

De esta manera poder dar solución a problemas de raíz, optimizar todos los niveles operativos y hacer efectiva la transformación industrial. Para lograr esto, se debe centrar en áreas típicas de desarrollo para la implementación.

Es decir, de primera mano la búsqueda de infraestructura específica considerando además como punto importante, que debe existir flexibilidad de interconexión de los elementos en la infraestructura.

Específicamente en la manufactura, se debe considerar las ventajas que se puede tener al invertir en infraestructura de un *data center*, a su vez, poder elegir qué tipo de infraestructura se acopla a las necesidades de la empresa.

Si bien sabemos, por el análisis previo en el subtema “infraestructura”, que la construcción de un centro de datos conlleva la planeación de un espacio dedicado cien por ciento a equipo de almacenamiento y procesamiento de datos, así como invertir en sistemas de refrigeración y energía.

Ya que la construcción de un centro de datos solo sería factible si se tratara de una empresa de servicios; aunque de acuerdo al tamaño del centro de datos que se construirá.

Entonces, para una empresa dedicada a la manufactura, las mejores soluciones de implementación big data se encuentran en el pilar de *Cloud Computing*; así, de esta manera las empresas pueden comenzar a planear un proyecto de implementación comenzando por la alianza estratégica.⁶⁷

Se puede optar por invertir en una infraestructura de data center de acuerdo a sus necesidades y adquirir soluciones de big data pre configuradas a través de *Cloud Computing* con empresas que ofrezcan servicios de IT, con infraestructura específica para esta tarea, se puede utilizar todas las ventajas físicas de un servidor o miles de estos pero en la nube.

Esto reduce ampliamente el costo de inversión a largo plazo, considerando los costos de energía, seguridad y mantenimiento de este tipo de máquina; además de evitar el tiempo y los recursos invertidos.

⁶⁷ El futuro de las empresas se centrará en desarrollar alianzas estratégicas, basadas principalmente en la tecnología y la información. El crecimiento de las empresas dependerá en gran parte en cómo se establecerá las estrategias de negocios y operatividad.

Sobre todo, que muchas empresas deben reconocer la falta de experiencia en el tema de implementación, a pesar, de que existen múltiples herramientas, como *Hadoop*, diseñados para poder formar una estructura interna de big data desde cero.

Ya que la mayoría de las empresas enfocan más su atención en la infraestructura física de su empresa; servidores, storage, redes, seguridad y otros dispositivos de IT, entonces enfocaremos el análisis en este punto.

Aunque muchas empresas deciden invertir en equipo de IT de bajo costo, estos pueden carecer de las características de rendimiento y confiabilidad, es mejor poder hacer una inversión considerable y poder aprovechar al máximo la solución big data.

Para poder profundizar el análisis, nos basaremos en un proyecto modelo propuesto por Enterprise Strategy Group, con soluciones de Oracle e Intel⁶⁸, de tamaño mediano y clase empresarial.

Item	Cost	Notes
Servers	\$708,561	Eighteen @ \$39,365 each; enterprise-class, each with: two Intel Xeon 18-core processors, eight 16GB memory kits, twelve 8TB hard drives, network card, and dual power supplies
Networking	\$37,500	Three Mellanox 36-port Infiniband switches at \$10,500 each, plus \$6,000 cabling
Rack enclosure	\$5,000	Including cables, looms, patch panels, etc.
Hardware support (three years)	\$112,659	@15% of list cost of above items
OS licenses	\$66,042	Red Hat Enterprise Linux at \$1,223 annually for each of 18 nodes for 3 years
Hadoop licensing	\$388,800	Cloudera Enterprise Data Hub at \$7,200 annually for each of 18 nodes for 3 years
Build Project Costs	\$1,318,562	

Ilustración 12. Análisis de costos y descripción de proyecto. Fuente: Enterprise Strategy Group

Este proyecto propuesto tiene capacidad para 200 usuarios finales; 150 usuarios finales de negocios y 50 analistas de datos. La capacidad del servidor es de clase empresarial, con una alta densidad de almacenamiento, fuentes de alimentación de respaldo para trabajo ininterrumpido; el costo por servidor es de \$39,365 dólares⁶⁹.

⁶⁸ (Rouda & DeMattia, 2015)

⁶⁹ Este análisis se realizó en diciembre de 2015, considerar costos y tipo de cambio actual.

Además de una capacidad de almacenamiento de 1,728 TB, una red de conexión con múltiples conmutadores infiniband, asegurando la movilidad y seguridad de los datos. Este proyecto está planeado para su total integración, en un tiempo de seis meses.

Un mes para arquitectura y diseño, un mes para configuración, implementación de hardware y red, dos meses de desarrollo considerando la integración incluyendo la capacitación, un mes para pruebas integrales de sistema y finalmente un mes de holgura.

La mayoría de los costos provienen del hardware y redes, además de costos de licencia de software y soporte; no sin mencionar los costos y el tiempo de montaje, los cuales no se describen.

La siguiente opción, igualmente propuesta por Enterprise Strategy Group, da la posibilidad de adquirir los mismos beneficios de instalar la infraestructura ya descrita pero de manera virtual.

Item	Cost	Notes
<i>Appliance (18 node)</i>	\$525,000	Oracle BDA list price
<i>Hardware and Software Support</i>	\$189,000	\$63k annually for 3 years of full support
<i>Installation</i>	\$11,000	By Oracle professional services
Total	\$725,000	

Ilustración 13. Opción de compra de Oracle BDA, incluyendo distribución Hadoop, almacenamiento, red, soporte de hardware, etc... Fuentes: Enterprise Strategy Group/Oracle.

La diferencia de costos de implementación es muy notoria, lo que significativamente comprueba que la mejor solución es comprar servicios de IT a través de *Cloud Computing*, además de considerar diversos factores a largo plazo.

Item	Cost	Notes
<i>Buy Total</i>	\$725,000	Cost of Oracle Big Data Appliance including installation and three years of support
<i>Build Total</i>	\$1,318,562	See Appendix for detailed inventory
<i>Buy Savings</i>	\$593,562	Over three-year period
ESG Estimated Savings	~45%	Oracle BDA appliance lowers costs versus do-it-yourself

Ilustración 14. Comparación de costos, proyecto de construcción de infraestructura propia o compra de servicios de IT. Fuente: Enterprise Strategy Group.

Las soluciones pueden ser subjetivas, de acuerdo a las necesidades de cada empresa y su criterio de inversión; aun así, los servicios en la nube continúan creciendo a

un ritmo rápido, y cada vez más son los clientes los que prefieren este tipo de soluciones.

Posiblemente la construcción de un data center tenga beneficios a largo plazo, de acuerdo a su infraestructura y enfoque; los costos pueden ser un esbozo engañoso, tal vez la búsqueda de los más accesible puede resultar el factor más importante, sin embargo, se debe determinar con tiempo el alcance del proyecto, su factibilidad y la opción más viable.

CAPÍTULO 3. PROYECCIONES

La principal característica de la industria 4.0 es la implementación de recursos humanos con alto nivel de conocimiento y capacitación, una alta difusión tecnológica y sobre todo una infraestructura de IT integrada a los procesos productivos.

Buscando la flexibilidad, las nuevas estructuras deben ajustarse a los modelos productivos actuales; la automatización en conjunto con las tecnologías de la información, la robótica, la IA y el *machine learning*; han redefinido los roles sociales y productivos en la industria.

Si bien este modelo productivo puede ser un aliado en el futuro, se debe considerar el potencial que se tiene de la implementación de estas tecnologías al integrarlas a las operaciones o actividades diarias; surgiendo así la duda sobre ¿Hasta qué punto las maquinas pueden remplazarnos?

La transición y la reestructuración de las organizaciones sociales y productivas, siempre han tenido como efecto sobre la sociedad, la duda y el rechazo; sobre todo, cuando ha existido la tendencia de desplazamiento de factor humano y en muchos casos disminución de costos de mano de obra.

En la actual era de la información, vivimos un tiempo diferente; que aunque puede ser más predecible, es vital poder preparar a las personas a los futuros retos que se enfrentaran en la industria.

Aunque la automatización inteligente y la industria conectada han tenido un gran efecto a nivel global, se debe analizar el alcance y el impacto de implementación, así como determinar los limitantes. Esto, desde un enfoque económico y social; con el objetivo de romper mitos y proporcionar una clara vista del futuro organizacional y productivo.

3.1 Futuros escenarios para la industria

Desde la última década, la inserción de tecnologías digitales satisface las demandas de los consumidores; pero además, en la industria 4.0 se han implementado para

mejorar la productividad y sostenibilidad en las empresas. Dando como resultado, la creación y remuneración de nuevos empleos que se enfocan a esta industria.

Mientras tanto, el desarrollo y establecimiento de industrias que continúan dependiendo en gran parte del trabajo manual-mecánico han estancado su productividad; y la infraestructura digital ha sido la solución clave para implementar.

Esta infraestructura incluye; sistemas conectados, inteligencia artificial, automatización y robótica, modelos de información y tecnología en la nube. Pronto las empresas dependerán completamente de los sistemas digitales, canalizando todos sus recursos materiales, informáticos, laborales, etc..., con la finalidad de aumentar el potencial de eficiencia productiva.

El factor principal es eliminar el trabajo manual innecesario y dar valor a la cadena productiva, es decir, las empresas se enfocan a una fabricación personalizada; toda la información referente al cliente y la manufactura de su producto es el activo más importante.

De igual manera que los procesos se transformarán, influenciados por la digitalización, también las tareas de gestión, administración y organización evolucionarán; los empleos deberán ser altamente calificados, con habilidades y capacidades concretas, sobre todo de gestión y liderazgo.

El rol del trabajador evolucionará con la introducción de la industria 4.0, la adopción al cambio estará delimitado por su capacidad de análisis y manejo de sistemas digitales, software. Específicamente, el futuro requerirá nuevas habilidades laborales.

Expertos en robótica, programadores y trabajos con habilidades de ingeniería, planificadores de producción con conocimiento en lean manufacturing, logística y economía.

Esto precisamente a que existirán nuevos trabajos y negocios en torno a la información, los datos y el análisis; aportando un panorama más competitivo en el mercado laboral y con más oportunidades, ya que la información generará un gran volumen de datos que continuará creciendo de manera indefinida y esto además creará oportunidades de utilidad en un futuro para crear nuevos servicios.

Muchas y diversas empresas ya usan datos de equipos en tiempo real para proporcionar servicios similares. Rolls-Royce en la industria aeroespacial, analiza datos en tiempo real de los motores de los aviones para ayudar a los clientes a

aumentar el tiempo de ejecución de un motor, basado en este servicio, Rolls-Royce ofrece a sus clientes la opción de pagar por los motores de los aviones por la hora de tiempo de ejecución en lugar de comprar el equipo directamente.⁷⁰

De manera similar otras empresas de manufactura como SKF⁷¹ han creado servicios a partir de la información que generan, utilizando la información predictiva para observar y valorar riesgos, dar soluciones de mantenimiento y otros servicios avanzados basados en big data y machine-to-machine.

Esto generará un alto nivel de integración en la industria, asegurando la movilidad de los datos a través de los activos instalados, extendiendo su vida útil, mejorar la calidad, reducir riesgos y costos, y tener una mejor planificación de sus proyectos y organización.



Ilustración 15. Transformación en la industria, factor humano con alto nivel de gestión y liderazgo (Soft Skills), digitalización de procesos y creación de oportunidades a partir de la información generada. Fuentes: (World Economic Forum. Committed to Improving The State Of The World, 2018)

⁷⁰ (World Economic Forum. Committed to Improving The State Of The World, 2018)

⁷¹ El rodamiento Insight de SKF, utiliza la tecnología de IoT para monitorear la condición operativa y monitorear el riesgo. De esta manera puede ofrecerle a los clientes la posibilidad de análisis y servicios de mantenimiento basados en sus datos, reduciendo tiempos perdidos, paradas y mantenimientos innecesarios, reflejando así un beneficio en costos y en trabajo manual innecesario.

<http://www.skf.com/in/products/condition-monitoring/skfinsight.html>

3.2 Alcance e impacto

Los tiempos de evolución tecnológica han tenido un evidente acortamiento, y la sociedad ha logrado desarrollar una rápida adaptación a estos cambios; sobre todo, han mantenido la capacidad de incluirse efectivamente a todos los niveles productivos de la nueva era.

Evidentemente, el uso de estas tecnologías ha mejorado la productividad y la calidad de vida de muchas personas; sin embargo, su uso también ha sustituido algunas actividades laborales que eran realizadas por personas, es por esto que la preocupación social nunca ha desaparecido.

La incertidumbre siempre ha sido un motor de inconformidad social, siendo la nueva estructura social y organizativa el nuevo tema central; este paradigma ha proporcionado a la sociedad una ventana informativa sobre cómo se desarrollara el futuro.

Si bien, ya conocemos la capacidad de remplazo que el nuevo modelo productivo puede provocar⁷²; existen límites que afectan el ritmo y adopción tecnológica, tal podría ser la viabilidad técnica, el costo de implementación y desarrollo o incluso la dinámica en el campo laboral.⁷³

Este potencial de automatización varía de acuerdo al país, la ocupación y el sector; únicamente en México existe un potencial de 52% de automatización, es decir, cerca de 25.5 millones de empleos pueden ser automatizables.⁷⁴

En su mayoría son empleos relacionados con la manufactura, cuyo nivel de automatización es alto; de los 7.7 millones de empleos en la manufactura en México, el 64% puede reemplazarse por tecnologías probadas, es decir, 4.9 millones de empleos, no sin mencionar las demás ocupaciones.⁷⁵

⁷² Como se mencionó en el primer capítulo, del 60 por ciento de las ocupaciones, tienen al menos 30 por ciento de actividades automatizables; y el 5 por ciento de las ocupaciones pueden ser automatizadas en su totalidad. (Manyika, y otros, 2017)

⁷³ Sirva de utilidad visualizar las tablas de datos en el apartado de infografía.

⁷⁴ Recursos estadísticos recabados de la publicación “Where machines could replace humans – and where they can’t”, datos de las Fuentes EMSI; Oxford Economic Forecasting; US Bureau of Labor Statistics; McKinsey analysis.

<https://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/InternationalAutomation/WhereMachinesCanReplaceHumans>

⁷⁵ Sirva de utilidad visualizar las tablas de datos en el apartado de infografía.

En los datos estadísticos, se puede determinar que China tiene el mismo porcentaje de automatización; sin embargo, a diferencia de México, el número de habitantes y empleadores en China es mayor. Es decir, cerca de 395.3 millones de empleos de 775 millones pueden ser reemplazados, de los cuales 93.3 empleos son de manufactura.

La comparación entre Estados Unidos y México no es tan divergente, ya que en Estados Unidos 7.2 millones de empleos de manufactura pueden ser desplazados.

Tal como se analizó en el primer capítulo, este capital de factor humano desplazado se empleara en otro tipo de sector y ocupación; como se pudo observar, en la transición de la sociedad *postagrícola* y *postindustrial*.

De esta manera se puede esbozar con mayor claridad, cuál será el escenario para el empleo; existe una evidente posibilidad de que la industria de servicios y de IT tengan un crecimiento de empleo, pero de igual manera el empleo en la manufactura continuara creciendo.

Esto, basados en la demanda de consumo mundial⁷⁶, la cuál de tener un crecimiento podrá reflejarse en nuevos empleos; relacionado a la inversión que el crecimiento poblacional demandara: energía, construcción, manufactura, salud, educación, etc...

También, en medida que la población crece, los patrones de consumo también cambian; es por esto que la población en edad de trabajar tendrá la responsabilidad de mantener la productividad.

En México, la edad promedio es de 27 años, es decir que la población en edad de trabajar tiene un crecimiento rápido, y la oportunidad de crecimiento y creación de empleos es un reto.

Sobre todo, se crearán empleos entorno a las nuevas necesidades, principalmente relacionados al desarrollo e implementación de tecnologías; con lo cual al aumentar el empleo para este tipo de tareas también se incrementara el gasto.

Como se logró determinar en los anteriores capítulos, el costo de mano de obra tendrá un incremento mientras que el costo de tecnologías será descendente,

⁷⁶ Se ha estimado que la demanda de consumo a nivel mundial podría ascender a 23 billones de dólares en 2030, y la mayor parte vendrá de economía emergentes. (Manyika, y otros, 2017)

encontrándose en un punto de inflexión en donde será mucho mayor razonable y efectivo invertir en la integración de tecnologías.

En efecto de esta tendencia, los empleos desplazados en la manufactura cambiarán de categoría ocupacional y deberán aprender nuevas habilidades; estos cambios, serán de gran tamaño pero de manera pausada. Diversos factores influirán para que se pueda determinar el escenario que se presentará.

3.2.1 Adopción

Este primer factor es social, aun cuando se conoce los múltiples beneficios de la implementación del nuevo modelo productivo y la integración de tecnologías en la manufactura; continúan existiendo diversas barreras que limitan o desaceleran el crecimiento y desarrollo de esta industria.

Si bien, el cambio de modelo productivo y el desplazamiento de factor humano no serán rápidos; durante el periodo de transición se tendrá que enfrentar a la aceptación y adopción social y regulatoria, es decir, modificar el ecosistema de trabajo, vida personal, política gubernamental, etc...

Esta adopción es más aceptada por las empresas, ya que los salarios altos son un motivo sólido; sin embargo, también los países con salarios bajos se verían afectados si las empresas deciden integrar a su industria esta tecnología con el objetivo de mejorar la calidad o acercar la producción a los consumidores finales en países con altos salarios.

La creación de empleos será entonces, una solución a la adopción social; estimando que estos trabajos en su mayoría serán creados en países con un alto nivel de eficiencia y productividad. Países con un lento crecimiento económico⁷⁷ representan una lenta creación de empleos y por tanto una mayor desaprobación social. Esto determinado siempre desde un punto de vista objetivo, en donde el escenario futuro sea real a este análisis.

⁷⁷ México ha tenido un lento crecimiento económico, con una alta desaprobación social y gubernamental; indicadores de inversión, empleos y ocupación, productividad, pobreza, crédito y deuda pública tuvieron una evaluación negativa. Niveles históricamente altos de endeudamiento en proporción al PIB corriente.

Fuente: Navarro María Fernanda, *Gobierno de Peña alcanza crecimiento económico, pero no sostenido*. Forbes México. Abril 11, 2018.

Para esto, el poder generar nuevos empleos y retener los empleos existentes, las empresas deben expandir sus áreas en las que se recluta talento, mejorar la imagen de la industria mejorando la percepción pública promoviendo la relevancia, y establecer prácticas continuas de aprendizaje y desarrollo.

El factor humano deberá estar mejor capacitado, sobretodo enfocarse en desarrolla habilidades blandas; adoptándose a las nuevas tecnologías y los modelos de producción y organización, sobre todo la adaptación como habilidad principal.

El constante cambio tecnológico demandará una mayor capacidad de adaptación, en el que el trabajador deberá ser flexible con una rápida y ágil reacción de integración.

La resistencia al cambio podrá significar un obstáculo para el desarrollo, específicamente si las personas no entienden el cambio o no lo aceptan; por lo general, el principal error es limitar el ajuste tecnológico ignorando la integración de componentes sociales y culturales.⁷⁸

Es por esto que, la gestión de transformación debe ser integral; dar a conocer a los futuros trabajadores, el valor de cambios previstos y cuáles son los riesgos que se deberán afrontar.

Cultivando un entorno de aprendizaje, promoviendo nuevos hábitos de trabajo y productividad⁷⁹; generando una organización flexible que pueda hacer frente con mayor fuerza e independencia a la evolución en la industria y el mercado laboral.

3.2.2 Viabilidad Técnica

La interoperabilidad y la estandarización se han convertido en un paradigma de competitividad para la industria, la falta de regularización en este tema ha provocado que la integración en la industria sea un reto; principalmente porque este modelo productivo tiene como objetivo interconectar todos los elementos y activos que se encuentran instalados.

La interoperabilidad preside de poder alcanzar un mayor nivel de funcionalidad a través de la comunicación, la cual debe ser operacional, sistemática, técnica y

⁷⁸ (World Economic Forum. Committed to Improving The State Of The World, 2018)

⁷⁹ (Peters, 2015)Una lectura de gran recomendación para poder entender la importancia de reorganización en las empresas.

semántica; para esto puede ser factible la estandarización, para así poder definir o establecer criterios que promuevan un desarrollo unilateral.

Esto mismo ocurrió durante la década de 1980, con las “islas de automatización”; las cuales en un inicio eran incapaces de comunicarse. De esto, surgieron diversos protocolos de comunicación, de tal manera que se logró integrar el proceso productivo a través de estandarización y establecimiento de métodos y prácticas.

Entonces, no se trata de un escenario desconocido; además de que la industria siempre presentara fallas en su implementación, sobre todo si no se considera este punto. Es por esto que se debe desarrollar una arquitectura orientada a la conectividad centrado a la integración y la cobertura de los procesos.

3.3 Conclusiones

México afronta actualmente un escenario difícil para la competitividad⁸⁰ a pesar de tener una gran apertura comercial, principalmente con Estados Unidos, se ha mostrado como economía estancada con variable en la industria y sobre todo un mercado laboral vulnerable a factores externos.

Esto, basado en los índices de crecimiento económico estructurados en doce pilares de competencia económica; en los que incluye la innovación, la infraestructura, la tecnología, la eficiencia del mercado laboral, etc...

Generando así un paradigma de competencia global, ligado a la nueva estructura social y económica que se sustenta principalmente en un modelo informacional e interconectado. Aunque México ha presentado un crecimiento en el número de empleos e inversión industrial, su amplia apertura ha sido también factor de desestabilidad y bajo dinamismo económico.

Esto representa un reto de inclusión económica, en donde, México deberá generar un modelo de crecimiento competitivo y sustentable, insertándose en la globalización con una articulación productiva y de cohesión social interna.⁸¹

Es decir, este crecimiento se presentará, o deberá presentarse, de manera interna; como pudo analizarse sobre datos de empleos, población y tecnología, México tiene un alto nivel de implementación tecnológica, desplazando principalmente

⁸⁰ (Committed To Improving The State Of The World, 2017) México ha mantenido su nivel de competitividad económica durante los últimos 4 años.

⁸¹ (Villarreal & De Villarreal, 2002)

factor humano que se encuentra laborando en el sector de manufactura, que es una de las principales actividades económicas del país.

Lo que también puede identificarse es, que la población con edad de trabajar podrá ayudar efectivamente a mantener los niveles de productividad; pero el verdadero reto radica en torno al paradigma de desarrollo en donde influyen diversos actores sociales: trabajadores, empresarios y gobierno. Sustentándose de esta manera, los nuevos modelos productivos de la industria 4.0, en la estructura social.

La apertura comercial tiene una estrecha relación a la competitividad en México, fundamentalmente poder determinar qué porcentaje de la industria exportadora (IE) proviene de la manufactura y qué porcentaje de la maquila⁸², esto debido a que actualmente la mayoría de las exportaciones de manufactura en México, tienen un alto contenido de productos importados.

Es decir, se ha desarticulado las cadenas productivas en México; produciendo así un modelo industrial con dinamismo económico pero de bajo arrastre interno, una manufactura con poco contenido nacional o bien manufactura de ensamble, en donde solo es factible por la mano de obra.

La evolución del modelo productivo industrial ha modificado a escala los modelos de negocios de las empresas, hace algunos años el modelo de apertura económica suponía que la atracción de un mayor flujo de inversión extranjera directa (IED) sumado a la transferencia de tecnología, aumentaría la productividad.⁸³

Sin embargo, como ya hemos determinado, la sumada revolución de las tecnologías de la información y la estructura social informacional hicieron frente a la nueva estructura económica y productiva de México; en donde, este no tuvo la capacidad de absorber el cambio tecnológico y la disponibilidad de estas nuevas tecnologías para elevar la productividad.

En este punto, haremos un breve paréntesis, si bien México es un país considerado con alta disponibilidad de inversión para tecnologías de la información, lo más importante es considerar la integración de estas tecnologías a la manufactura.

Es así que la industria 4.0 se constituye, principalmente por la digitalización de sus procesos impulsado por la información que se genera en los procesos, es decir, no

⁸² Sirva de gran utilidad poder observar el análisis sobre exportaciones, importaciones y complejidad económica de México. <https://atlas.media.mit.edu/es/>

⁸³ (Villarreal & De Villarreal, 2002, pág. 21)

solo la fabricación de IT, sino su efectiva inclusión al sector industrial y la manufactura.

Esta industria, moldeada por el modelo de producción integral, plantea una nueva visión empresarial en donde el cliente se convierte en el centro de la atención productiva basada en el *market driven*, el *mass costumizing* y la *taylor made*⁸⁴, así las redes globales (*network*) y las alianzas estratégicas conforman el nuevo modelo de competencia económica.

El análisis de implementación tecnológica que se realizó en este trabajo de investigación, sustenta esta afirmación; ya que a los costos de tecnologías probadas tenderán a disminuir progresivamente, esto debido a la alta demanda de implementación.

Si bien, el análisis sobre desplazamiento de factor humano y los datos recabados de diversas fuentes, fueron valorados en torno a tecnologías ya probadas; las nuevas tecnologías tendrán que moldearse a las necesidades, demandas y retos del sector productivo, la economía y sociedad en general.

Como es evidente, la nueva competencia trasciende de una ventaja competitiva básica (VCB) a una ventaja competitiva revelada (VCR) y ventaja competitiva sustentable (VCS), es decir, la hipercompetencia global en donde ya no solo se compite empresa-empresa, sino región-región, clúster-clúster y país-país.

Los costos de investigación y desarrollo tecnológico se tornan elevados⁸⁵, los cuales estarán específicamente dirigido por empresas que tienen como objetivo esta tarea; la adopción y la viabilidad técnica podrá considerarse una barrera, como ya pudimos determinar, sin embargo son escenario inevitables de pisar y que si bien pudimos comprobar, a lo largo de la historia siempre han existido este tipo de barreras.

⁸⁴ (Villarreal & De Villarreal, 2002) La competencia en el mercado, del pasado modelo productivo y organizacional, era Darwinista. De acuerdo con el enfoque operacional, este era divisional y la mano de obra barata era la fuente de ventaja competitiva. Sin embargo, la nueva economía e hipercompetencia global ha proporcionado una redefinición en los negocios; mercado dinámico (*market driven*) consumo personalizado (*mass costumizing*) y producción flexible (*taylor made*), es decir, acoplado al modelo de producción integral, un modelo productivo flexible, personalizado y con base a las tecnologías de la información.

⁸⁵ (Villarreal & De Villarreal, 2002) México presenta sólo un 5% de matrícula de educación superior inscrita a investigación, a diferencia de países como Singapur, Corea, Japón, Estados Unidos y Alemania; los cuales superan por mucho esta cifra. Una de las razones significativas de esta diferencia también se refleja en que estos países superan a México en el gasto de Investigación y Desarrollo. Sirva de apoyo observar la infografía adjunta sobre gasto en investigación y desarrollo.

Es por esto que las empresas de servicios y de manufactura, unidos por las alianzas estratégicas, conforman el nuevo modelo de competencia económica; con base a la implementación de IT, digitalización de procesos productivos y tareas corporativas, así como, el uso de internet y el análisis de datos como el activo de mayor valor en la industria.

Entonces, México a pesar de su alto nivel de apertura económica, deberá afrontar esta nueva etapa que podrá consolidar la productividad y el dinamismo económico. Basados en un modelo de crecimiento interno, la creación de empleo dependerá en gran medida de la inversión establecida en el país, el aumento de salaria también será un factor determinante.

Esto, debido a que como ya consideramos, si los costos tecnológicos y de implementación disminuyen, pronto se encontraran en un punto de inflexión con los salarios de trabajadores; entonces la inversión podrá reconsiderarse de acuerdo a apertura y competencia económica.⁸⁶

Pronto la integración industrial⁸⁷, formara a ser parte de todos los procesos productivos en México y demandará mayor personal pero con capacidades específicas que se acoplen al nuevo entorno de trabajo.

México, presenta un perfil potencial de implementación tecnológica por el tipo de inversión y la capacidad de infraestructura, a pesar de tener rezagados problemas sobre desarrollo económico y social; de ser así, puede existir la gran posibilidad de crecimiento productivo.

Diversas empresas de manufactura se establecen más en México para poder tener una apertura comercial más eficiente y además competir en el mercado con los bajos costos de mano de obra. Ya concluido que las renegociaciones de tratados comerciales podrían cambiar esto, México tiene la posibilidad de acelerar su crecimiento mediante otro tipo de oportunidades.

⁸⁶ Esto puede hacer referencia a la presente renegociación del TLCAN, en donde se prevé la regularización de un piso salarial mínimo para diversos sectores, sobre todo la industria automotriz; de esta manera aunque las empresas que se establecen en México por los bajos costos de mano de obra con objeto en la competitividad; se producirá, si de ser aprobado, más vehículos en donde se pague mejor a los trabajadores. Esta propuesta es impulsada principalmente por Estados Unidos.

⁸⁷ Considerando todos los niveles de integración que se analizaron, pero específicamente considerar que la mayoría de las empresas ya optan por la automatización y digitalización. Es decir, de la escala de integración, no todas las empresas tienen la capacidad de tener un cien por ciento de integración, pero el resto de empresas (PyMES específicamente) tienen una mayor accesibilidad a la tecnología para la automatización y digitalización de procesos.

Industrias de servicios, digitalización de procesos en la manufactura, alta capacitación de trabajos, mayor inversión diversificada, inversión en educación e investigación, etc...

Infografía

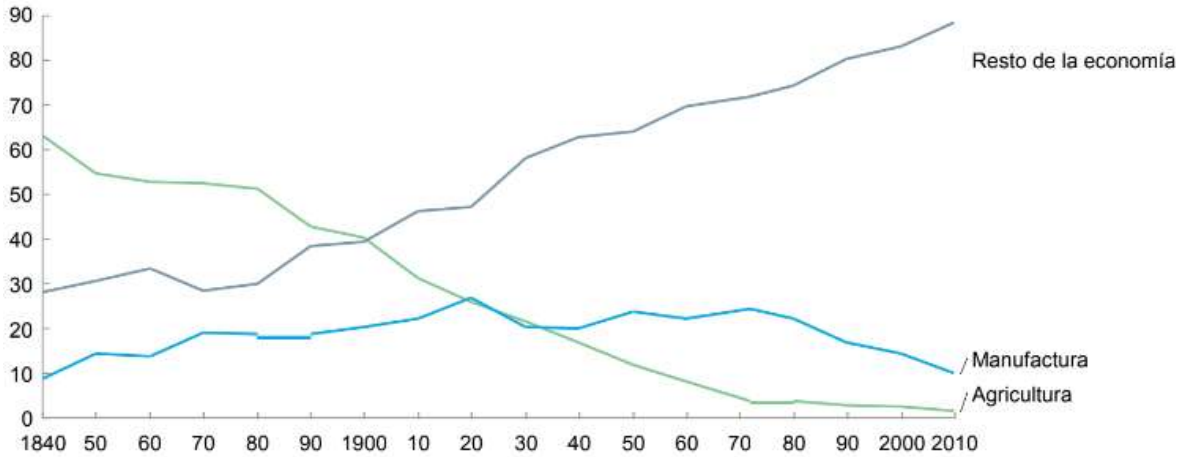


Tabla 1. Tendencia de distribución de mano de obra por sector, 1840-2010.

Fuentes: Stanley Lebergott, "Labor force and employment 1800–1960," in *Output, employment, and productivity in the United States after 1800*, Dorothy S. Brady, ed., NBER, 1966; Banco de Datos Mundial, Grupo Banco Mundial; FRED: Economic Research, Federal Reserve Bank of St. Louis; Mack Ott, "The growing share of services in the US economy—degeneration or evolution?" *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, June/July 1987; análisis del Instituto McKisney Global.

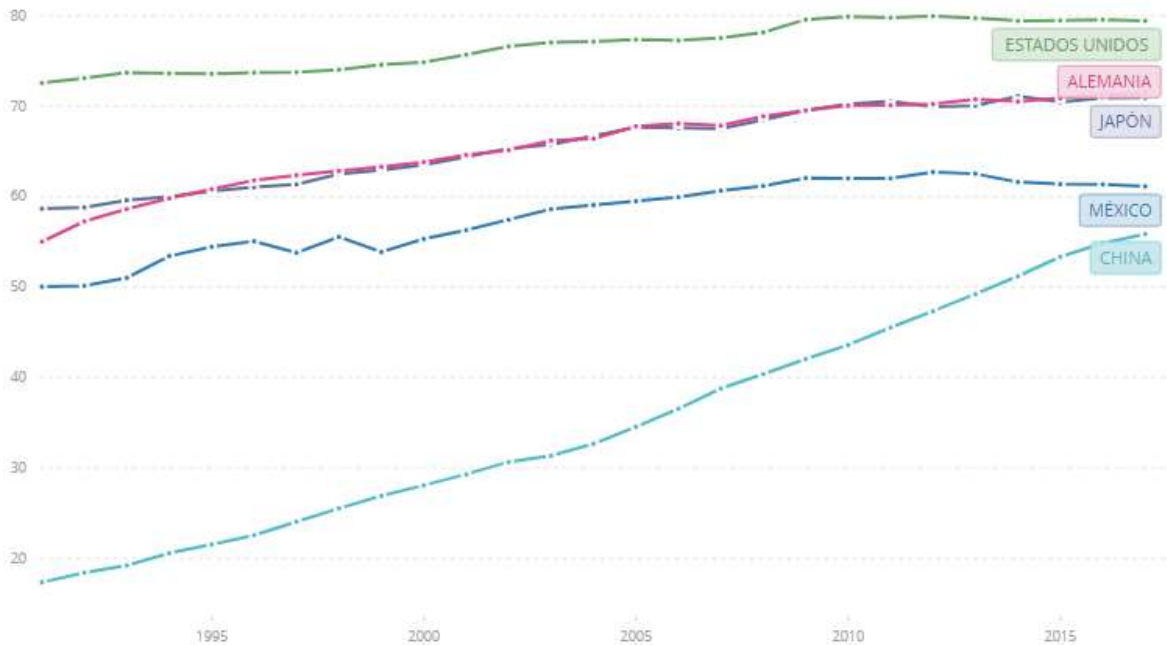


Tabla 2. Empleo en servicios (% del total de empleos), China (55.87%), México (61.128%), Japón (70.932%), Alemania (71.457%) y Estados Unidos (79.446%). Es fundamental tomar en cuenta esta información estadística y compararla con el porcentaje de empleos industriales por país.

Fuentes: Banco Mundial de Datos, Instituto de Estadística de la Organización Internacional del Trabajo, base de datos de los Indicadores Clave del Mercado de Trabajo.



Tabla 3. Empleos en la industrial (% del total de empleos), Japón y Alemania presentan una tendencia similar en el decrecimiento de empleos en la industria, sin embargo, México y Estados Unidos después del 2009, han incrementado sus empleos en la manufactura, México con 25.759% del total de empleos en 2017 cercano a su punto más alto de empleos en la manufactura en los últimos 26 años.
Fuentes: Banco Mundial de Datos, Instituto de Estadística de la Organización Internacional del Trabajo, base de datos de los Indicadores Clave del Mercado de Trabajo.

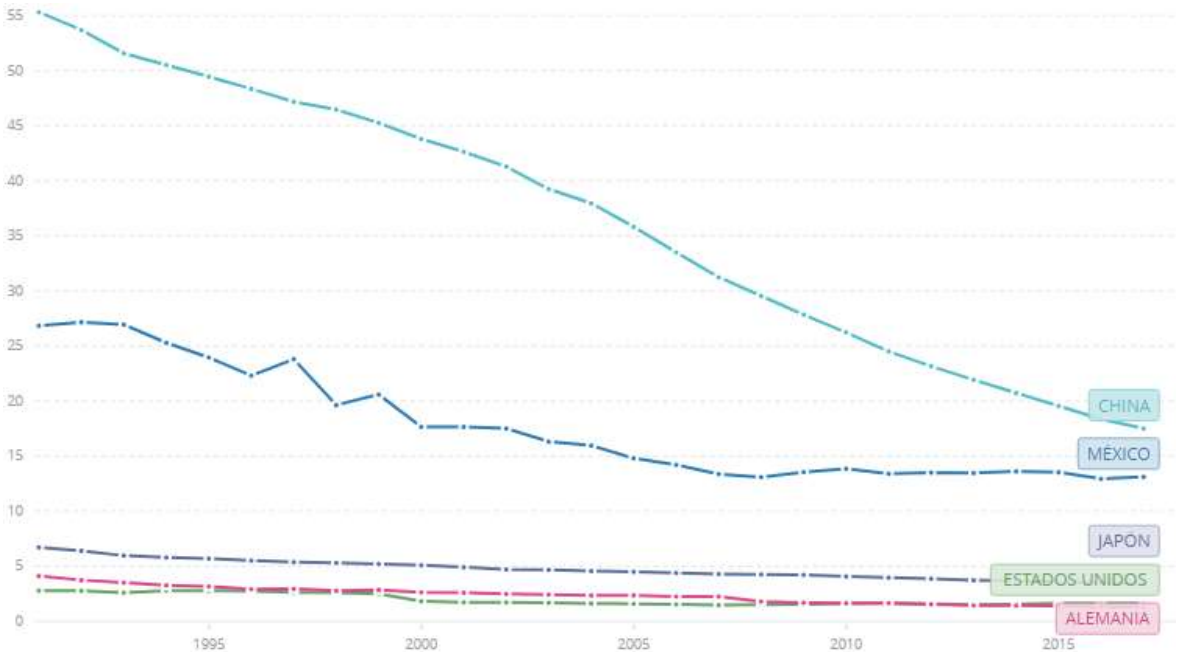


Tabla 4. Empleos en agricultura (% del total de empleos), México presenta un decrecimiento en trabajo en agricultura visiblemente más rápido que durante el Siglo XX, al igual que China; como se ha podido determinar que diversas economías redujeron sus actividades económicas en agricultura a partir de la primera revolución industrial hasta la segunda con una evidente reducción de empleos durante el periodo de postagricultura.
Fuentes: Banco Mundial de Datos, Instituto de Estadística de la Organización Internacional del Trabajo, base de datos de los Indicadores Clave del Mercado de Trabajo.

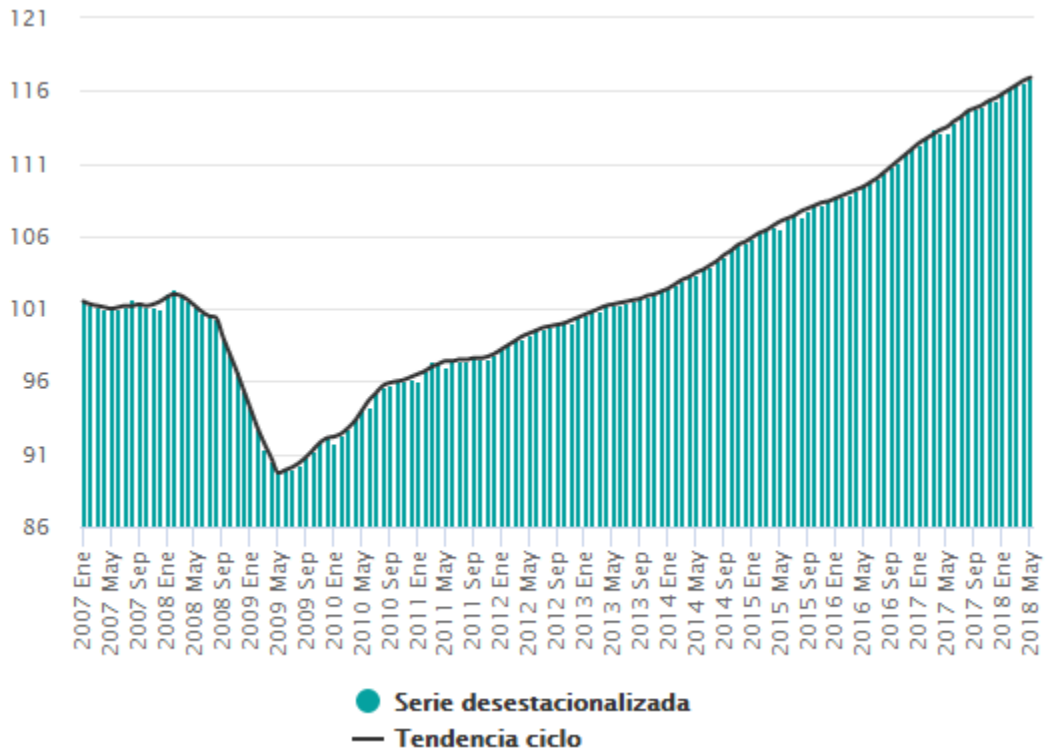


Tabla 5. Personal ocupado en el sector de manufactura en México, crecimiento mensual estimado de 0.3%, aumento de 0.9% en horas trabajadas y 0.5% de aumento en remuneraciones.
Fuente: INEGI

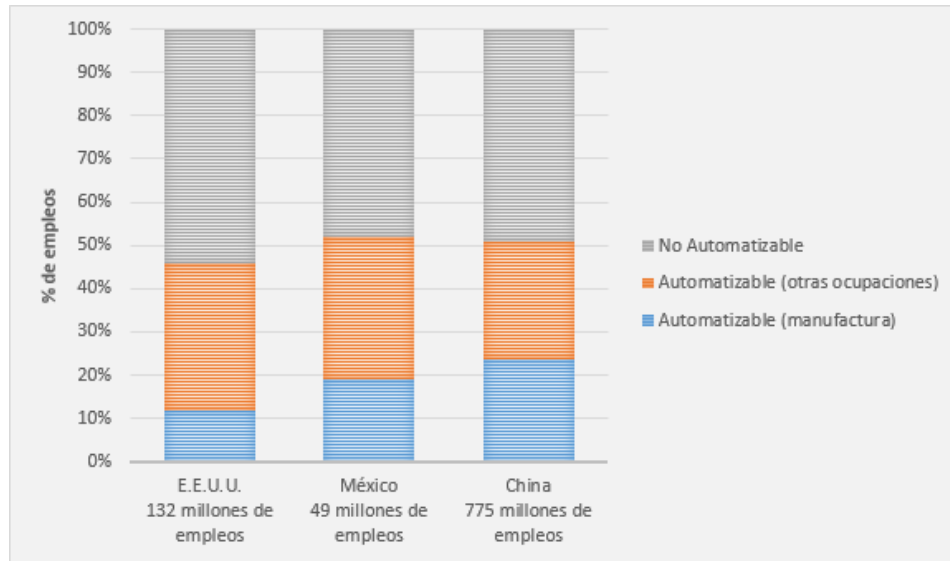


Tabla 6. Porcentaje de empleo automatizables en Estados Unidos, México y China; 46%, 52% y 51% respectivamente. Empleos automatizables en el sector de la manufactura: 7.2 millones en Estados Unidos, 4.7 millones en México y 93.3 millones en China. Elaboración: Propia.

Fuentes: EMSI; Oxford Economic Forecasting; US Bureau of Labor Statistics; McKinsey analysis

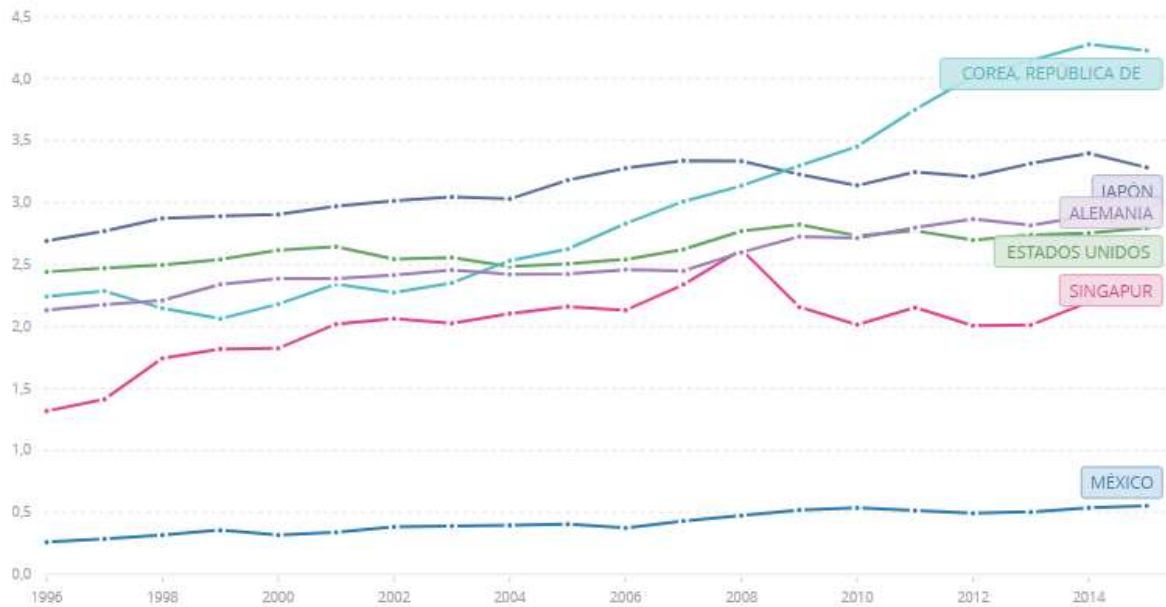


Tabla 7. Gasto en investigación y desarrollo de tecnologías (% del PIB), México (0.552% del PIB, Singapur (2.198% del PIB), Estados Unidos (2.794% del PIB), Alemania (2.877% del PIB), Japón (3.284% del PIB) y Corea (4.228% del PIB); una gran diferenciación de la inversión de participación en la creación tecnológica que supera a México. Datos actualizados hasta 2015.

Fuentes: Banco Mundial de Datos, Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

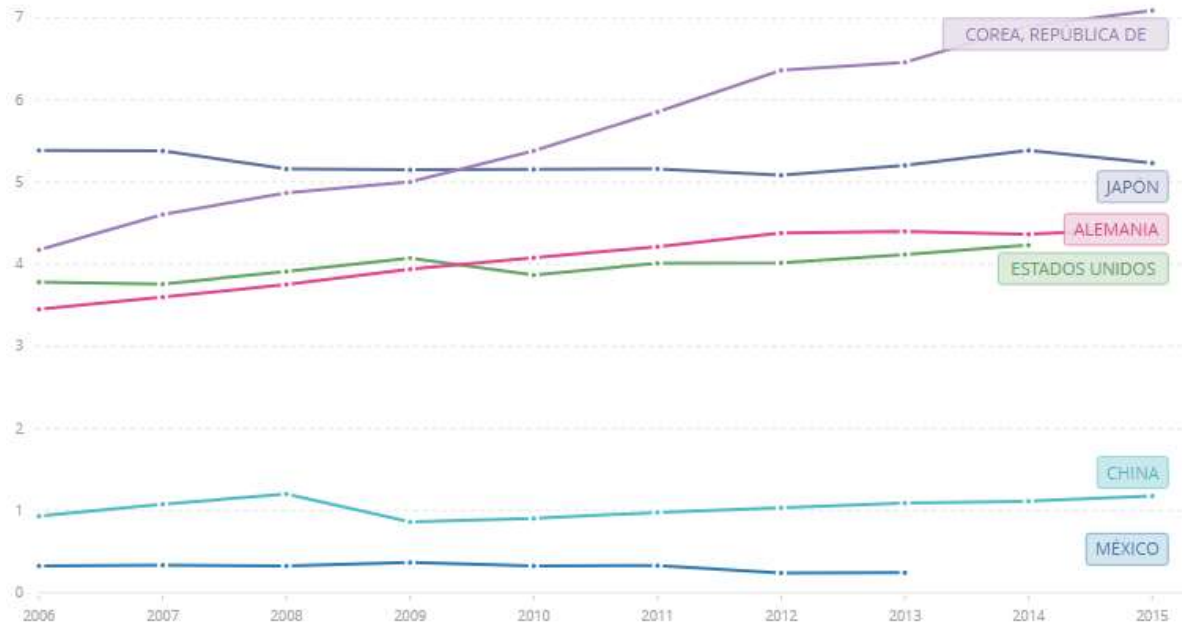


Tabla 8. Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas).
Fuentes: Banco Mundial de Datos, Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

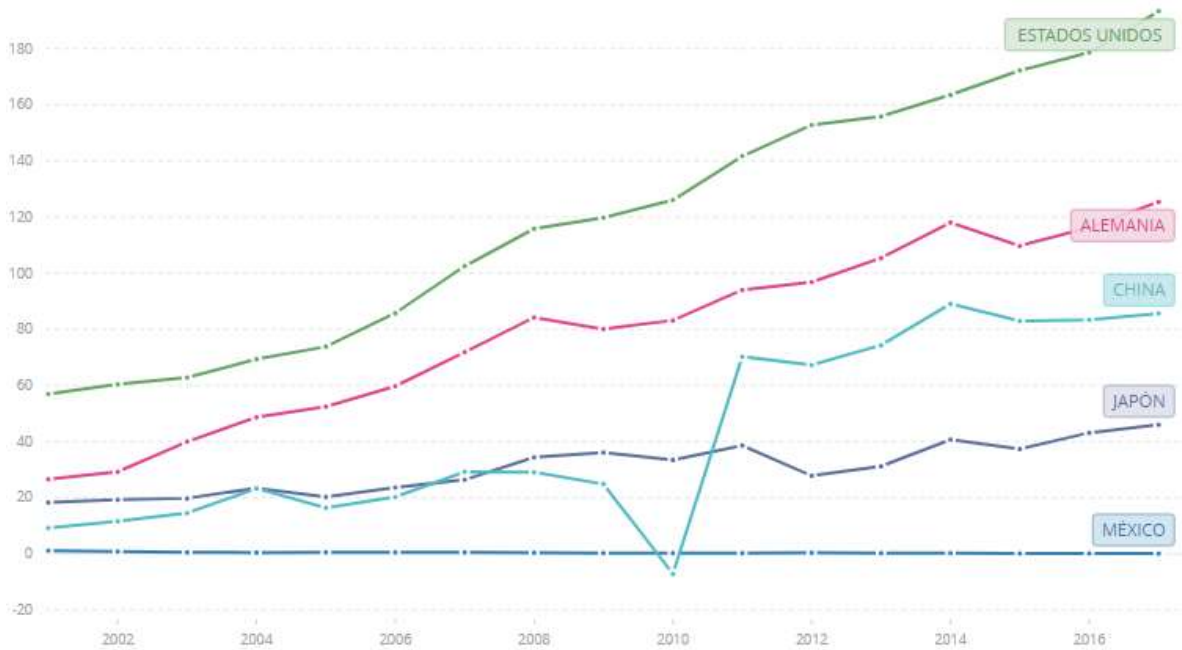


Tabla 9. Exportaciones de servicios de tecnología de la información y comunicación (balanza de pagos, US\$ a precios actuales), Estados Unidos lidera este grupo con 193,195 mil millones de dólares en exportaciones de servicios TIC, en comparativo con México que no ha logrado establecer un crecimiento en esta actividad económica, decreciendo de 1,958 mil millones de dólares en 1971 a solo 107,005.07 millones de dólares en 2017.
Fuentes: Banco Mundial de datos, Fondo Monetario Internacional, Anuario de Estadísticas de balanza de pagos y archivos de datos.

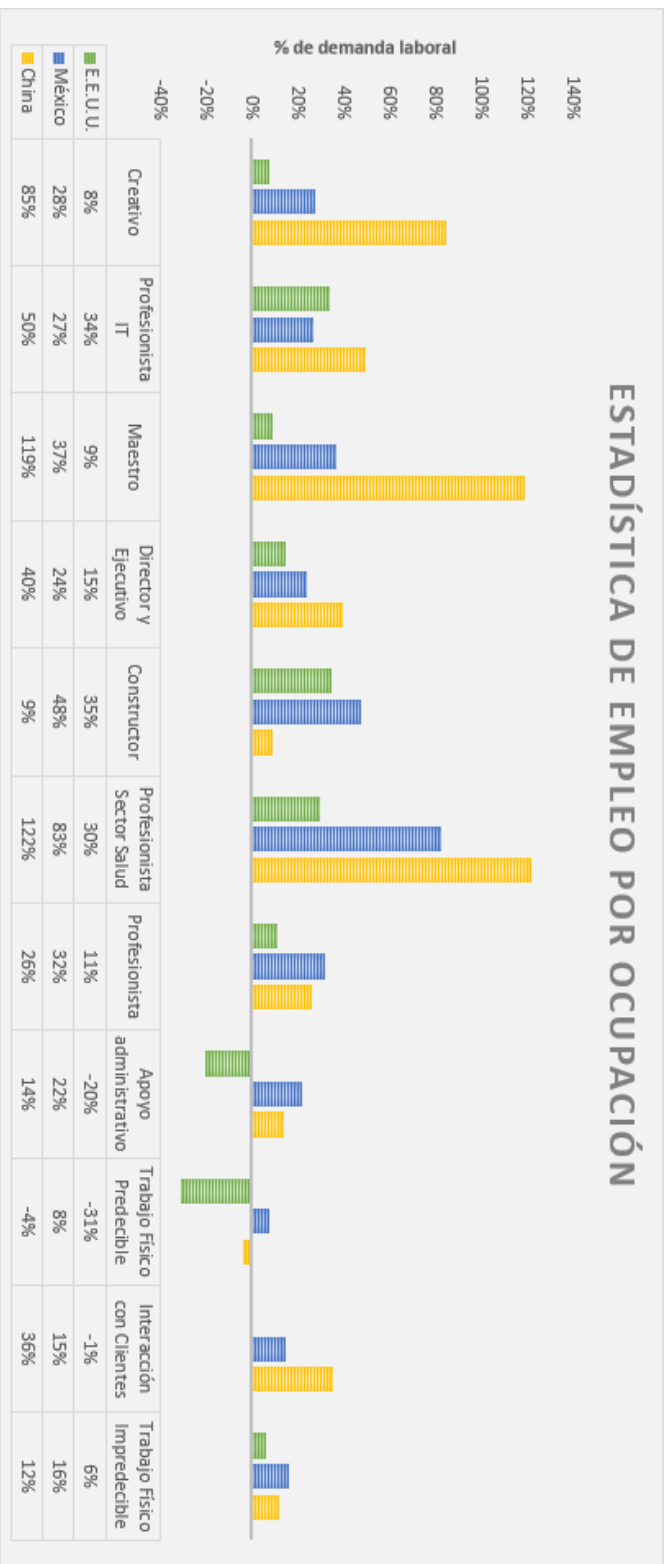


Tabla 10. Demanda laboral en Estados Unidos, México y China, siendo el trabajo creativo la ocupación con menos riesgo de automatización y el trabajo físico impredecible el que más riesgo de automatización y reemplazo de mano de obra presenta. Elaboración: Propia
 Fuentes: EMSI; Oxford Economic Forecasting; US Bureau of Labor Statistics; McKinsey analysis

Bibliografía

- Arturo, S. (2018). México, reprobado en el uso de automatización industrial . *Forbes México*.
- Asensi, F. A. (2017). *Lean Manufacturing: indicadores clave utilizados para gestionar de manera eficiente la mejora continua*.
- Barranco Fragoso, R. (2012). *¿Qué es Big Data? Todos formamos parte de ese gran crecimiento de datos*. México: IBM Corporation.
- Castells, M. (2000). *The Information Age: Economy, Society and Culture. Volume 1: The Rise of the Network Society*. Cambridge, Massachusetts: Blackwell Publishers Inc.
- Chao, G., Hurst, E., Shockley, R., Carroll, R., Finch, G., Hance, M., . . . Williams, D. (2018). *The evolution of process automation: Moving beyond basic robotics to intelligent interactions*. New York: IBM Corporation.
- Cisco. (2012). *Lo que usted necesita saber sobre routers y switches. Conceptos generales*. Cisco Systems, Inc.
- Clark, G. (2007). *A Farewell to Alms: a brief economic history of the world*. New Jersey: Princeton University Press.
- Committed To Improving The State Of The World. (2017). *The Global Competitiveness Report 2016-2017*. Geneva, Switzerland: Klaus Schwab, World Economic Forum.
- Coriat, B. (1984). *La Robotique*. Paris: La Découverte.
- Coriat, B. (1991). *Penser à l'envers*. Paris: Christian Bourgois éditeur.
- Coriat, B. (1994). *L'atelier et le robot: Essai sur le fordisme et la production de masse à l'âge de l'électronique*. Paris: Christian Bourgois éditeur.
- Datameer. (2013). *The Guide to Big Data Analytics*. Datameer, Inc.
- Forester, T. (1985). *The Information Technology Evolution*. Massachusetts: The MIT Press Cambridge.
- GE Intelligent Platforms. (2010). *The Changing Role of the Operator: Engaging and Supporting the Operator of Today Into the Future With Advanced Software Capabilities*. Trademark GE Intelligent Platforms, Inc.

- Hall, P., & Preston, P. (1988). *The Carrier Wave: new information technology and the geography of innovation 1846-2003*. London: Unwin Hyman.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *Estadísticas a Propósito de...la industria automotriz*.
- Julia, B. (2016). *Occupations in Information Technology. American Community Survey Reports*. U. S. Department of Commerce Economics and Statistics Administration.
- Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). *A future that works: automation, employment and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., . . . Sanghvi, S. (2017). *Jobs Lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a Time of Automation*. McKinsey Global Institute.
- McKinsey Global Institute. (s.f.). *Skill Shift: Automation and the future of the workforce*.
- Peters, T. (2015). *El seminario de Tom Peters. Los tiempos locos requieren organizaciones locas*. Mexico, DF: Lasser Press Mexicana, S. A. de C. V.
- Red Lion. (2016). *Sept indicateurs de performances communs pour la surveillance de la production*. Red Lion Controls Inc.
- Rogers, E. M., & Larsen, J. K. (1984). *Silicon Valley Fever: growth of high-technology culture*. Basic Books.
- Schroek, M., Shockley, R., Smart, J., Romero-Morales, D., Tufano, P., Balboni, F., . . . White, K. (2012). *Analytics: el uso de big data en el mundo real: Cómo las empresas más innovadoras extraen valor de datos inciertos*. Madrid: IBM Corporation.
- Sudhir, A. (s.f.). *Manufacturing Performance Index (MPI): The Missing Link Between Productivity Data and Profitability*.
- Sullivan, D., Eve, B., Nambiar, R., Novak, R., & Yao, R. (2016). *Big Data & Analytics for Dummies, Cisco Systems Special Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Taddei, D. (1988). *Le Temps de l'emploi*. Hachette Éducation (Réédition numérique FeniXX).

- U. S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program. (2007). *Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Public Law 109-431*.
- Villarreal, R., & De Villarreal, R. (2002). *México Competitivo 2020. Un modelo de competitividad sistémica para el desarrollo*. México: Editorial Oceano de México, S. A. de C. V.
- World Economic Forum. Committed to Improving The State Of The World. (2018). *Future Scenarios and Implications for the Industry*. World Economic Forum.
- Zanoni, L. (2014). *Futuro Inteligente*.