



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERIA DE SISTEMAS – INGENIERIA INDUSTRIAL

PANORAMA DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y
SU INFLUENCIA EN EL ENFOQUE DE PROCESOS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ADÁN VALVERDE AGUILAR

TUTOR PRINCIPAL
M.I. ARTURO FUENTES ZENÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MARZO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. José Jesús Acosta Flores

Secretario: Dr. Javier Suárez Rocha

1 er. Vocal: M.I. Arturo Fuentes Zenón

2 do. Vocal: M.I. Francisca Irene Soler Anguiano

3 er. Vocal: Dr. José Antonio Rivera Colmenero

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TUTOR DE TESIS:

M. I. Arturo Fuentes Zenón

FIRMA

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a todas sus manifestaciones, por la oportunidad de permitirme llegar a cumplir este proyecto llamado “maestría” que empezó cómo un sueño y que ahora está concluyendo, y que ahora es una de las cosas que más satisfacción y alegría me da de toda mi vida.

A mi familia:

A mi papá: Adán Valverde Zavala, porque me has enseñado ver la diferencia entre lo bueno y lo malo, y por heredarme ese carácter tan tuyo que bien enfocado es una herramienta muy útil para enfrentarme a la vida;

A mi mamá: Judith Aguilar López, porque siempre has estado conmigo, por cambiar a ternura y a amor todos mis momentos tristes y de dificultades, jamás podré expresar el amor y agradecimiento que tengo por ti mami y que sólo se siente en el pecho y se expresa en las lágrimas al escribir estas líneas;

A mi hermana: Edith Valverde Aguilar, por ser mi inspiración a través del camino que has forjado como estudiante, por ser mi amiga y que se cuentan a través de todas las experiencias vividas desde la niñez en que yo aparecí en tu vida (jejeje), y porque me ha hecho muy feliz con la familia que has formado;

A mis sobrinitas: Nati y Danna, espero poder estar siempre presente para compartir lo mejor de mí con ustedes, que pueda contar con lo que necesiten para poder brindárselo, así sea un consejo o cualquier cosa, las amo mucho; y

A mi cuñado: Marco Antonio, gracias por ser un buen esposo de mi hermana y padre de mis sobrinas, por estar en esta familia aportando lo mejor que alguien puede dar, me siento respaldado por ti para seguir formando esta familia.

A mis amigos: Hugo, Noemí, Cristina, Joana, Ángeles, Maribel, Aniram, Viridiana, y Verónica, por todas sus risas, consejos, apoyo, y paciencia.

A mis primos Thelma y Usiel por todas las “choco-aventuras” que hemos vivido, los quiero, y espero que sigamos creciendo personal y profesionalmente, y estemos juntos para celebrarlo.

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme ser parte de su comunidad, por formarme de manera escolar y ser parte de mi vida desde la preparatoria hasta el presente momento, me siento orgulloso de la comunidad universitaria, en esta comunidad he conocido a muchas personas a las que admiro y aprecio, en sus bibliotecas y laboratorios encontré el mundo del conocimiento, que ahora sé que jamás se termina y constantemente evoluciona. Es mi compromiso contigo querida universidad lo que me alienta a ser un mejor profesionalista, de manera que mis actos estén basados en la ética, responsabilidad, y pasión, buscando mejores y sólidos conocimientos técnicos a la vez que en mi conciencia permanece la visión humanista que caracterizan la esencia de la universidad.

A la Facultad de Ingeniería y al Posgrado de Ingeniería, por la calidad de sus profesores e instalaciones, por proporcionarme conocimientos que han formado mi vida y han modificado mi visión, por los conocimientos en las áreas de Ingeniería Mecatrónica y de Ingeniería de Sistemas, cuyos enfoques han hecho que se modifique mi paradigma para la solución de problemas.

A mi tutor: M. I. Arturo Fuentes Zenón, gracias profesor porque cuando yo quería realizar el presente tema de investigación me encontraba en ausencia completa de una asesoría ya que mi tema de interés no era muy conocido y usted desde el comienzo se interesó y me orientó, y me hizo “poner los pies sobre la tierra” para poder culminar mi trabajo y no extraviarme, gracias también porque sus consejos me hicieron reflexionar en mi actitud para de nuevo “ser alumno”, lo cual me hizo aprovechar de mejor manera todas las enseñanzas en las materias que cursé.

A mis sinodales, por el tiempo dedicado en la revisión del presente trabajo, les agradezco sinceramente por su disposición y sus revisiones.

INDICE

INDICE	7
LISTA DE FIGURAS	9
1. Introducción	10
1.1 Justificación	10
1.2 Objetivos	11
1.3 Metodología	11
2. Antecedentes.....	13
2.1 ¿Qué es una revolución industrial?	13
2.2 Historia de las revoluciones industriales hasta la actualidad	15
2.2.1. Primera Revolución Industrial	15
2.2.2. Segunda Revolución Industrial	17
2.2.3. Tercera Revolución Industrial	19
2.3 La Cuarta Revolución Industrial: tendencias internacionales.....	20
2.3.1 Industria 4.0.....	21
2.3.2 Industrial Internet Consortium.....	23
2.3.3 China 2025	24
2.3.4 Digitalización de los procesos industriales.....	24
3. Herramientas tecnológicas	26
3.1 Sistemas ciberfísicos.....	26
3.2 Big Data y Data Analytics	29
3.3 Internet de las cosas	36
3.4 Internet Industrial de las cosas.....	40
3.5 Inteligencia Artificial.....	42
3.5.1 Enfoques de la Inteligencia Artificial	43
3.5.2 Tendencias en el campo de la Inteligencia Artificial.	44
3.5.3 Interacción de la Inteligencia Artificial con Big Data.....	49
3.6 Herramientas tecnológicas complementarias	50
3.6.1 Manufactura aditiva	50
3.6.2 Nube.....	50
3.6.3 Simulación.....	52

3.7	Proceso de Digitalización	54
4.	Enfoque de sistemas	58
4.1	Concepto de sistema.....	58
4.1.1	Definición de sistema.....	58
4.1.2	Definiciones complementarias	59
4.1.3	Tipos de sistemas.....	62
4.2	Evolución de los paradigmas de sistema en la industria.....	63
4.2.1	Mecanicista.....	64
4.2.2	Biológico	65
4.2.3	Social.....	65
4.3	Pensamiento sistémico	67
5.	Implementación del enfoque sistémico de la Cuarta Revolución Industrial	69
5.1	Conceptos industriales	69
5.1.1.	Industria inteligente.....	69
5.1.2	Gemelo Digital	71
5.1.2.1	Diseño de un Gemelo Digital.....	75
5.1.2.2	Aspectos técnicos del Gemelo Digital	76
5.2	Enfoque de sistemas durante la implementación.	83
5.2.1	La implementación de la Cuarta Revolución Industrial.....	85
5.3	Ventajas obtenidas de la Cuarta Revolución Industrial.....	100
6.	Conclusiones	103
	Referencias	105

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.- REVOLUCIONES INDUSTRIALES	25
FIGURA 2.- SISTEMAS CIBERFÍSICOS -MODELO DIGITAL COMPLETO.....	29
FIGURA 3.- ARQUITECTURA DE BIG DATA	31
FIGURA 4.- ESTRUCTURA DE UNA SOLUCIÓN DE BIG DATA.....	35
FIGURA 5.- PANORAMA GENERAL DEL INTERNET DE LAS COSAS.....	36
FIGURA 6.- CARACTERÍSTICAS Y ALCANCE DE UN SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS.....	40
FIGURA 7.-TÉCNICAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	46
FIGURA 8.- APLICACIONES FUNCIONALES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	47
FIGURA 9.- CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	48
FIGURA 10.- INDUSTRIA INTELIGENTE EN EL CENTRO DEL CONCEPTO DE LA INDUSTRIA 4.0.....	71
FIGURA 11.- CREACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL COMPUESTO.....	73
FIGURA 12.- LA CONSTITUCIÓN DE UN GEMELO DIGITAL.....	75
FIGURA 13.- ASPECTOS TÉCNICOS DE UN GEMELO DIGITAL.....	76
FIGURA 14.- DESPLIEGUE BAJO DEMANDA DEL BORDE A LA NUBE	81
FIGURA 15.- PRINCIPIOS DE SISTEMAS.....	86
FIGURA 16.- FRONTERA DE UN SISTEMA.....	88
FIGURA 17.- PROPIEDADES EMERGENTES	96

1. Introducción

1.1 Justificación

En los años recientes se ha conseguido desarrollar herramientas tecnológicas a una velocidad como nunca se había conseguido en la historia de la humanidad. Las empresas internacionales, así como gobiernos de países desarrollados, han visto en esta etapa de desarrollo una oportunidad para tener ventajas competitivas sobre sus pares.

En este sentido, se ha generado un nuevo enfoque en el área de procesos de una gran cantidad de campos técnicos, los cuales se ven reflejados en la vida diaria, este nuevo enfoque está basado en tecnología ya existente y tecnología que se está desarrollando aun en estos momentos. Este nuevo enfoque ha sido considerado como la Cuarta Revolución Industrial.

No obstante, aún existe una gran confusión respecto a qué tecnología realmente permite alcanzar las ventajas técnicas del nuevo enfoque de procesos.

Debido a que existen una gran variedad de fuentes de información respecto a lo que se considera conlleva la Cuarta Revolución Industrial, se pone en duda si realmente se trata de una revolución industrial.

Para comprender los alcances que han implicado las hasta hora definidas *tres revoluciones industriales* que han tenido lugar, se ha requerido comprender los cambios que han llevado consigo, por lo que, para realizar el estudio de la presente tesis se toma en consideración el pensamiento sistémico como eje fundamental para comprender los cambios de enfoque de procesos, de tal manera que se establece un marco teórico que permita tener una comprensión concisa.

1.2 Objetivos

Objetivo General

Proporcionar de manera clara una descripción de la “Cuarta Revolución Industrial” de manera que su concepto pueda ser comprensible para un público general, es decir para cualquier lector, aun cuando no esté relacionado con las tecnologías involucradas, ofreciendo los antecedentes de las Revoluciones Industriales y los principales enfoques de la llamada “Cuarta Revolución Industrial”.

Objetivos Particulares

- Establecer si en la actualidad está sucediendo la llamada cuarta revolución Industrial;
- Explicar las tecnologías que conllevan a la justificación para proponer un cambio en el enfoque de procesos;
- Definir el producto que da como resultado el cambio de enfoque de procesos denominado “la Cuarta Revolución Industrial”; y
- Ofrecer una conclusión que proporcione una explicación comprensible de la llamada “Cuarta Revolución Industrial”.

1.3 Metodología

- Realizar una búsqueda del estado del arte relacionado con la “Cuarta Revolución Industrial” en las bases de datos disponibles, tomando en consideración los principales actores como son: gobiernos, universidades, y sector privado.

- Definir los ejes estructurales de los diferentes enfoques de la “Cuarta Revolución Industrial”, por medio del análisis de los documentos encontrados en la búsqueda realizada.

- Realizar un estudio de la “Cuarta Revolución Industrial” basado en el enfoque sistémico, esto con el objetivo de establecer un marco teórico para su estudio, y de esta manera identificar y exponer los nuevos conceptos que emergen de la “Cuarta Revolución Industrial”.

2. Antecedentes

2.1 ¿Qué es una revolución industrial?

Para comenzar, es importante establecer que las Revoluciones Industriales se pueden considerar como un cambio de visión y conceptualización de los procesos industriales, los cuales tienen como fundamento y soporte los avances tecnológicos que fueron alcanzados en un momento determinado.

Kuhn (2006) considera que las revoluciones científicas son “episodios de desarrollo no acumulativo en los que un paradigma antiguo se ve sustituido en todo o en parte por otro nuevo incompatible con él” (página 186).

En este punto, el término “*paradigma*” toma un papel fundamental para poder comprender los cambios de procesos en la industria. En este sentido, se considera el término “paradigma” como un marco teórico, el cual comprende normas y reglas que permiten tener una visión de la realidad, este marco teórico permite generar conceptos por medios de los cuales se interpreta la naturaleza de las cosas.

De acuerdo con la definición de Kuhn, se establece que las revoluciones científicas implican desarrollo no acumulativo, esto puede comprenderse dado que implican un cambio en el paradigma con respecto al (los) paradigma(s) previamente existente(s) a dicha revolución científica (Revolución Industrial). Es en esta razón, que se comprende que no todos los cambios tecnológicos implican un cambio en el paradigma de los procesos, de manera que no todos los cambios en los procesos industriales podrían dar como base una Revolución Industrial.

Adicionalmente, Kuhn (2006) describe como razón del desarrollo de una revolución científica a “una sensación creciente, de nuevo restringida a menudo a una pequeña subdivisión de la comunidad científica, de que el paradigma existente ha dejado de

funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza hacia el que había conducido previamente el propio paradigma” (paginas 186-187).

Ahora bien, considerando esta idea de Kuhn se desprende que una revolución científica (industrial) es restringida solo de manera parcial a una comunidad que interactúa en el área o campo técnico en la que el cambio de paradigma tiene lugar.

Por otro lado, Kuhn (2006) considera que “las revoluciones científicas surgen de la sensación creciente de que el paradigma existente ha dejado de funcionar”, lo cual implicaría que las tecnologías que permitirán alcanzar la revolución científica se comienzan a desarrollar a partir de esa necesidad. En este sentido, considero que si bien es cierto que se debe estar consciente de que el paradigma actual carece de vigencia, esta conciencia puede deberse a los avances tecnológicos que en un momento determinado han sido alcanzados, esto es, los cambios tecnológicos en los procesos en diversas áreas. Esta conciencia permite distinguir el nuevo logro tecnológico en su conjunto, que por separado no se logran concebir, para distinguir un cambio en el paradigma actual, permitiendo crear un concepto con base en las posibilidades que ya permite la tecnología actual y buscar de manera enfocada la tecnología requerida para modificar el paradigma actual.

Por lo tanto, para determinar que una Revolución Industrial está siendo llevada a cabo en la actualidad, se requiere considerar los puntos de vista y consideraciones de toda la comunidad implicada en el campo técnico, al respecto Kuhn, Thomas S. (2006) menciona que “en la elección de paradigma no hay una norma superior al consenso de la comunidad pertinente. Por tanto, para descubrir como terminan las revoluciones científicas, habremos de examinar no sólo el impacto de la naturaleza y de la lógica, sino también de las técnicas de argumentación persuasiva que resultan eficaces dentro de los grupos muy especiales que constituyen la comunidad de científicos” (página 189).

En este sentido, considerando lo mencionado por Kuhn, es importante establecer cuáles son los “grupos muy especiales” que están implicados en las revoluciones científicas.

2.2 Historia de las revoluciones industriales hasta la actualidad

A lo largo de la historia la industria ha experimentado una evolución constante, la cual ha sido impulsada por diversos factores, que al final siempre han tenido la intención de obtener una mejora en los procesos que permitan obtener mejores resultados, en tiempo y en costos. Por lo tanto, esta evolución en la industria es perceptible a través de los cambios en los procesos que han llevado consigo.

Tal y como se puede imaginar, los cambios que tuvieron lugar en dicha evolución han sido muchos y constantes, no obstante, después de un determinado tiempo se han estudiado para analizar los cambios que tuvieron lugar en determinado momento, de manera que se pueda comprender los avances y sus efectos.

En este sentido, se ha logrado un consenso en la identificación de tres etapas, nombradas *Revoluciones Industriales*, en las cuales los cambios han hecho que los procesos hayan alcanzado avances tales que no pueden ser equiparables con los de la etapa anterior.

A continuación, se describen las tres Revoluciones Industriales.

2.2.1. Primera Revolución Industrial

“Mecanización de la producción por medio

de la utilización de máquinas que utilizan vapor y carbón”.

De acuerdo con Horn (2016), en un comienzo la Primera Revolución Industrial tuvo lugar en Gran Bretaña, pero su trascendencia se vio reflejada en todo el mundo, de manera que

sus principales efectos pueden identificarse por medio de los cambios sociales y revoluciones políticas. Aun cuando se considera que los fundamentos de esta revolución preceden más de un siglo, la transición a un fundamentalmente nuevo tipo de producción industrial emergió alrededor del año de 1780 y se extendió hasta el año de 1850, siendo esta etapa la que se identifica por la gran dominancia industrial de la Gran Bretaña.

En este sentido, Horn (2016) menciona que la definición más ampliamente aceptada de esta Primera Revolución Industrial es ofrecida por T. S. Ashton, el cual identificó cinco características primordiales para poder distinguir a este cambio social, político, y tecnológico como una “Revolución Industrial” de otros cambios menos significantes, dichas características son:

- a) Incremento significativo de la población;
- b) La aplicación de la ciencia en la industria;
- c) Un uso intensivo y extensivo de capital;
- d) La conversión de comunidades de rurales a urbanas; y
- e) El surgimiento de nuevas clases sociales.

El efecto de estos cambios implicó, de acuerdo con Horn (2016), que una nación insular relativamente pequeña (Gran Bretaña) llegó a convertirse en “el taller del mundo”, alcanzando un nivel de dominancia económica a nivel mundial nunca visto.

Con base en los registros históricos, Horn (2016) establece que el surgimiento de estos cambios tuvo como raíz la necesidad de satisfacer la demanda cada vez más creciente de productos, por lo que se comenzó a impulsar desarrollos tecnológicos críticos que permitieron una transformación en los procesos de manufactura, por lo que nuevas máquinas y procesos de producción aparecieron y resolvieron problemas específicos que ralentizaban la manufactura.

Aunado a esto, Bartodzie (2017) menciona que el proceso de la industrialización comenzó con la introducción de equipo mecánico de manufactura al final del siglo XVIII. Impulsado por el desarrollo del motor de vapor de James Watt, máquinas y motores revolucionaron la manufactura de bienes, por lo tanto, la sociedad también experimentó un cambio de una sociedad basada en la agricultura a una sociedad industrial.

En este sentido, se puede decir que la Primera Revolución Industrial sustituyó la fuerza del ser humano por máquinas hechas por el ser humano como la fuente de trabajo. Por lo que la Primera Revolución Industrial maneja dos conceptos fundamentales, trabajo y máquina. (Ackoff, 1999)

2.2.2. Segunda Revolución Industrial

“Producción en serie, surgimiento de líneas de producción

y desarrollo tecnológico en las áreas de la

electricidad y la química”

La segunda Revolución Industrial tiene como fundamentos los avances y cambios producidos por la Primera Revolución Industrial, de acuerdo con Horn (2016) esta Segunda Revolución Industrial comprende de los años 1850 a 1914 (año en el que comenzó la Primera Guerra Mundial). No obstante, algunos autores consideran que el período que abarca la Segunda Revolución Industrial comenzó de manera más identificable a partir del año 1870, considerando que en el período de los años 1870 a 1914 materias primas desde el interior de Europa y de Norteamérica llegaron a estar disponibles más eficientemente mientras el poder político occidental (en gran medida con base en el poder militar floreciente posiblemente generado por la industrialización) se extendió a través de África y gran parte de Asia, trayendo nuevas áreas dentro de la economía global.

De manera más evidente, la ciencia “pura” tuvo un papel trascendental en el desarrollo de nuevas industrias, principalmente debido a interacciones crecientes entre científicos, emprendedores, y entes estatales. En la Segunda Revolución las industrias del acero, las químicas, y de electricidad fueron las industrias características, tal como lo fueron las industrias textiles, del hierro, y del carbón fueron relevantes para la Primera Revolución Industrial. Gran parte de estas características fueron logradas dado que los Estados y las universidades patrocinaron e impulsaron instituciones para sistematizar el conocimiento científico, particularmente en electricidad y química.

Al ritmo que la educación técnica fue extendida amplia y profundamente, la manufactura fue transformada conforme el proceso de producción fue dividido a través de la división de actividades y nuevas máquinas fueron desarrolladas para reemplazar y mejorar las actividades humanas.

De acuerdo con Horn (2016), el crecimiento de la población, la urbanización, y la migración exacerbó la demanda como el consumismo se extendió a través de la sociedad global. Por lo que la importancia de la manufactura fue muy relevante, las técnicas de manufactura mejoraron de manera suficiente para poner muchos productos dentro del alcance financiero de grandes segmentos de la población. Es en este sentido importante resaltar, que la Segunda Revolución Industrial emergió durante una era de comercio crecientemente libre.

Con respecto a la llegada de los cambios de las revoluciones industriales en los Estados Unidos de América principalmente referente a la Industrialización, Horn (2016) menciona que dado que fue relativamente lento este proceso muchos estadounidenses confunden los resultados de la Segunda Revolución Industrial con aquellos de la Primera Revolución Industrial.

Por otro lado, Bartodziej (2017) menciona que se puede notar el cambio en el pensamiento de la Segunda Revolución Industrial con respecto al de la Primera Revolución Industrial cuando se observa el cambio en los procesos industriales, dando pie a la producción en masa potenciada por medio de la electricidad y a la división del trabajo.

2.2.3. Tercera Revolución Industrial

“Automatización de los procesos industriales

por medio del surgimiento de las computadoras”

Como resultado de la producción en masa y al desarrollo tecnológico alcanzado en diversos campos durante la Segunda Revolución Industrial, como por ejemplo en el área de la química y la electrónica, a principios de los años 70's y aun hasta nuestros días se identificado una nueva etapa en el pensamiento industrial, de manera que se ha identificado como la Tercera Revolución Industrial.

La Tercera Revolución Industrial ha podido encontrar en los avances tecnológicos, particularmente en la implementación de la electrónica y de la tecnología de la información, las bases necesarias para obtener conceptos industriales que no pudieron haberse concebidos en la Revoluciones Industriales previas. Esta Tercera Revolución Industrial está caracterizada por el alcance en el incremento de la automatización de procesos industriales en el área de la manufactura, de manera que la productividad en los procesos de manufactura ha mejorado de manera significativa debido a una introducción de producción en serie versátil.

En este sentido, Bartodziej (2017) menciona que en la actualidad las actividades y tareas de logísticas de producción clásicas son mayoritariamente combinadas con sistemas tecnológicos, los cuales dan soporte al cumplimiento en dimensiones diferentes, entre las tecnologías comunes que dan soporte se encuentran: tecnologías de la información,

tecnologías de la automatización, y microelectrónica. Al nivel de ejecución operacional, las tecnologías clásicamente fueron implementadas para garantizar un flujo suave de material, mientras que un flujo consistente de información tiene que estar asegurado por diferentes sistemas tecnológicos en el nivel del control y planeación de la producción.

Aunado a lo anterior, Bartodziej (2017) describe que en la industria de la manufactura regularmente hay un sistema de control y planeación de producción superior que está configurado de manera centralizado, jerárquico, y de estructura en forma de pirámide. Este autor describe que la estructura tiene su origen en tecnología de automatización y predominantemente controla las arquitecturas.

De acuerdo con Bartodziej (2017), en DIN ISO estándar 62264 se definen las áreas de aplicación en la industria de manufactura clásica en diferentes niveles de la pirámide de automatización. En este sentido, las tareas de control y planeación son asignados de manera vertical a diferentes niveles jerárquicos en la estructura piramidal de automatización. Con respecto a la ejecución operacional y planeación táctica de procesos de logística de producción, en particular, los sistemas de control de flujo de material constituyen una mayor parte de la pirámide de automatización. Estos sistemas son usados para manejar el incremento de la complejidad debido a un mayor grado de automatización.

2.3 La Cuarta Revolución Industrial: tendencias internacionales.

La presente tesis trata acerca de la llamada Cuarta Revolución Industrial, la cual puede comprenderse como una nueva etapa en la que los procesos industriales van a ser modificados a un punto en el que no pueden ser considerados equiparables con los procesos industriales hasta ahora conocidos.

En este sentido, se puede comprender que los esfuerzos para llevar a cabo dichos cambios en los procesos industriales implican un esfuerzo enorme por los participantes en la comunidad industrial, los cuales deben verse reflejados en ventajas competitivas en un mercado cada vez más exigente y cambiante.

Esto ya es una realidad de acuerdo con Bartodziej (2017), ya que se ha visto que países con grandes intereses industriales han tomado la iniciativa para realizar dichos cambios en los procesos industriales, a saber Alemania ha creado una iniciativa llamada “Industria 4.0”, Estados Unidos de América ha creado un plan denominado “Industrial Internet Consortium”, y China ha lanzado su plan de desarrollo llamado “China 2025”, los cuales prometen ofrecer un cambio en los procesos industriales al punto de cambiar el paradigma actual.

2.3.1 Industria 4.0

De acuerdo con la plataforma oficial de la Industria 4.0, Plattform Industrie 4.0 (2019), la industria 4.0 se refiere a la red inteligente de máquinas y procesos para la industria con la ayuda de tecnología de comunicación e información. Existen diversas maneras para que las compañías puedan utilizar y/o generar redes inteligentes. Las posibilidades incluyen, por ejemplo:

Producción Flexible: En la manufactura de un producto, muchas compañías están involucradas en un proceso paso a paso para desarrollar un producto. Al estar en red de manera digital, estos pasos pueden ser mejor coordinados y la carga de máquina mejor planeada.

Industria de conversión: Futuras líneas de producción pueden ser construidas en módulos y ser rápidamente ensambladas para tareas. Por lo que la productividad y eficiencia pueden ser mejoradas; productos individualizados puede ser producidos en cantidades pequeñas a precios asequibles.

Soluciones orientadas a clientes: Consumidores y productores se moverán más en conjunto. Los clientes por si mismos podrán diseñar productos de acuerdo con sus deseos- por ejemplo, zapatos diseñados y adaptados a la forma única del pie del usuario. Al mismo tiempo, productos inteligentes que están listos para ser entregados, y así mismo se podrá enviar datos a las empresas de manufactura para gestionar la información respectiva. Con este uso de datos, las empresas de manufactura pueden mejorar sus productos y ofrecer servicios nuevos de clientes.

Logística optimizada: Algoritmos pueden calcular rutas ideales de entrega, maquinas reportan de manera independiente cuando necesiten nuevo material – redes inteligentes permiten un flujo óptimo de bienes.

Uso de datos: Datos en el proceso de producción y la condición de un producto será combinada y analizada. Análisis de datos proporciona una guía de cómo hacer un producto de manera más eficiente. De manera más importante, es el fundamento para completamente nuevos modelos de negocio y servicios. Por ejemplo, empresas de manufactura de elevadores pueden ofrecer a sus clientes “mantenimiento preventivo”: elevadores equipados con sensores que envían de manera continua datos con respecto a su condición/estado. El uso del producto puede ser detectado y corregido antes que eso conlleve a una falla de sistema del elevador.

Economía circular de recurso eficiente: El ciclo de vida entero de un producto puede ser considerado con el soporte de datos. La fase de diseño puede estar habilitada para determinar que materiales pueden ser reciclados.

2.3.2 Industrial Internet Consortium

De acuerdo con *Industrial Internet Consortium. OpenFog (2019)*, la iniciativa de los Estados Unidos de América enfocada a la Cuarta Revolución Industrial es “El Industrial Internet Consortium”, que ahora incorpora OpenFog, el cual se fundó en marzo de 2014 para reunir a las organizaciones y tecnologías necesarias para acelerar el crecimiento de Internet industrial mediante la identificación, el montaje y la promoción de las mejores prácticas. La membresía incluye pequeños y grandes innovadores tecnológicos, líderes de mercados verticales, investigadores, universidades y organizaciones gubernamentales.

En este sentido, el Industrial Internet Consortium® (IIC [™]) y OpenFog Consortium® (OpenFog) se han unido para convertirse en el consorcio internacional más grande e influyente en IoT industrial, computación de niebla y de vanguardia. Estas organizaciones trabajan de manera conjunta bajo el respaldo de la IIC para impulsar el impulso de Internet industrial, incluido el desarrollo y la promoción de la orientación de la industria y las mejores prácticas para el computo niebla y de vanguardia.

Aun cuando las herramientas tecnológicas serán descritas en el capítulo 3, es importante no dejar un concepto técnico que se deba abordar en este momento, por lo que a continuación se presenta una breve explicación del término “computación de niebla”, de acuerdo con Banafa (2015): “El término computación o informática en la niebla también se conoce como computación Edge, que esencialmente significa que, en lugar de alojar y trabajar desde una nube centralizada, los sistemas en la niebla funcionan en los extremos de las redes. Esa concentración significa que los datos se pueden procesar localmente en dispositivos inteligentes, en lugar de enviarse a la nube para su tratamiento. Es uno de los posibles enfoques de Internet de las cosas (IC)”.

Metas del Industrial Internet Consortium:

- Impulsar la innovación a través de la creación de nuevos casos de uso de la industria y bancos de pruebas para aplicaciones del mundo real;
- Definir y desarrollar la arquitectura de referencia y los marcos necesarios para la interoperabilidad;
- Influenciar el proceso de estándares de desarrollo global para internet y sistemas industriales;
- Facilitar foros abiertos para compartir e intercambiar ideas, prácticas, lecciones e ideas del mundo real; y
- Crear confianza en torno a enfoques nuevos e innovadores de la seguridad.

2.3.3 China 2025

De acuerdo con Gómez (2016) el Plan hecho por China nombrado “Made in China 2025” es la nueva estrategia que el gobierno chino se ha propuesto seguir para impulsar y reestructurar su industria, de manera que se pase de una era de cantidad a una nueva era de calidad y eficiencia en la producción. Con este plan, China pretende ser líder en tecnología a escala internacional, por delante de potencias como Alemania, Estados Unidos o Japón.

2.3.4 Digitalización de los procesos industriales.

La Cuarta Revolución Industrial a través de los principales enfoques, previamente mencionados, puede conceptualizarse cómo la realización y ejecución de la digitalización de los procesos industriales. Para realizar acabo este objetivo, la Cuarta Revolución Industrial ha tomado en consideración un conjunto de herramientas “técnicas y tecnológicas” que han permitido obtener resultados que se aproximan al objetivo de dicha Cuarta Revolución Industrial.

No obstante, la tecnología para poder obtener la digitalización de los procesos se ha venido desarrollando, por lo que el alcance de la Cuarta Revolución Industrial ha inspirado a varios participantes en el área industrial, por lo que el alcance aún no está claro.



Figura 1.- Revoluciones industriales

Elaboración propia.

3. Herramientas tecnológicas

3.1 Sistemas ciberfísicos

Para comenzar con la descripción de las herramientas tecnológicas que dan fundamento a la Cuarta Revolución Industrial considero que es fundamental que sea con la descripción de los sistemas ciberfísicos, esto dado que es la herramienta tecnológica que está asociada con la Cuarta Revolución Industrial de manera directa.

Existen una gran cantidad de desarrollos que se realizan en la actualidad enfocados a los sistemas ciberfísicos, y por lo mismo existen diversos conceptos de estos, para tratar de ofrecer un panorama general que permita tener una visión suficientemente congruente tomaré lo divulgado por Biru, et al (2015) ya que contempla diversos enfoques de los sistemas ciberfísicos.

De acuerdo con Biru, et al (2015) un sistema ciberfísico (CPS) es un sistema de colaboración de elementos computacionales que controlan entidades físicas. Esto es, cuando los sistemas mecánicos y eléctricos (por ejemplo, sensores y herramientas de comunicación) embebidos en productos y materiales están en red al utilizar componentes de software.

Los CPS tienden a ir más allá que una mera identificación única y control de cosas individuales al nivel de tener en red entre objetos identificados e información compartida con respecto a una condición específica para cumplir cierto objetivo con mejor eficiencia. En contraste a sistemas embebidos tradicionales, un CPS es una red de interacción de artículos con entradas y salidas físicas en vez de dispositivos independientes

Las aplicaciones comunes de CPS típicamente corresponden a sistemas autónomos con comunicación habilitada y basada en sensores.

De manera general, se puede decir que un CPS principalmente está relacionado con actividades colaborativas de sensores o actuadores para alcanzar un objetivo determinado y para hacer esto un CPS utiliza un sistema de Internet de las cosas (IoT) para alcanzar el trabajo colaborativo de los sistemas distribuidos

Desde el punto de vista de comunicaciones y redes, un CPS comienza desde la interconexión y colaboración de objetos en el internet para lograr una tarea de sensado o accionamiento colaborativo.

Por otro lado, Gilchrist, Alasdair (2016) menciona que cuando empezamos a interactuar con el mundo físico, tenemos un dominio físico con el que lidiar y eso requiere un conocimiento especial de ese dominio físico y mecánico, como el de un ingeniero mecánico. Por lo tanto, es necesario identificar desde el principio en el proceso de diseño si el producto debe ser un sistema de TI (tecnología de la Información), de red o físico, o un sistema que tenga las tres funciones de procesamiento físico, de red y digital.

Si se requiere que se tenga las tres funciones de procesamiento físico, de red y digital, entonces se dice que es un sistema ciberfísico. En algunas definiciones, la función de redes y comunicaciones se considera opcional, aunque eso plantea la cuestión de cómo un CPS difiere de un sistema integrado.

Los sistemas de información, que están integrados en dispositivos físicos, se denominan "sistemas integrados". Estos sistemas integrados se encuentran en los sistemas de telecomunicaciones, automatización y transporte, entre muchos otros. No obstante, ha surgido un nuevo término los sistemas ciberfísicos (CPS). Estos CPS se distinguen de los sistemas integrados en que los CPS están basados en microprocesadores y sistemas de procesamiento de información más complejos que realmente se integran con su entorno. Una definición que considero más clara de los sistemas cibernéticos (CPS) es que son

integraciones de computación, redes y procesos físicos. Las computadoras y redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, con ciclos de retroalimentación donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa.

Por lo tanto, de acuerdo con Gilchrist, Alasdair (2016) “un sistema cibernético puede ser casi cualquier cosa que tenga procesos integrados de computación, redes y físicos. Un operador humano es un sistema cibernético y también lo es una fábrica inteligente. Por ejemplo, un operador humano tiene componentes físicos y cibernéticos. En este ejemplo, el operador tiene una instalación computacional, su cerebro, y se comunican con otros humanos y el sistema a través de HMI (interfaz máquina-hombre) e interactúan a través de interfaces mecánicas, sus manos, para influir en su entorno”.

Sin embargo, los sistemas ciberfísicos permiten que el mundo virtual digital de las computadoras y el software se fusionen a través de la interacción (gestión de procesos y control de retroalimentación) con el mundo analógico físico, lo que lleva a un sistema de Internet de cosas, datos y servicios. Un ejemplo de CPS es una línea de fabricación inteligente, donde la máquina puede realizar muchos procesos de trabajo al comunicarse con los componentes y, a veces, incluso con los productos que están en proceso de fabricación.

A diferencia de un sistema integrado que es un sistema computacional incorporado dentro de un sistema físico, teniendo el énfasis en el componente computacional; aun cuando todos los CPS contienen sistemas integrados, el énfasis de los CPS está en las comunicaciones y los dominios físicos y computacionales.

Los CPS tienen muchos usos, ya que pueden usar sensores y otros sistemas integrados para monitorear y recopilar datos de procesos físicos. Estos procesos podrían ser, por

ejemplo, la supervisión de la dirección de un vehículo, el consumo de energía o el control de temperatura / humedad.

Los sistemas CPS, a diferencia de los sistemas integrados, están conectados en red, lo que permite la posibilidad de que los datos estén disponibles de forma remota, incluso a nivel mundial. En resumen, los sistemas cibernéticos hacen posible que las aplicaciones de software interactúen con eventos en el mundo físico.



Figura 2.- Sistemas ciberfísicos -modelo digital completo

Traducción propia. Figura tomada de Norbury (2015).

3.2 Big Data y Data Analytics

Para comenzar, me permito presentar una definición amplia de lo que se refiere con Big Data y Data Analytics. Big Data y Data Analytics se refiere al tratamiento y análisis de grandes volúmenes de datos derivados de la integración de un gran conjunto de fuentes.

Entre los tipos de datos que Big Data debe tratar se pueden clasificar como Estructurados y No Estructurados.

Con respecto a los Datos Estructurados tienen las siguientes características:

- Información que se suele encontrar en la mayoría de Base de Datos;
- Suelen mostrarse en filas y columnas debidamente denotadas con títulos;
- Pueden ordenarse y procesarse de manera fácil; y
- La mayoría de las organizaciones están familiarizados con estos tipos de datos.

Con respecto a los Datos No Estructurados, es importante señalar que el 80% de la información relevante para un negocio corresponde a este tipo de datos, sus características son las siguientes:

- Generalmente no tienen una estructura interna identificable;
- Es un conglomerado masivo y desorganizado;
- No tienen valor hasta que se identifican y almacenan de manera organizada; y
- Se puede realizar una búsqueda a través de estos, una vez que hayan sido organizados.

Entre los Datos No Estructurados que podemos encontrar se encuentran: correos electrónicos, archivos de procesador de textos, archivos en formato PDF, archivos de imágenes digitales, archivos de vídeo, archivos de audio, publicaciones en medios sociales, coordenadas geográficas, etc.

En este sentido, tal como se podrá apreciar el manejo de los datos estructurados es muy conocidos en el estado del arte, y se ha desarrollado a lo largo de muchos años.

Sin embargo, Big Data y Data Analytics están enfocados primordialmente en el manejo de los Datos No Estructurados.

En la siguiente imagen se aprecia de manera general la estructura de Big Data, con referencia al tipo de análisis y en los tipos de datos.

Arquitectura Big Data – Procesamiento y Análisis



Figura 3.- Arquitectura de Big Data

Traducción propia. Figura tomada de Rodríguez (2018).

De acuerdo con diversas fuentes consultadas, se menciona que en la actualidad se requiere utilizar herramientas analíticas para poder manejar una cantidad de datos que en época anteriores no pudieron haberse imaginado, y esa cantidad se prevé se multiplique de manera considerable en esta época de la Cuarta Revolución Industrial.

Al respecto, Gilchrist (2017) menciona que Big Data describe datos que son muy grandes para ser manejados por bases de datos y herramientas de procesamientos tradicionales. Estas estructuras de datos grandes pueden ser y usualmente están hechas de una combinación de datos estructurados y no estructurados de una variedad de fuentes como texto, formas, blogs de internet, comentarios, video, fotografías, telemetría, rastros de GPS,

conversación de mensajería instantánea, noticias, y más. La lista es casi interminable. El problema es que con estas estructuras de datos diversas es que son muy difíciles para ser incorporadas o analizadas en una base de datos estructural tradicional. Sin embargo, las compañías necesitan analizar datos de todas las fuentes para beneficiarse desde el Internet Industrial de las cosas, después de todo el conocimiento, de datos tales como tendencias de clientes y de eficiencia operacional que pueden ser extraídos de todos los tipos de datos.

Sin embargo, del Internet Industrial de las cosas la atención será el manejo de cantidades bastas de datos no estructurados como aquellos datos de sensores de máquina a máquina desde miles o más dispositivos. Por lo tanto, para gana valor desde estos datos tiene que haber una forma alternativa para manejar y administrarlos.

Ahora el Internet Industrial de las cosas es visto como un contribuidor grande de Big Data y como tal requiere que las tecnologías modernas manejen conjuntos de datos, y mayoritariamente gran cantidad de datos no estructurados y “sucios”.

Por otro lado, Schroeck, et al. (2012) menciona que hoy en día el término “big data” es una constante y, aun así, la mera noción sigue generando confusión. Esta palabra se ha utilizado para trasladar al público todo tipo de conceptos entre los que se incluyen grandes cantidades de datos, analítica de redes sociales, herramientas de última generación para gestionar los datos, datos en tiempo real y mucho más. Independientemente de la etiqueta que le colguemos, las empresas comienzan a comprender y explorar cómo procesar y analizar de nuevas formas una amplia variedad de información.

Al hacerlo, un pequeño pero creciente grupo de pioneros está logrando resultados empresariales importantísimos.

Características de Big Data

De acuerdo con Schroeck (2012) existen cuatro dimensiones que permiten ayuda tanto a definir como a distinguir big data, estas son las siguientes:

- **Volumen:** la cantidad de datos. Siendo quizá la característica que se asocia con mayor frecuencia a big data, el volumen hace referencia a las cantidades masivas de datos que las organizaciones intentan aprovechar para mejorar la toma de decisiones en toda la empresa. Los volúmenes de datos continúan aumentando a un ritmo sin precedentes. No obstante, lo que constituye un volumen verdaderamente “alto” varía en función del sector e incluso de la ubicación geográfica y es más pequeño que los petabytes y zetabytes a los que a menudo se hace referencia. En la actualidad se considera que conjuntos de datos de entre un terabyte y un petabyte ya son big data.
- **Variedad:** de diferentes tipos y fuentes de datos. La variedad tiene que ver con gestionar la complejidad de múltiples tipos de datos, incluidos los datos estructurados, semiestructurados y no estructurados. Las organizaciones necesitan integrar y analizar datos de un complejo abanico de fuentes de información tanto tradicional como no tradicional procedentes tanto de dentro como de fuera de la empresa. Con la profusión de sensores, dispositivos inteligentes y tecnologías de colaboración social, los datos que se generan presentan innumerables formas entre las que se incluyen texto, datos web, tuits, datos de sensores, audio, vídeo, secuencias de clic, archivos de registro y mucho más.
- **Velocidad:** los datos en movimiento. La velocidad a la que se crean, procesan, y analizan los datos continúa aumentando. Contribuir a una mayor velocidad es la naturaleza en tiempo real de la creación de datos, así como la necesidad de incorporar datos en “streaming” a los procesos de negocio y la toma de decisiones.

La velocidad afecta a la latencia (el tiempo de espera entre el momento en el que se crean los datos, el momento en el que se captan y el momento en el que están accesibles). Hoy en día, los datos se generan de forma continua a una velocidad a la que a los sistemas tradicionales les resulta imposible captarlos, almacenarlos y analizarlos. Para los procesos en los que el tiempo resulta fundamental, tales como la detección de fraude en tiempo real o el marketing “instantáneo” multicanal, ciertos tipos de datos deben analizarse en tiempo real para que resulten útiles para el negocio.

- **Veracidad:** la incertidumbre de los datos. La veracidad hace referencia al nivel de fiabilidad asociado a ciertos tipos de datos. Esforzarse por conseguir unos datos de alta calidad es un requisito importante y un reto fundamental de Big Data y Data Analytics, pero incluso los mejores métodos de limpieza de datos no pueden eliminar la imprevisibilidad inherente de algunos datos, como el tiempo, la economía o las futuras decisiones de compra de un cliente. La necesidad de reconocer y planificar la incertidumbre es una dimensión de Big Data y Data Analytics que surge a medida que los directivos intentan comprender mejor el mundo incierto que les rodea.

Por lo tanto, Big Data y Data Analytics es una combinación de estas características que crea una oportunidad para que las empresas puedan obtener una ventaja competitiva en el actual mercado digital. Esto ya que permite a las empresas transformar la forma en la que interactúan con sus clientes y les prestan servicio, y posibilita la transformación de estas e incluso de sectores enteros. No todas las organizaciones adoptarán el mismo enfoque con respecto al desarrollo y la creación de sus capacidades de Big Data y Data Analytics. Sin embargo, en todos los sectores existe la posibilidad de utilizar las nuevas tecnologías y analíticas de Big Data y Data Analytics para mejorar la toma de decisiones y el rendimiento.

A continuación, se presenta un diagrama que proporciona un esquema simple a través la solución de Big Data y Data Analytics, en que se muestra como dicha solución puede ser estructurada. En la porción roja representa la solución por sí misma. Afuera de lado izquierdo, están las fuentes de datos que alimentan al sistema.

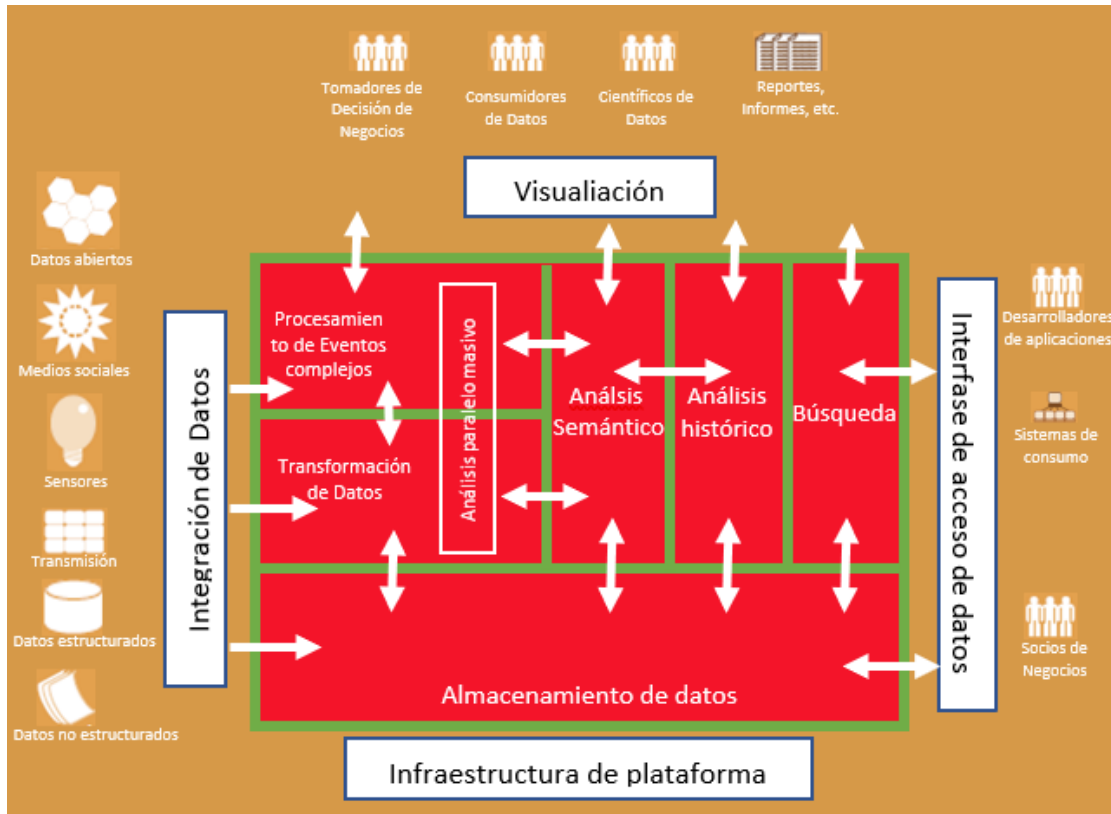


Figura 4.- Estructura de una solución de Big Data

Traducción propia. Tomada de Mitchell (2012).

3.3 Internet de las cosas

Durante la revisión del estado del arte respecto a esta tecnología denominada como “Internet de las Cosas”, se puede encontrar una cantidad extensa de definiciones, las cuales surgen a partir de las necesidades y/o visiones de autores que divulgan dichas definiciones.

No obstante, Biru (2015) ofrece una visión amplia de lo que implica el internet de las cosas, como se puede mostrar en la siguiente imagen.

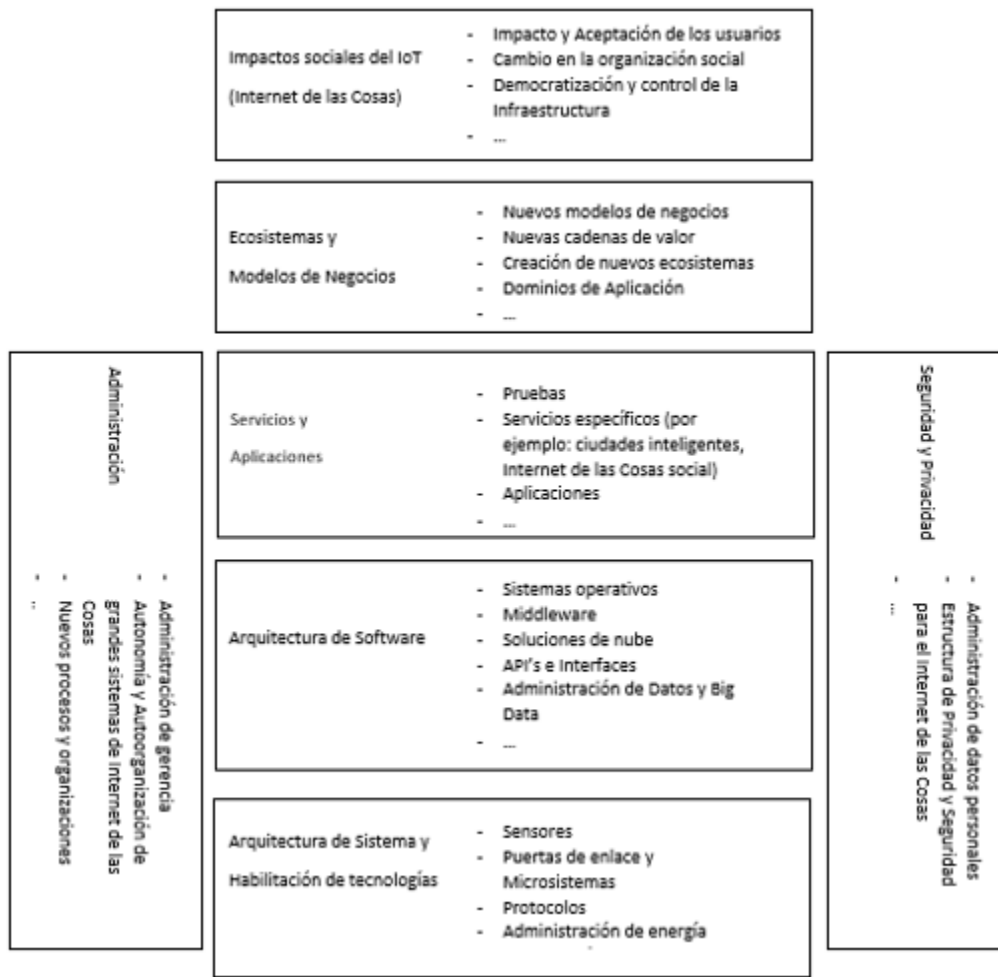


Figura 5.- Panorama general del Internet de las cosas.

Traducción propia. Figura tomada de Biru (2015).

La terminología de “Internet de las cosas” fue originalmente creada por el ex gerente de la marca P & G, Kevin Ashton en 1999. Su visión fue conectar sensores al internet y al mundo físico. Aunque fue solamente usada para presentaciones, clientes y colaboradores, esta terminología fue bien recibida y llegó a ser socialmente aceptada” (Baindrive, (2014), citado por Eferdinger,2016).

De acuerdo con Eferdinger, (2016) “En el pasado, la comunicación principal fue entre personas. Esto cambiará con el salto tecnológico del Internet de las cosas. La comunicación será entre un número de cosas y dispositivos inteligentes que procesaran información. Una nueva dimensión será agregada al mundo de la información y comunicación”.

Algunas características del Internet de las cosas, de acuerdo con Biru (2015):

Interconexión de cosas:

La primera característica del IoT es derivada del nombre que la describe. Es un sistema que realiza la interconexión de “cosas”. La palabra “cosa” se refiere a cualquier objeto físico que es relevante desde una perspectiva de usuario o de una aplicación.

Conexión de cosas con el Internet:

Del nombre de IoT, también podemos aprender que las “cosas” están conectadas con el internet. De manera acorde, del nombre podemos deducir que el sistema no es un intranet o Extranet de cosas.

Las cosas son identificables de manera única:

Un sistema de IoT está compuesto de “cosas” que son identificables de manera única.

Ubiquidad:

La ubicuidad/ubiquidad es una característica primordial de un sistema IoT, que indica una red que está disponible en cualquier lugar y en cualquier momento. Pero en el contexto de IoT, el concepto de “cualquier lugar” y “cualquier momento” no necesariamente significa que “globalmente” y “siempre”, respectivamente. El concepto de “cualquier lugar” principalmente se refiere al concepto de dónde (el sistema IoT) sea necesario, y el “cualquier momento” se refiere de manera similar a cuando (el sistema IoT) sea necesario.

Posibilidad de Accionamiento/Sensado:

En los sistemas de IoT existe el involucramiento de sensores/actuadores en el sistema IoT. Estos sensores/actuadores están conectado con las “cosas” y realizan el accionamiento/sensado que permite la inteligencia de las “cosas”.

Inteligencia embebida:

Objetos dinámicos e inteligentes, con comportamiento emergente, con funciones de conocimiento e inteligencia incrustadas como herramientas y llega a ser una extensión (externa) al cuerpo y mente del humano.

Capacidad de comunicación interoperable:

El sistema IoT tiene una capacidad de comunicación con base en protocolos de comunicación interoperables y estándar.

Autoconfiguración:

Otro comportamiento importante que un sistema IoT tiene es la autoconfiguración. Debido a la heterogeneidad de dispositivos- incluyendo sensores, actuadores, dispositivos de almacenamiento, dispositivos de monitoreo de instalaciones, teléfonos móviles, elementos de red y computadoras- y la gran cantidad de dispositivos que están siendo conectados al

internet a la sombra de IoT, el control remoto o basado en la nube parece ser una tarea desalentadora destinada para sufrir de escalabilidad limitada. Por lo tanto, la dirección natural para los dispositivos de IoT es administrarse por sí mismos, tanto en términos de su configuración de software/hardware como en la utilización de sus recursos (energía, ancho de banda de comunicación, acceso medio, etc.). La autoconfiguración consiste primordialmente de las acciones de descubrimiento de servicios y vecindad, organización de la red y provisionamiento de recursos. (Chatzigiannakis et al, 2012, citado por IEEE; 2015).

Programabilidad:

Las “cosas” de un sistema IoT tiene una característica de programabilidad. En el nivel más simple, un dispositivo programable es aquel que puede tomar una variedad de comportamientos a una orden del usuario sin requerir cambios físicos. Por ejemplo, un sintetizador programable puede sonar como un numero de instrumentos diferentes dependiendo de la preferencia del usuario, mientras un piano tradicional puede sonar únicamente en la forma que está físicamente diseñado para sonar.

El alcance de un sistema IoT varía de un sistema pequeño que contiene cosas identificables de manera única y sensores pequeños a un sistema que interconecta millones de cosas con una capacidad para realizar servicios complejos. De manera acorde es mejor proporcionar definiciones separadas de IoT's para sistemas pequeños y sistemas complejos.



Figura 6.- Características y alcance de un sistema de Internet de las Cosas

Traducción propia. Figura tomada de (IEEE, 2015).

3.4 Internet Industrial de las cosas

De acuerdo con (Eferdinger,2016) “El concepto del Internet Industrial de las cosas se refiere a la adopción del Internet Industrial de las cosas. Este término es usado por diferentes compañías industriales en diferentes versiones, pero principalmente describe el uso del internet en aplicaciones”.

De acuerdo con (Gilchrist, 2016) el internet industrial es un enfoque dirigido a los procesos industriales, comerciales y de consumo, por lo tanto, se diferencia en sus estrategias verticales del internet de las cosas del concepto más amplio que implica el internet de las cosas, toda vez que su audiencia objetivo, requerimientos técnicos, y en estrategias están basadas en la visibilidad comercial. El internet industrial de las cosas comprende un

enfoque vertical que incluye negocios de grande, media y baja escala. Este enfoque vertical ha sido considerado por diversas empresas como lo es General Electric, que fue quien acuñó el nombre de Internet Industrial, y otras como Cisco le nombro “El internet de todo” (Internet of Everything en inglés).

De acuerdo con (Gilchrist, 2016) el precedente del desarrollo potencial del Internet Industrial puede considerarse el comercio realizado por internet en los más recientes años, cuyo sector ha sido identificado como sector negocio a consumidor (B2C, Business-to-consumer), no obstante, este enfoque debe llevarse a diversas áreas productivas como lo son la manufactura, agricultura, energía, aviación, transportación, logística, entre otras.

El Internet Industrial tiene como objetivo obtener la visibilidad e introspección de las operaciones y activos de una empresa a través de los elementos y medios que realizan acabo las funciones y actividades.

Una posible causa del surgimiento del Internet Industrial es el aumento de la complejidad que los sistemas industriales han experimentado, y que están superando las capacidades de un operador humano. Aunado a lo anterior, las tecnologías de la información han permitido la instrumentación de diversos procesos por medio de una gran variedad de dispositivos.

De acuerdo con GE Digital (2020) el Internet de las cosas “es una red de una multitud de dispositivos industriales conectados por tecnologías de comunicación que resultan en sistemas que pueden monitorear, recolectar, intercambiar, analizar y entregar introspección nueva con valor como nunca”.

3.5 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es un concepto que se ha venido desarrollando desde hace muchos años, algunos autores consideran que los desarrollos que han mantenido un criterio más similar a lo que hoy se comprende como “inteligencia artificial” datan de los años 50's. (Nilsson, Nils J. (2010), página 73).

El concepto de inteligencia artificial tiene diversos enfoques, y por ende existe una gran cantidad de definiciones, toda vez que parten desde un área técnica específica.

De acuerdo con Winston, Patrick H. (1993) desde el punto de vista de los objetivos que la Inteligencia Artificial desea alcanzar, se puede considerar dos enfoques:

- El objetivo de la Inteligencia Artificial con respecto a la ingeniería es resolver problemas del mundo real utilizando inteligencia artificial como un conjunto de ideas acerca de representar conocimiento, utilizar conocimiento, y ensamblar sistemas.
- El objetivo de la Inteligencia Artificial con respecto a la ciencia es determinar qué ideas acerca de representar conocimiento, utilizar conocimiento, y ensamblar sistemas pueden explicar varios tipos de inteligencia.

En este sentido, Stone. et al (2016) ofrece una definición que comparte una parte técnica desde el punto de vista de ingeniería y de biología, de la siguiente manera:

“Inteligencia Artificial (IA) es una ciencia y un conjunto de tecnologías computacionales que están inspiradas por -pero típicamente operan completamente diferente de- las formas que las personas usan su cuerpo y su sistema nervioso para sentir, aprender, razonar y tomar una decisión”.

3.5.1 Enfoques de la Inteligencia Artificial

Ahora bien, por lo que se ha mencionado se puede comprender que existe una gran cantidad de literatura relacionada con la Inteligencia Artificial, de tal manera que no existe una definición única de su concepto. En Gilchrist (2016) se ofrece una clasificación de tres categorías generales de la Inteligencia Artificial con base en su enfoque. A continuación, se presentan estas tres clasificaciones:

- **Enfoque clásico de la Inteligencia Artificial**

Este enfoque proviene desde los años 1960's, y se puede identificar porque es el enfoque científico para identificar la inteligencia que los humanos tienen de manera natural. Este enfoque tiene como objetivo encontrar las formas para que las máquinas imiten habilidades humanas con respecto a reconocimiento automático del habla, facial y texto. Este enfoque ha obtenido diversos resultados, teniendo los mejores en lo que respecta al reconocimiento de texto y del habla, y obteniendo menos resultados en lo que respecta al reconocimiento facial. El problema con el enfoque clásico es que el rendimiento de las máquinas ha tenido que ser evaluado y corregido por un tutor humano de manera que las máquinas aprendan lo que es correcto y lo que no lo es.

- **Enfoque de redes neuronales**

Este enfoque surge de los años 60's y 70's, y tiene como fundamento el imitar la forma en que el cerebro humano funciona. En este enfoque, las máquinas aprenden sin intervención de un humano, simplemente interpretan los datos al usar algoritmos complejos. El problema que este enfoque tuvo que enfrentar es el procesamiento de una cantidad de datos muy vasta y buscar patrones, que no siempre estuvieron disponibles en su tiempo. Por lo tanto, el enfoque de redes neuronales ha ido cambiando, y se considera que las redes neuronales simples son inapropiadas, ya que tiene poca comparación con las redes neuronales reales,

por lo que ahora el concepto de redes neuronales se denomina aprendizaje profundo y es adecuado para el análisis de grandes conjuntos de datos estáticos.

- Enfoque de redes neuronales con enfoque biológico.

Este enfoque surge del enfoque de redes neuronales previo, y proporciona nuevas consideraciones. Con este enfoque, la Inteligencia Artificial intenta imitar las formas en que el cerebro aprende, utilizando lo que es nombrado como “representación distribuida espaciada”. Este enfoque toma en consideración que la memoria es una gran parte de la inteligencia y que es primariamente una secuencia de patrones. Y considera que el aprendizaje es y deber estar basado en el comportamiento continuo.

3.5.2 Tendencias en el campo de la Inteligencia Artificial.

De acuerdo con WIPO (2019) el crecimiento de la inteligencia artificial ha sido muy considerable en los recientes años, esta consideración está sustentada con base en el número de solicitudes de patentes que ha crecido en los recientes años. Adicionalmente, se considera que existe un cambio de la investigación teórica al uso de las tecnologías en productos comerciales y en servicios, esto tomando en consideración el incremento en el número de solicitudes de patente y la disminución de la tasa entre el número de publicaciones científicas con respecto a las invenciones.

En este sentido, WIPO (2019) ofrece un esquema que tiene la ventaja de proporcionar un marco analítico claro para el reporte y la presentación de la evolución de la tecnología de Inteligencia Artificial a lo largo del tiempo, en el cual se puede apreciar la diversidad de enfoques que se tienen de la Inteligencia Artificial.

El esquema comprende tres principales categorías:

Técnicas de Inteligencias Artificial: Formas avanzadas de modelos matemáticos y estadísticos, como aprendizaje de máquina, lógica difusa, y sistemas expertos, permitiendo la programación en computadoras de tareas típicamente realizadas por humanos, técnicas de Inteligencia Artificial diferentes pueden ser usadas como un medio para implementar diferentes funciones de Inteligencia Artificial.

Aplicaciones funcionales de Inteligencia Artificial: Funciones como visión por computadora y reconocimiento automático del habla puede ser realizado por técnicas de Inteligencia Artificial.

Campos de aplicación de la Inteligencia Artificial: Existen diferentes disciplinas, áreas y campos donde aplicaciones funcionales y técnicas de la inteligencia Artificial pueden encontrar aplicación, como la transportación, la agricultura, la vida cotidiana o las ciencias médicas.

A continuación, se muestran las categorías mencionadas de manera gráfica.



Figura 7.-Técnicas de la Inteligencia Artificial

Traducción propia. Figura tomada de WIPO (2019).

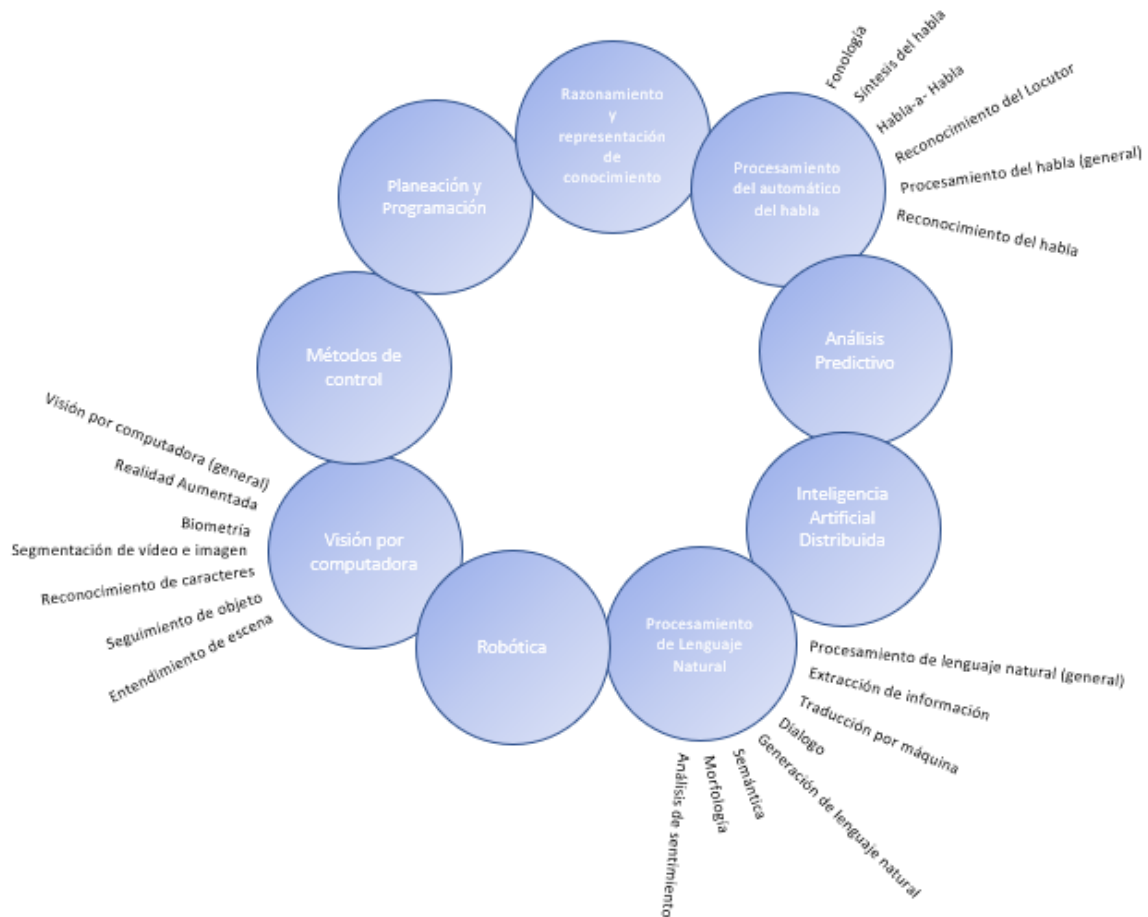


Figura 8.- Aplicaciones funcionales de la Inteligencia Artificial

Traducción propia. Figura tomada de WIPO (2019).

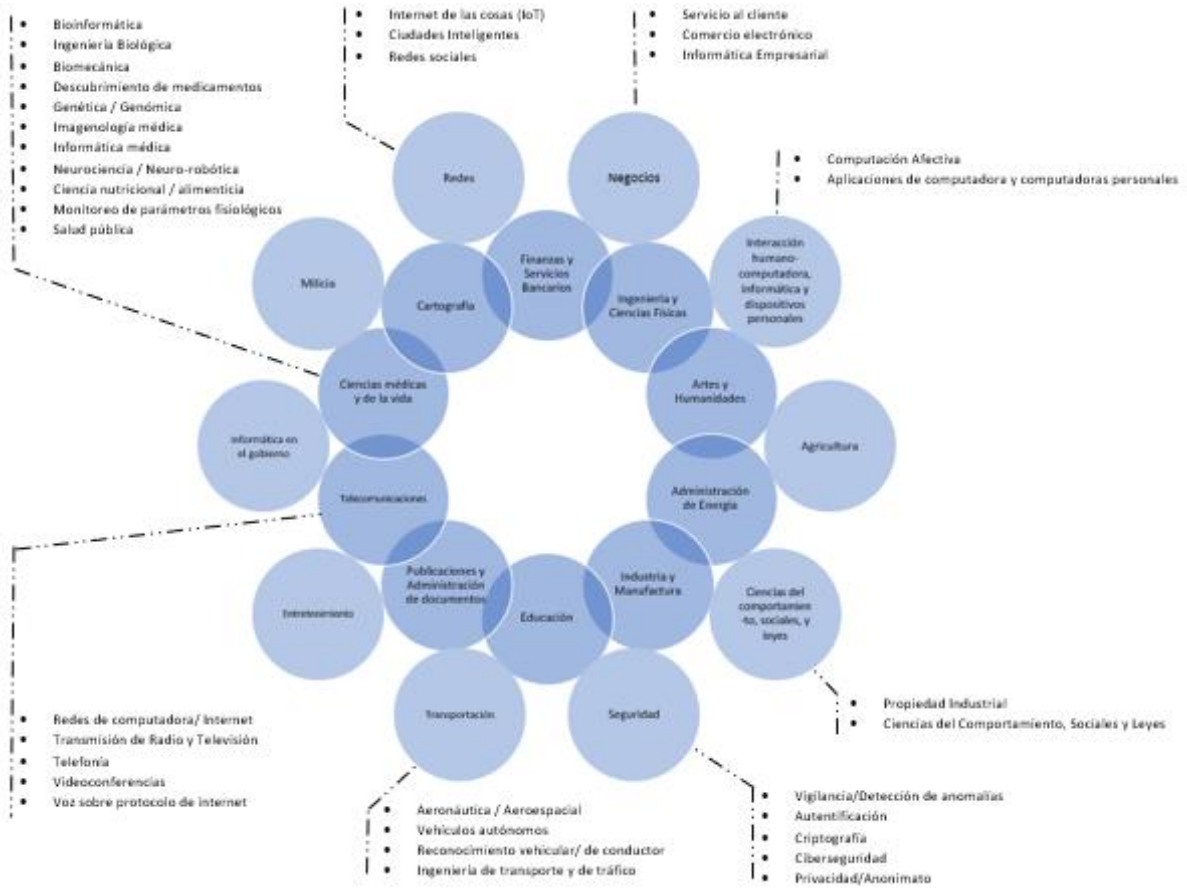


Figura 9.- Campos de aplicación de la Inteligencia Artificial

Traducción propia. Figura tomada de WIPO (2019).

3.5.3 Interacción de la Inteligencia Artificial con Big Data

Una de las ventajas más importantes de la Inteligencia Artificial puede apreciarse cuando interactúa con una herramienta que también es identificada como parte sustancial de la Cuarta Revolución Industrial que es el Big Data y Data Analytics.

De acuerdo con Malcolm Johnson en WIPO (2019), las ventajas técnicas de la Inteligencia Artificial radican en la capacidad de poder identificar correlaciones y patrones en cantidades grandes de datos que pueden pasar desapercibidas y proporcionar la información en representaciones más pequeñas o en fragmentos.

Entre las ventajas que ofrece la relación entre el Big Data y la Inteligencia Artificial se puede identificar se encuentran:

- Social: Para estudiar los parámetros que influyen en fenómenos sociales como son la pobreza y el hambre, para identificar sus causas raíz.
- Medicina: En el mejoramiento de técnicas de trabajo de médicos y la asistencia para complementar las técnicas y herramientas médicas tradicionales, mejorando la presión y la velocidad de diagnóstico.
- Educación: Para implementar la educación personalizada para el tipo de estudiante de manera individual
- Industria: Para monitorear, planificar y administrar la producción y el consumo a través de diversos sectores industriales.

3.6 Herramientas tecnológicas complementarias

3.6.1 Manufactura aditiva

La Manufactura Aditiva como la impresión 3D permite a la industria manufacturera generar prototipos y pruebas de diseños de conceptos, lo cual reduce ampliamente el esfuerzo y tiempo de diseño. La manufactura aditiva además permite la producción de pequeños lotes de productos personalizados que ofrecen más valor a compradores o usuarios finales, al reducir ineficiencias de tiempo y costo para las industrias de manufacturera.” (Gilchrist, Alasdair, 2016)

3.6.2 Nube

En una publicación encontrada en la base de datos del National Institute of Standards and Technology, (Mell., Et al., Effectively And Securely Using The Cloud Computing Paradigm) se proporciona una definición de nube como: “un modelo de pago por uso para habilitar acceso conveniente y en red bajo demanda para un espacio compartido de recursos informáticos confiables y configurables, por ejemplo redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones, y servicios, que puede ser proporcionados rápidamente y liberados con esfuerzo mínimo de gestión del cliente o de mínima interacción del proveedor de servicio”. Además, se menciona que la nube es comprendida de cinco características claves, tres modelos de entrega, y cuatro modelos de despliegue como a continuación se muestran:

Características claves:

Autoservicio bajo demanda;

Acceso de red ubicuo;

Espacio de recursos;

Elasticidad rápida; y

Pago por uso.

Modelos de entrega

- a) Software de nube como un Servicio (SaaS)
 - Uso de aplicaciones del proveedor en una red
- b) Plataforma de nube como un Servicio (Paas)
 - Despliegue de aplicaciones creadas por el usuario a una nube
- c) Infraestructura de Nube como un Servicio (IaaS)
 - Renta de procesamiento, almacenamiento, capacidad de red, y otros recursos informáticos fundamentales.

Modelos de Despliegue:

Nube privada

Propiedad de la empresa o arrendada

Nube de comunidad

Infraestructura compartida para una comunidad específica

Nube pública

Vendida al pública, infraestructura de mega escala.

Nube Híbrida

Es una composición de dos o más nubes de las previamente mencionadas.

De acuerdo con (Gilchrist, 2016), en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, la nube es una herramienta que permite la capacidad de almacenamiento y procesamiento de cantidades vastas de datos recolectados, lo cual será es muy útil para las industrias que no cuentan con la infraestructura para poder recolectar y procesar dichos datos.

3.6.3 Simulación

La simulación es una herramienta que nos permite tomar decisiones a partir de un modelo, el cual representa una parte específica de la realidad en consideración. “El modelado es una de las formas para resolver problemas que aparecen en el mundo real. En muchos casos no podemos realizar las soluciones precisas por medio de la experimentación con los objetos reales como: construirlos, destruirlos, realizar experimentos muy costos, recrear situaciones peligrosas o simplemente imposibles. De tal manera que dejamos el mundo real y nos enfocamos en la creación de un modelo para su experimentación.”

La experimentación a través de un modelo se denomina simulación, ya que se recrea la realidad en él. De tal manera que lo fundamental para una buena simulación es la creación del modelo, de acuerdo con Borshchev (2016) “Este proceso asume abstracción: en este proceso no consideramos detalles que son irrelevantes (en nuestro criterio) al problema que nosotros tratamos de resolver y mantenemos aquellos detalles que consideramos relevantes para el mismo fin. De tal manera que el modelo es siempre menos complejo que el problema real.”

Método Analítico vs Simulación.

La utilización de herramientas analíticas en la actualidad es muy recurrida por las empresas con el fin de tener una herramienta auxiliar para la toma de decisión, una de estas herramientas es el programa EXCEL que es de la paquetería de Microsoft Office.

En este sentido, Borshchev (2016) describe las facilidades que tiene este software al poder ser instalado en cualquier computador de oficina y en la facilidad de su uso, en el que se pueden agregar una secuencia de comandos a fórmulas para cumplir con la necesidad del usuario. Adicionalmente, establece que la tecnología usada por las hojas de cálculo refiere a técnicas de modelación simples, en donde el usuario ingresa las entradas del modelo en una celda y en otras celdas puede ver la salida del modelo, en donde la relación de las entradas y salidas se realiza ya que están enlazadas por medio de fórmulas o de secuencia de comandos.

No obstante, la funcionalidad de este tipo de herramientas analíticas tiene un alcance limitado cuando se trata de analizar sistemas dinámicos caracterizados por:

- Comportamiento no lineal;
- Que comprenden “memoria”;
- Influencias no intuitivas entre las variables;
- Dependencias causales y temporales; y
- Son una combinación de las anteriores características con un número de parámetros grandes e inciertos.

De acuerdo con Borshchev (2016), para este tipo de problemas que son los más frecuentes en vida real se requiere un modelo con base en la simulación, estos se caracterizan por ser siempre modelos ejecutables, de manera que puede hacer funcionar el modelado e interactuar con él, ya que están basados en un conjunto de reglas para obtener el siguiente estado del sistema a partir del estado actual. Estas reglas pueden ser de diferentes formas como lo son: ecuaciones diferenciales, diagramas de estado, diagramas de flujos de procesos, horarios, etc., y tienen la ventaja de poder ser reproducidos y observar los resultados al momento que la simulación se está ejecutando.

Por lo que de acuerdo con Borshchev (2016) el modelado basado en la simulación ofrece las siguientes ventajas más relevantes:

- a) La posibilidad de analizar sistemas y encontrar las soluciones dónde otros métodos (cómo aquellos basados cálculos analíticos, programación lineal, etc.) fallan;
- b) Una vez determinado el nivel de abstracción del modelo, el modelo es un proceso más sencillo que el que sería a partir de un modelo analítico, ya que requiere menos esfuerzos intelectuales, ya que son escalables, incrementales, y modulares;
- c) Permiten la comunicación más sencilla, ya que se utiliza la comunicación visual como base, y dado que la simulación refleja la estructura real del sistema de estudio hace que la comprensión del objeto de estudio sea mejor;
- d) Se puede medir cualquier valor y seguir cualquier entidad que no esté por debajo del nivel de abstracción del modelo, de manera que el análisis de mediciones y estadístico puede ser utilizado en cualquier tiempo;
- e) Permite ejecutar y animar el comportamiento del sistema al momento, de manera que la animación puede ser utilizada como para un proceso de verificación y depuración; y
- f) Permite dar sustento a las propuestas que se realicen de manera más convincente.

3.7 Proceso de Digitalización

La Cuarta Revolución Industrial a través de los principales enfoques descritos en las secciones del punto 2.3, puede conceptualizarse cómo la realización y ejecución de la digitalización de los procesos industriales. Para realizar acabo este objetivo, la Cuarta Revolución Industrial ha tomado el conjunto de técnicas y tecnologías, definidas como herramientas tecnológicas en el presente trabajo, que han permitido obtener resultados que

se aproximan al objetivo de digitalización de los procesos que se ha establecido en la Cuarta Revolución Industrial.

No obstante, la tecnología para poder obtener la digitalización de los procesos se encuentra actualmente en continuo desarrollo, por lo que el alcance de la Cuarta Revolución Industrial ha inspirado a varios participantes en el área industrial, de tal manera que su alcance aún no está delimitado.

Sin embargo, en la actualidad se cuentan con las herramientas tecnológicas mencionadas en los apartados anteriores 3.1 a 3.6, que en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial se han concebido y utilizado para poder llevar a cabo el proceso de la digitalización de los procesos industriales.

Tal como se ha mencionado previamente, los desarrollos tecnológicos han sido desarrollados de manera independiente, cada una de las herramientas tecnológicas previamente mencionadas puede ser que hayan sido utilizadas en campos muy diversos y en algunos casos sin relacionarse entre sí.

En este sentido, es importante establecer que cada herramienta tecnológica para su cabal desarrollo requiere una comprensión que está afuera del alcance del presente trabajo, la intención del presente apartado es dar un panorama que permita comprender la relación que las herramientas tecnológicas deben tener para poder realizar el proceso de digitalización

La importancia de las herramientas tecnológicas descritas previamente, con base en el contexto de la digitalización pueden ser consideradas de la siguiente manera:

Los **sistemas ciberfísicos** son nuestra interfaz entre el mundo físico y el mundo digital, ya que se encuentran físicamente en contacto con elementos físicos, en puntos determinados

del proceso que permiten tomar alguna medición requerida (medición física) y transformarla a un medio digital (aun lenguaje electrónico o de computadora).

La generación de datos de los CPS requiere una capacidad técnica mayor a la que se había venido utilizando en la industria, enfocada para recopilar, identificar, organizar, y procesar una gran cantidad de datos provistos de los sistemas ciberfísicos, la tecnología que permite el manejo y procesamiento de estos datos se denomina **Big Data y Data Analytics**.

No obstante, el **Big Data y Data Analytics** también ofrece funcionalidades adicionales que le serán muy útil a una organización para poder determinar sus procesos operativos y de producción, ya que permite obtener información a partir de fuentes tan diversas donde las necesidades y preferencias de usuarios pueden ser captadas, como por ejemplo de las redes sociales. Tal como se puede notar, el área de ventas y/o atención de clientes ahora saldría del contexto interno de la empresa hacia un medio exterior donde se puedan tener las necesidades de los clientes, y de este modo realizar los ajustes en los procesos operativos.

Aunado a lo anterior, el **Internet de las cosas** ofrece un medio digital para poder interactuar a los usuarios con las cosas materiales, esto por medio de protocolos de comunicación en los cuales se puede tener la seguridad que cada integrante en este medio digital está completamente identificado y que cuenta con la información necesaria para poder interpretar las comunicaciones en este medio.

En este mismo sentido, el **Internet Industrial de las Cosas** está enfocado en los protocolos de comunicación que se deben contar para un medio digital en el que comprende objetos que se encuentra dentro de una organización cuyos objetivos están debidamente identificados, esto como se puede apreciar es diferente a un mundo exterior de una

empresa, en el que el objetivo puede que no esté definido más allá del funcionamiento particular de las cosas (objetos) como por ejemplo, electrodomésticos.

La **Inteligencia Artificial** ofrece, entre muchas otras ventajas técnicas, la ventaja técnica de satisfacer la necesidad que existe para la toma de decisión cuando existe una disyuntiva durante la realización de uno o más procesos, y no se tenga en el momento a una persona que pueda tomar la decisión, o bien la persona encargada de tomar una decisión cuente con una cantidad de datos insuficiente o cuente con una cantidad excesiva de datos que no puede manejar, de manera que la inteligencia artificial puede proporcionar la asistencia para la toma de una decisión de manera efectiva en consideración de las necesidades y del entorno.

4. Enfoque de sistemas

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la Cuarta Revolución Industrial se ha concebido como, y en cierta medida ha sido impulsada por, una época en donde los cambios de avance tecnológico se han desarrollado de manera muy rápida.

Surgen preguntas al intentar comprender la Cuarta Revolución Industrial como lo son: ¿No siempre ha habido avances tecnológicos?, y ¿las tecnologías identificadas como parte de la Cuarta Revolución Industrial, no fueron desarrolladas antes de que se haya concebido e iniciado las iniciativas que conforman la Cuarta Revolución Industrial?, la respuesta es sí para ambas preguntas, para poder comprender el concepto de la Cuarta Revolución Industrial se propone utilizar *el enfoque sistémico*.

4.1 Concepto de sistema.

Un sistema es un concepto que implica todo un enfoque, por lo que para comprender dicho concepto se debe tener en cuenta un conjunto amplio de elementos y sus conceptos relevantes para poder comprender el alcance del enfoque que implica el concepto de sistema. Para poder abordar de una manera suficiente y coherente el concepto y enfoque de sistema se presenta un conjunto de definiciones proporcionado por Ackoff (1999), esto ya que existe una gran literatura en el área de sistemas, algunas muy particulares que no son abordadas en el presente trabajo.

4.1.1 Definición de sistema

Un sistema es un conjunto de dos o más elementos que satisface las siguientes tres condiciones:

- 1) El comportamiento de cada elemento tiene un efecto en el comportamiento de todo el sistema;
- 2) El comportamiento de los elementos y sus efectos en todo el sistema son interdependientes; y
- 3) Aun cuando subgrupo de elementos son formados, cada uno tiene un efecto en el comportamiento de todo el sistema y ninguno tiene un efecto independiente en el sistema.

Al analizar estas condiciones, se puede comprender que un sistema está fundamentalmente basado en las relaciones entre los elementos que conforman al sistema, en lugar de la función de los elementos independientes.

4.1.2 Definiciones complementarias

Entorno de un sistema

El entorno de un sistema lo conforma un conjunto de elementos y sus propiedades relevantes que influyen en dicho sistema, pero que no forman parte de dicho sistema. En este sentido, se considera que para poder definir cuál es el entorno de un sistema de interés, únicamente se toma en consideración aquellas variables (elementos y sus propiedades) que afecta el estado de un sistema.

Estado de un sistema

El estado de un sistema es considerado en un momento en el tiempo, y lo conforman un conjunto de propiedades relevantes del sistema. Tal como se puede comprender un sistema puede tener una cantidad de propiedades muy grandes, posiblemente incalculables, no obstante, se consideran únicamente las relevantes para un fin determinado, a manera de

información, por lo que los valores de dichas propiedades relevantes constituyen el estado de un sistema.

Estado de un entorno de sistemas

Tal como se consideró para el estado de un sistema, el estado de un entorno de sistema es considerado en un momento determinado de tiempo, y lo conforman las propiedades relevantes de los elementos o subconjunto de elemento que conforman el entorno de un sistema. En este sentido, es importante que al analizar un sistema se debe establecer de manera precisa el elemento o conjunto de elementos que son relevantes para el sistema.

Para poder establecer el estado de un entorno de sistema, se puede conceptualizar como sistema cada elementos o elementos que forman el entorno de un sistema. Por lo que en este punto se puede apreciar, que un sistema puede ser conceptualizado como parte de otro y más grande sistema.

Evento de un sistema o del entorno

Un evento tanto en un sistema como de un entorno es un cambio en una o más propiedades estructurales de dicho sistema/entorno, esto durante un periodo de tiempo de duración específica, es decir un cambio en el estado (estructural) de un sistema/entorno.

Comportamiento de sistemas

Es un evento(s) de un sistema que es necesario o suficiente para otro evento en ese sistema o su entorno. Por lo tanto, el comportamiento es un cambio de sistema que inicia a otros eventos. Con base en esta definición *Reacciones, Respuestas y Acciones* son

eventos de sistemas cuyos antecedentes son de interés: Un Comportamiento consiste en eventos de sistema cuyas consecuencias son de interés. Por lo tanto, durante el estudio de un sistema tanto los antecedentes y las consecuencias de eventos de sistema son relevantes.

Reacción de sistema

Una reacción de un sistema se define como un evento de sistema para el cual se requiere y es suficiente otro evento que sucede al mismo sistema o a su entorno, es decir, una reacción de un sistema es causada de manera determinística por otro evento. No obstante, es de destacar que un evento que es suficiente para provocar un cambio en el estado de un sistema puede ser que no sea necesario para dicho cambio.

Respuesta de sistema

La respuesta de un sistema también es un evento de sistema, pero para el cual otro evento que sucede en el sistema o en su entorno es necesario más no suficiente, es decir, un evento de sistema puede ser producido por otro evento de sistema o de entorno (estímulo). Por lo tanto, se considera que la respuesta de un sistema es un evento del cual el sistema por sí mismo coproductor. Por lo que, un sistema no tiene que responder a un estímulo, pero si tiene que reaccionar debido a su presencia.

Acto de sistema

Un acto o acción de un sistema se considera como un evento de sistema para el cual la presencia de ningún cambio en el entorno del sistema es tanto necesario como suficiente,

por lo que se considera un acto de sistema como eventos auto determinados y autónomos. Esto puede considerarse a partir de los cambios internos de los elementos que conforman el sistema, que se presentan como necesarios como suficientes para realizar una acción.

4.1.3 Tipos de sistemas

Existe una diversidad de tipos de sistemas, a continuación, se presentan algunos de los más ejemplificativos:

Sistemas abiertos-Sistemas cerrados

Un sistema abierto es aquel que tiene un entorno. Un sistema cerrado no tiene un entorno. Por lo tanto, un sistema cerrado es uno que está conceptualizado para no tenga interacción con cualquier elemento no contenido en dicho sistema.

Sistema estático (estado único)

Es un sistema en el cual no sucede algún evento.

Sistema dinámico (estados múltiples)

Es un tipo de sistema en el cual eventos pueden suceder, cuyos estados cambian con el tiempo. Este tipo de sistemas puede ser tanto abiertos como cerrados, cerrado si sus elementos reaccionan o responden únicamente entre sí.

Sistema homeostático

Es un sistema estático cuyos elementos y entorno son dinámicos. Por lo tanto, un sistema homeostático es uno que retiene su estado en un entorno cambiante por medio de ajustes internos.

Es importante notar, que un mismo sistema puede considerarse como un sistema dinámico o estático de acuerdo con el enfoque utilizado.

Sistema abstracto

Es un sistema cuyo todos sus elementos que lo conforman son conceptos. En un sistema abstracto, los elementos son creados por medio de definición, y las relaciones entre ellos son creados por medio de suposiciones (por ejemplo, axiomas y postulados).

Sistema concreto

Es un sistema en el que al menos dos de sus elementos son objetos. En los sistemas concretos, el establecimiento de la existencia y propiedades de elementos y la naturaleza de las relaciones entre ellos requiere investigación con un componente empírico en él.

4.2 Evolución de los paradigmas de sistema en la industria.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las revoluciones industriales han sido impulsadas por un desarrollo tecnológico que cambia la visión de un marco conceptual temporal con el cual comprendemos la naturaleza o nuestro medio, esto dado que el cambio tecnológico permite generar nuevas ideas de comprender los procesos industriales.

En este sentido, este cambio de visión ha conllevado a un cambio en las organizaciones industriales, de manera que las revoluciones industriales han sido acompañadas y, al mismo tiempo participes, de un cambio en la visión de las organizaciones.

A continuación, se presentan algunos paradigmas de visión de las organizaciones y como han evolucionado a través de los años.

4.2.1 Mecanicista

En un primer momento, es importante destacar que la visión registrada como “mecanicista” se considera a partir del surgimiento de la primera revolución industrial, así lo menciona Ackoff (1994) cuando describe que “cuando la Revolución Industrial llegó al mundo occidental, la visión del mundo era Newtoniana. Aunado a la creencia que el universo era una maquina creada por dios, para hacer el trabajo de dios”. Esta visión de organización contemplaba que los resultados de una organización dependían de los elementos que la comprendían, y de su estructura interna, es decir como cualquier máquina en los que las funciones son completamente restringidas a su configuración física, dictaminadas por leyes de la física.

Desde un punto de vista funcional, con la visión mecanicista se puede considerar que las partes que formaban a una organización pueden ser fácilmente reemplazables, y el resultado seguirá siendo el mismo, aunado a la cuestión de que cada parte que forma a la organización no comprende objetivos particulares, ni tiene un propósito particular, sino que es el todo (la organización) el que comprende un objetivo y un propósito de ser.

Esta forma de visión o paradigma de cómo era considerada una organización ha sido registrado por diversos textos, Gharajedaghi (2011) por su parte describe la visión de esa época como “De la misma manera que un complicado tractor es construido por partes, cada parte realiza una simple tarea de movimiento horizontal, vertical y circular, una organización

puede ser creada de tal manera que una persona puede realizar una simple tarea” “El modo mecanicista de organización nació como una extensión lógica de esta concepción y luego a ser instrumento en convertir de trabajadores agrícolas sin capacitación técnica a trabajadores industriales con capacidad técnica intermedia”.

4.2.2 Biológico

Después de haberse suscitados los cambios de procesos que implicó la primera revolución industrial, las organizaciones fueron evolucionando, no sólo en la parte tecnológica, sino también conceptual, esto dado que las personas que formaban parte de la organización ahora comprendían un nivel técnico mayor.

Este cambio de visión puede ser considerado a partir del nivel tecnológico, la mecanización había incrementado en los procesos industriales, las personas encargadas de dichos procesos ahora contaban con un nivel técnico más avanzado.

Entre los cambios más relevantes en la organización nos menciona Ackoff (1994) que “Los gerentes, a pesar de aseveraciones contrarias, pensaban en la ganancia como un medio, no como un fin. Tal como el oxígeno para un ser humano, las ganancias para una empresa fueron pensadas como un medio necesario para la supervivencia y crecimiento, no la razón para generar ganancias.”

4.2.3 Social

De acuerdo con (Ackoff, 1989) un enfoque sistémico social comprende las siguientes características:

Para comenzar, un sistema social comprende una función propia, partes constitutivas con subfunción propia, y son partes de un sistema más grande con una función propia. Para tener una mejor administración, un sistema puede afectar a sus partes en dos formas, al incrementar o disminuir la variedad de comportamiento que sus partes pueden realizar, el

comportamiento propositivo de estas partes consiste en elecciones de fines y medios, por lo que los sistemas sociales deben incrementar o disminuir la variedad de elecciones de sus partes. Los sistemas sociales autocráticos en general reducen la variedad de comportamiento permisible de sus partes, y un sistema social democrático incrementa dicha variedad.

Para comprender el funcionamiento sistémico social, debemos estudiar las interacciones de sus partes y del todo con otros sistemas con los cuales dicho sistema forma parte de sistemas más grandes.

Una empresa conceptualizada como una máquina es organizada y administrada para restringir severamente el comportamiento de sus partes, y su efectividad depende de que sus partes constitutivas realicen la misma función de la misma manera, una, otra y otra vez, este comportamiento puede describir a las burocracias, que son concebidas como organizaciones mecánicas.

Un sistema social conceptualizado como un organismo, tendrá más elecciones de comportamiento que si fuera conceptualizado como una máquina, pero dicha variedad de elecciones no afecta el funcionamiento de sus partes, solo la forma en que realiza dicho funcionamiento.

Una empresa conceptualizada como un sistema social debe servir al propósito de sus partes y al sistema de cual es parte. Debe permitir a sus partes, a sus sistemas, que contenga a realizar cosas que no podrían realizar de otra forma. Esto significa que los sistemas sociales deben incrementar la variedad de tanto los medios como los fines disponibles a sus partes y a los sistemas de cuales ellos forman una parte.

Se puede considerar que en una empresa la centralización reduce la variedad de elecciones, y la descentralización incrementa dicha variedad.

4.3 Pensamiento sistémico

En el presente apartado se presenta el paradigma sistémico, el cual permite concebir de una manera diferente a las organizaciones, que en el presente trabajo están dirigidas a las organizaciones industriales.

De acuerdo con (Von Bertalanffy, 1968) “Se puede considerar que un sistema es un <<conjunto de elementos que están en interacción>>”, en este sentido las características del sistema no se pueden comprender de manera aislada.

Por lo que la organización característica de un sistema está dada en los patrones generales o las interrelaciones del todo, que emergen desde las interacciones existentes a través de sus partes interdependientes.

Adicionalmente, si las partes o elemento de un sistema son por sí mismas tomadas como sistemas, es decir subsistemas, entonces el sistema total en cuestión aparece como “más grande que” y “otro que” la suma de sus partes. En la medida que la complejidad organizada o sistema incorpora sus partes en un nuevo, diferente, emergente todo, se representa un nivel superordinado de integración.

En esencia, el enfoque sistémico es una forma de percibir y pensar a través de un problema al identificar y enfocarse en los elementos críticos que le pertenecen. En otras palabras, para poder aplicar el enfoque de sistema se necesita conocer la naturaleza del problema y que tipo de problema estamos tratando en primer lugar. En este sentido, un problema puede ser definido como la desviación del estado deseado al estado actual en un punto dado de tiempo

Pero ¿por qué utilizar el enfoque sistémico para el entendimiento y su posible desarrollo de la Cuarta Revolución Industrial? En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial el enfoque de sistemas está presente en cualquiera de sus tecnologías, tomadas por separado y en

conjunto, un ejemplo de esto puede encontrarse descrito en Gilchrist (2016) cuando se refiere al Internet Industrial de las Cosas (que es considerada por el presente trabajo como una de las partes fundamentales del concepto de la Cuarta Revolución Industrial) y que recita: “El internet Industrial es un conjunto de las tecnologías claves para producir un sistema más grande que la suma de sus partes. Los avances en la tecnología de sensores, por ejemplo, produce no solo más que los datos generados por un componente sino un tipo diferente de datos, en lugar de solo ser preciso (por ejemplo, esta temperatura es 37.354 grados Celsius), dichos sensores pueden ser autoconscientes y pueden incluso predecir su vida útil restante. Por lo tanto, el sensor puede producir un dato que no sólo es preciso, sino que predictivo”.

5. Implementación del enfoque sistémico de la Cuarta Revolución Industrial

5.1 Conceptos industriales

5.1.1. Industria inteligente

De acuerdo con lo visto hasta el momento, podemos determinar que el concepto de la Cuarta Revolución Industrial se concibe como un sistema abierto, debido a la gran cantidad de interacciones que se comprende entre los elementos del sistema y su entorno.

En este sentido, Bartodziej (2017) menciona que con los cambios que se vislumbran en mediano plazo, con base en los cambios impulsados por las nuevas tecnologías, los sectores claves económicos se transformarán de manera que serán conceptualizados como pequeñas instalaciones y constelaciones.

Por otro lado, de acuerdo con Lin, et al. (2017), la industria 4.0 es la iniciativa estratégica alemana para mantener el liderazgo de Alemania en la industria de manufactura, de manera que se enfoca en proporcionar soluciones de manufactura avanzadas, y la define como “el conjunto para revolucionar la manufactura y producción ,y marcar la época de la Cuarta Revolución Industrial representa una etapa nueva de organización y control de la cadena de valor entera y el ciclo de vida de productos con atención sensible al impacto humano y legal”.

De manera relevante, la Industria 4.0 se puede comprender de mejor manera al describir el concepto que impulsa y que se le conoce como “Industria inteligente”.

Desde mi punto de vista, es en este concepto en donde la importancia de la iniciativa Industria 4.0 tiene lugar, la relevancia de este concepto está basada en la conectividad a través de los diversos entes que conforman la “industria”, a saber: personas, máquinas y recursos.

Para poder comprender esta interrelación entre los diversos entes que están conectados en la llamada “industria inteligente”, recurro al enfoque de “sistema social”, que corresponde con el paradigma de las organizaciones que fue mencionado en el punto 4.2.3.

De manera amplia, el concepto de Industria Inteligente al que la iniciativa 4.0 está dirigido, de acuerdo con Bartodziej, (2017), comprende las siguientes características generales:

- Integración horizontal a través de la red de valor:
Se refiere al intercambio de recursos que tiene lugar en la empresa (“industria”) a través de las diferentes áreas relacionadas tanto con cuestiones operativas como con operaciones administrativas, estos recursos pueden ser materiales, energía, información, etc., soportados por herramientas como tecnologías de la información.
- Interacción digital fin a fin de ingeniería a través de toda la cadena de valor:
Este enfoque está dirigido al producto que se realiza en la empresa, y comprende procesos que pueden estar relacionados desde el desarrollo de nuevos productos, hasta ingeniería de sistemas de manufactura, producción y servicios.
- Integración vertical y sistemas de manufactura en red:
En este apartado se hace referencia a los dispositivos físicos que forman parte de la iniciativa Industria 4.0, cuyo soporte se basa en el avance tecnológico con el que cuenta una empresa (industria), ya que contempla la integración de varios niveles jerárquicos dentro de una compañía con el objetivo de proveer una solución fin a fin.

Para poder obtener resultados efectivos se requiere que estas características sean consideradas de manera simultánea para la toma de decisión. De manera ilustrativa, la industria inteligente se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 10.- Industria Inteligente en el centro del concepto de la Industria 4.0

Traducción propia. Figura tomada de Bartodziej (2017).

5.1.2 Gemelo Digital

El gemelo digital, *digital twin* en inglés, es uno de los conceptos que han sido desarrollado desde el enfoque impulsado por el Industrial Internet Consortium, es decir el enfoque de los Estados Unidos de América de la Cuarta Revolución Industrial.

De acuerdo con Industrial Internet Consortium (2020) un gemelo digital es definido como “una representación digital formal de algún activo, proceso o sistema que captura atributos y comportamientos de dicha entidad adecuada para comunicación, almacenamiento,

interpretación o procesamiento dentro un cierto contexto. El gemelo digital incluye, pero no es limitativo a, combinaciones de las siguientes categorías:

- Datos y modelos basados en física;
- Datos y modelos analíticos;
- Históricos y datos de serie de tiempo;
- Datos transaccionales;
- Datos maestros;
- Modelos visuales; y
- Cálculos.

Por su parte, GE (2018) define el concepto de gemelo digital como una representación digital dinámica que permite a las compañías comprender, predecir y optimizar el rendimiento de sus máquinas y sus negocios. Y establece que un gemelo digital existe como el punto de encuentro de la ingeniería física, la ciencia de datos, y el aprendizaje de máquinas, cuyo valor es traducido directamente a salidas medibles de negocio.

A partir de estas definiciones se puede comprender que un Gemelo Digital es una representación de un elemento físico, desde el punto de vista de una empresa, puede considerarse una gran cantidad de elementos en consideración de todos los elementos físicos que existen en ella, tal y como en el enfoque sistémico, se tiene el problema de establecer un nivel de abstracción de los elementos que componen nuestro sistema.

Para este objetivo, el Industrial Internet Consortium (2020, pág. 3) ofrece dos conceptos que permiten establecer el nivel de abstracción:

- Gemelo Digital Discreto
- Gemelo Digital Compuesto:

Gemelo Digital Discreto

“Es la entidad simple que proporciona valor sin necesitar ser descompuesto en más entidades” (Industrial Internet Consortium, 2020, pág. 3).

Gemelo Digital Compuesto

“Es una combinación de gemelos digitales discretos que representan una entidad que comprende múltiples componentes individuales o partes. La composición puede tener lugar en diferentes niveles” (Industrial Internet Consortium, 2020, pág. 3).

La siguiente imagen ilustra el nivel de abstracción de los estos conceptos.

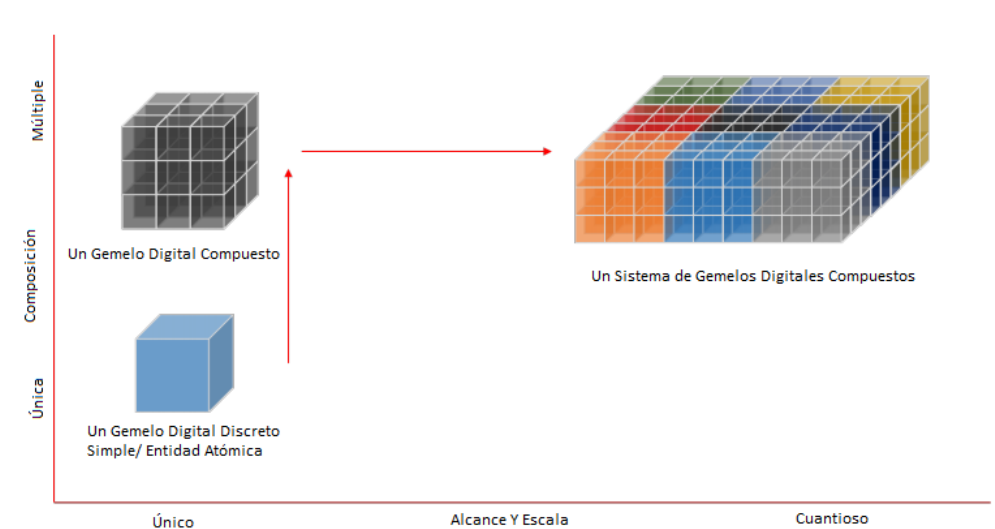


Figura 11.- Creación de un Gemelo Digital Compuesto

Traducción Propia. Figura tomada de Industrial Internet Consortium. (2020).

Con respecto a los Gemelos Digitales Compuestos, Industrial Internet Consortium, 2020, págs. 3 y 4) menciona que se puede encontrar las siguientes relaciones:

- Jerárquica

Tal y como en el mundo real, un conjunto de gemelos digitales de componente puede ser ensamblado en un gemelo digital de equipo, un conjunto de gemelos digitales de equipo puede ser ensamblado en un gemelo digital de línea de producción, un conjunto de gemelos digitales de línea de producción puede ser ensamblada en un gemelo digital de fábrica, y así.

- Asociativa

Establece que existen asociaciones entre gemelos digitales de diferentes enfoques.

- Par a par

Se refiere a las relaciones entre gemelos digitales en un grupo de equipo del mismo o similar tipo, que realizan la misma o similar función.

Tal como se puede apreciar, entre las herramientas más visibles que intervienen en la funcionalidad del concepto de Gemelo Digital se encuentran las relacionadas con Big Data (Analítica avanzada) y la aplicación de la Inteligencia Artificial. Este concepto adicionalmente incluye las herramientas de simulación, la cual, aunque no es considerada como un fundamento de la cuarta revolución industrial por sí misma, en la actualidad su utilidad se encuentra en muchas áreas de la vida diaria en las empresas, principalmente en el área de manufactura.

5.1.2.1 Diseño de un Gemelo Digital

El fundamento del Gemelo digital está dirigido a ser una representación digital de un elemento del mundo real, del mundo físico, de tal manera que se busca que sea una representación fiel y confiable.

Por lo tanto, para cumplir con el objetivo anterior, se debe tener comunicación entre los objetos reales y el gemelo digital, para recolectar y organizar datos desde los objetos del mundo real (Industrial Internet Consortium, 2020, pág. 7).

En la siguiente figura se presenta diferentes consideraciones que se deben tener en el diseño de un gemelo digital:

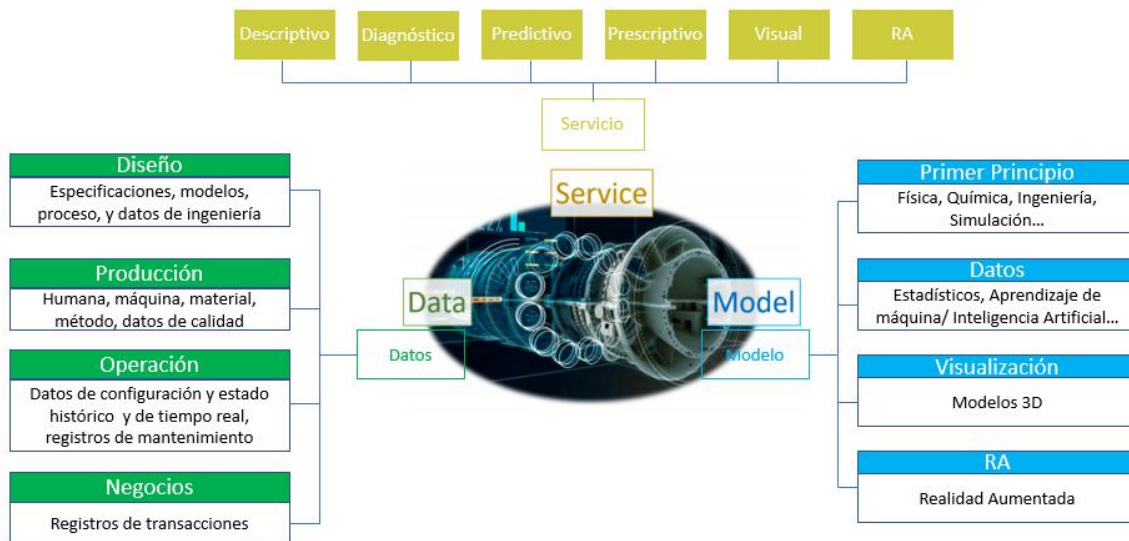


Figura 12.- La constitución de un Gemelo Digital

Traducción propia. Figura tomada de Industrial Internet Consortium (2020).

Con respecto a los datos, el gemelo digital debe contener datos del mundo real que se requieren para utilizar los modelos que representan y comprenden los estados y

comportamientos del gemelo del mundo real. Los datos pueden ser de diferentes fases, tal como la figura anterior muestra.

La importancia de los modelos es ahora comprensible, toda vez que su importancia radica en la posibilidad de describir, comprender y predecir los estados operacionales y comportamiento de los gemelos, estos modelos se presentan en la forma de modelos analíticos o computacionales, los cuales pueden ser basado en cualquier área de las mostradas en la figura anterior.

Los servicios (interfaces) deben ser contenidos en el diseño de un gemelo digital, toda vez que un conjunto de interfaces de servicios debe ser contenidas para cualquier aplicación industrial u otros gemelos digitales para acceder a sus datos y obtener sus capacidades.

5.1.2.2 Aspectos técnicos del Gemelo Digital

Se ha presentado la definición y las consideraciones para diseñar un gemelo digital, a continuación, se presenta un conjunto de algunos aspectos técnicos que comprenden un gemelo digital de acuerdo con Industrial Internet Consortium (2020).



Figura 13.- Aspectos técnicos de un Gemelo Digital

Traducción propia. Figura tomada de Industrial Internet Consortium (2020).

- Modelación de información

El elemento primordial en un Gemelo Digital es la información, tal como se mencionó anteriormente, dicha información está relacionada con diferentes fases del ciclo de vida de la entidad relevante. Algunos ejemplos:

- Un metamodelo para gemelos digitales que describe los modelos internos requeridos para los casos de uso;
- Mecanismos para estructurar y modular el contenido de gemelos digitales y para extender el contenido cuando nuevos tipos de información llegan a estar disponibles a lo largo del ciclo de vida de la entidad;
- Estándares que deben ser adoptados para definir la estructura y contenido de gemelos digitales para que el intercambio de información a través de la compañía sea facilitado;
- Mecanismos para mapear información existente a dichos estándares;
- Mecanismos para modelar relaciones entre información dentro de un gemelo digital;
- y
- Medios para modelar varios tipos de ensamblajes de gemelo digital.

Conformación de Información

La información para gemelos digitales se origina de varias fuentes. Algunas pueden ser mantenidas dentro de los gemelos digitales. Varias decisiones claves deben ser tomadas con respecto a la cantidad y tipo de información de las fuentes de información dentro de los gemelos digitales, como mecanismos para:

- Conjuntar información de varias fuentes como dispositivos, aplicaciones, bases de datos u otros gemelos digitales;

- Copiar la información dentro gemelos digitales, o para referenciar la información de gemelos digitales, o una combinación de éstas bajo demanda;
- Guardar en la memoria caché la información; y
- Conjuntar información en línea y fuera de línea (como para monitorear en línea de entidades del mundo real o en pruebas de simulación fuera de línea).

Sincronización de información

Para obtener la sincronización de la información se puede tener en cuenta las siguientes consideraciones como lo son:

- Medios para sincronizar información entre un gemelo digital y las fuentes de información relevante en ambas direcciones de la fuente de información al gemelo digital y viceversa;
- Mecanismos para sincronizar información entre múltiples gemelos digitales tomando parte en varias formas de composición;
- Políticas (como frecuencia de sincronización y seguridad) para realizar sincronización de información; y
- Estándares y medios para asegurar interoperabilidad de gemelos digitales y sus fuentes de información para facilitar la sincronización de información.

Interfaz de Programación de Aplicaciones (API's)

Las Interfaces de Programación de Aplicaciones (API's) son utilizadas para facilitar las interacciones que tienen los gemelos digitales con otros componentes, por lo que las API's requieren tener las siguientes características:

- Capacidad de adecuación para diferentes tipos de aplicaciones (como lo son aplicaciones de simulación en tiempo real, aplicaciones analíticas y aplicaciones con inteligencia artificial) que consumen y conforman contenido de gemelo digital:
- Capacidad de interactuar con otros gemelos digitales posiblemente entre vendedores;
- Capacidad para interactuar con la entidad primordial correspondiente para facilitar la recolección de información de y control de la entidad; y
- Capacidad para interactuar con otras fuentes de información para enriquecer y sincronizar el contenido de gemelos digitales.

Varias decisiones claves deben ser tomadas con respecto las API's de acceso de información, como lo son:

- Mecanismos para acceso de información fuera de línea (como la forma de archivos en diferentes formatos);
- Mecanismos para acceso de información en línea;
- Mecanismo para intercambiar información en gran cantidad o en flujo continuo;
- API's para intercambiar en niveles de nube, de borde o dispositivos (como nube a nube, dispositivo a nube, y nube a dispositivo); y
- Estándares para API's para facilitar la interoperabilidad entre vendedores.

Conectividad

La conectividad es clave para lograr las interacciones con y entre gemelos digitales. Varias decisiones clave deben ser tomadas con respecto a la conectividad, algunos ejemplos son:

- Mecanismos para identificar únicamente un gemelo digital y su entidad primordial para establecer conexión entre ellos;

- Mecanismos para descubrir de manera automática la entidad primordial en red para establecer la conexión a su gemelo digital;
- Mecanismos para descubrir otros gemelos digitales para establecer conectividad entre ellos; y
- Estándares de conectividad para facilitar interoperabilidad entre vendedores.

Despliegue

El despliegue de los gemelos digitales puede ser en un espectro del borde a la nube, con base en los requerimientos de la aplicación. La decisión es típicamente con base en factores como:

- Requerimientos de tiempo de respuesta y latencia;
- Interoperabilidad e integración con otros sistemas;
- Requerimientos de control; y
- Complejidad y requerimientos de poder de análisis.

En este sentido, para desplegar los gemelos digitales se necesitan mecanismos para:

- Desplegar el contenido de un gemelo digital en ubicaciones como un dispositivo IoT, borde y nube;
- Descubrir gemelos digitales individuales distribuidos en ubicaciones diferentes para formar gemelos digitales compuestos; y
- Gemelos digitales polimórficos de soporte, que significa que un gemelo digital pueda ser desplegada en formas diferentes en ubicaciones de despliegue diferente.

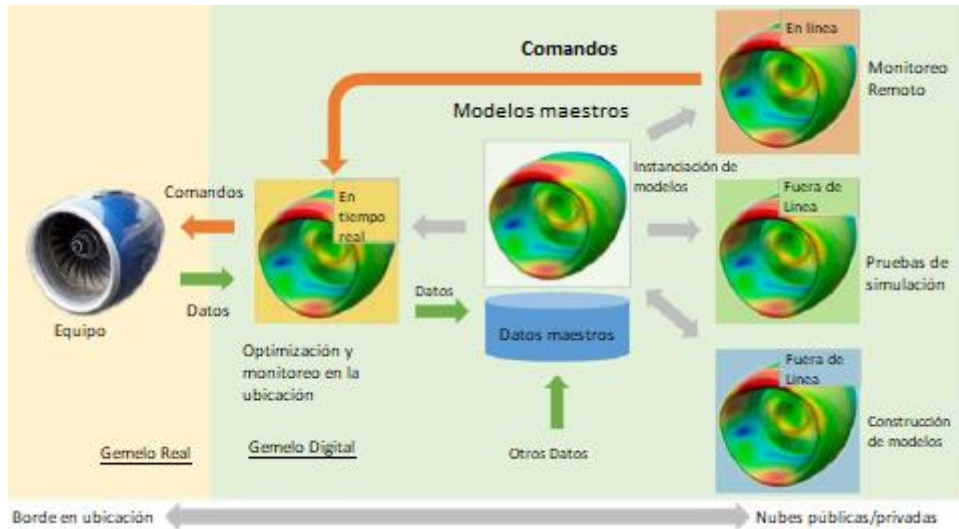


Figura 14.- Despliegue bajo demanda del borde a la nube

Traducción propia. Figura tomada de Industrial Internet Consortium (2020).

Seguridad

Se tienen diferentes consideraciones de seguridad en la interacción de gemelos digitales con entidades diferentes. Varias decisiones clave deben ser tomadas con respecto al despliegue de gemelos digitales, algunos ejemplos son:

- Mecanismos para asegurar el acceso al contenido de un gemelo digital, por ejemplo, por medio de control de acceso con base en función;
- Mecanismos para asegurar acceso a gemelos digitales individuales que provienen de diferentes vendedores que constituyen gemelos digitales compuestos;
- Mecanismos para asegurar las interacciones a la entidad primordial por medio de su gemelo digital;
- Métodos para asegurar la autenticidad de información, modelos y otros metadatos como identidades de otras partes y sus claves criptográficas y sus derechos y privilegios de acceso;

- Métodos para asegurar el despliegue de gemelos digitales y asegurar las versiones correctas y sin moderación de software son ejecutados para mejorar la confianza de la solución que ayude para proteger la propiedad intelectual de ciertos tipos de gemelos digitales; y
- Métodos, donde sea relevante, para ayudar la resolución de disputas deben ser requeridos para establecer la procedencia o el tiempo de cualquier información.

Interoperabilidad

De acuerdo con Industrial Internet Consortium, (2020), la interoperabilidad es la habilidad para dos o más sistemas o aplicaciones para intercambiar información y utilizar mutuamente la información que ha sido intercambiada”. Estándares internacionales o protocolos de comunicación acordados mutuamente son necesarios para definir la sintaxis de información, semántica de información, comportamiento esperado y políticas de intercambio de información para alcanzar interoperabilidad.

Varias decisiones claves deben ser tomadas con respecto a los aspectos de interoperabilidad de gemelos digitales, los ejemplos son:

- Mecanismos y estándares para asegurar la interoperabilidad de múltiples gemelos digitales entre sí;
- Mecanismos y estándares para asegurar la interoperabilidad de varias aplicaciones con gemelos digitales;
- Mecanismos y estándares para asegurar la interoperabilidad de gemelos digitales con sus entidades primordiales; y
- Mecanismos y estándares para asegurar la interoperabilidad de gemelos digitales con fuentes de información primordiales.

Cantidad de información

De acuerdo con Industrial Internet Consortium, (2020), el gemelo digital de una entidad es un medio e interfaz única para acceder a su información de ciclo vital. Los gemelos digitales pueden ser definidos para cualquier entidad de interés de una organización. Puede haber gemelos digitales separados para una entidad única debido a que el contexto sea diferente y la información es usada en diferentes formas.

Por lo tanto, los gemelos digital proporcionan una metodología de enfoque de sistemas, tecnología y herramientas para presentar entornos lógicos, físicos, y complejos y permitir efectividad en el monitoreo, diagnóstico, predicción y prescripción de una acción de entidades físicas y lógicas.

5.2 Enfoque de sistemas durante la implementación.

Tomando como base lo mencionado en el capítulo 4, en donde se presenta de manera general las definiciones esenciales del enfoque sistémico, entre ellas la definición de un sistema, así como los tipos de enfoques de sistemas más relevantes, a continuación, se presenta una propuesta para su implementación.

Con base en lo mencionado en el apartado 4.2 “Evolución de los paradigmas en la industria”, se puede apreciar que los enfoques de una organización han ido evolucionando, esto al mismo tiempo que el enfoque de sistemas ha ido evolucionando de manera acorde con el transcurrir en el tiempo.

Después de analizar el arte previo, tal como se menciona en el capítulo 1 y 2 de la presente tesis, me he percatado que existe en la actualidad una gran variedad de visiones con respecto a lo que implica la Cuarta Revolución Industrial. Esto dado que la Cuarta Revolución Industrial es un cambio de paradigma, que está basado en la tecnología ya

presente y/o con base en ventajas técnicas que permiten ser vislumbradas a partir de la tecnología actual.

En la actualidad, existen muchos materiales publicados con respecto a la Cuarta Revolución Industrial sin una rigurosidad procedimental para su estudio, desde aquellas publicaciones que fundamentan que se trata de tecnología de la Cuarta Revolución Industrial por el simple hecho de que consiste en la aplicación de una o más de las tecnologías esenciales para la Cuarta Revolución Industrial hasta las que no tienen el cuidado de analizar qué o cuales tecnologías están interviniendo en algún proceso; sin embargo, considero que la implementación de una tecnología esencial o de todas las tecnologías esenciales no es suficiente para asegurar que se trata de la una aplicación de la Cuarta Revolución Industrial.

Para poder establecer que se trata de una aplicación de la Cuarta Revolución Industrial se requiere establecer un marco conceptual, en el presente trabajo se promueve el concepto del enfoque de sistemas para poder identificar y establecer dicho marco conceptual, el cual es necesario para poder establecer que se trata de una aplicación de la Cuarta Revolución Industrial, y que se puede nombrar con el nombre de “Integración”.

De acuerdo con lo previamente mencionado, y enfocado de manera particular en el apartado 3.7, la Cuarta Revolución Industrial está basada en la aplicación de diversas herramientas tecnológicas industriales con la intención de poder alcanzar “la digitalización” de los procesos de una industria.

En este orden de ideas existen dos conceptos: “Digitalización” e “Integración”, los cuales están enfocados en los procesos industriales. A saber, si se sigue la línea técnica del presente trabajo se puede apreciar que la “Integración” se puede comprender como el objetivo y la “Digitalización” es el medio para conseguirlo.

Por lo tanto, se puede considerar que la Cuarta Revolución Industrial ha permitido o se ha establecido cumplir con los objetivos del enfoque “Social” del enfoque de sistemas, también conocido como “multimente”. Esto, dado que el enfoque social se ha dirigido de manera primordial a organizaciones puramente conformadas por seres humanos, no obstante, los actuales avances tecnológicos han permitido que se pueda considerar este enfoque social a las relaciones entre elementos físicos de los procesos tanto industriales como cotidianos.

Lo anterior, con base en que los dispositivos físicos de los procesos se habían venido considerando y manejando con base en el enfoque “mecanicista” del enfoque de sistemas tratado en el apartado 4.2.1 de presente trabajo, es decir, como sistemas cuyos elementos estaban relacionados bajo una “relación de energía”, es decir, caracterizada por la conexión física existe entre los elementos físicos.

Es por esto, que el enfoque de la Cuarta Revolución Industrial requiere un nuevo enfoque para los elementos físicos que conforman un proceso industrial, este es el “enfoque social o enfoque multi-mente” que está caracterizado por ser un enfoque que está conducido y limitado por fronteras de la información.

5.2.1 La implementación de la Cuarta Revolución Industrial

Para poder obtener el resultado de la integración de los procesos, es decir, que la organización puede ser concebida como un sistema, se propone el enfoque de sistemas que es descrita por Gharajedaghi (2011) en que establece la relación entre cinco conceptos que deben interactuar para poder obtener una verdadera integración, los conceptos son:

- a) Apertura (Openess)
- b) Propósito (Purposefulness)
- c) Multidimensionalidad (Multidimensionality)

- d) Propiedades Emergentes (Emergent Property)
- e) Comportamiento contraintuitivo (Counterintuitive Behavior)

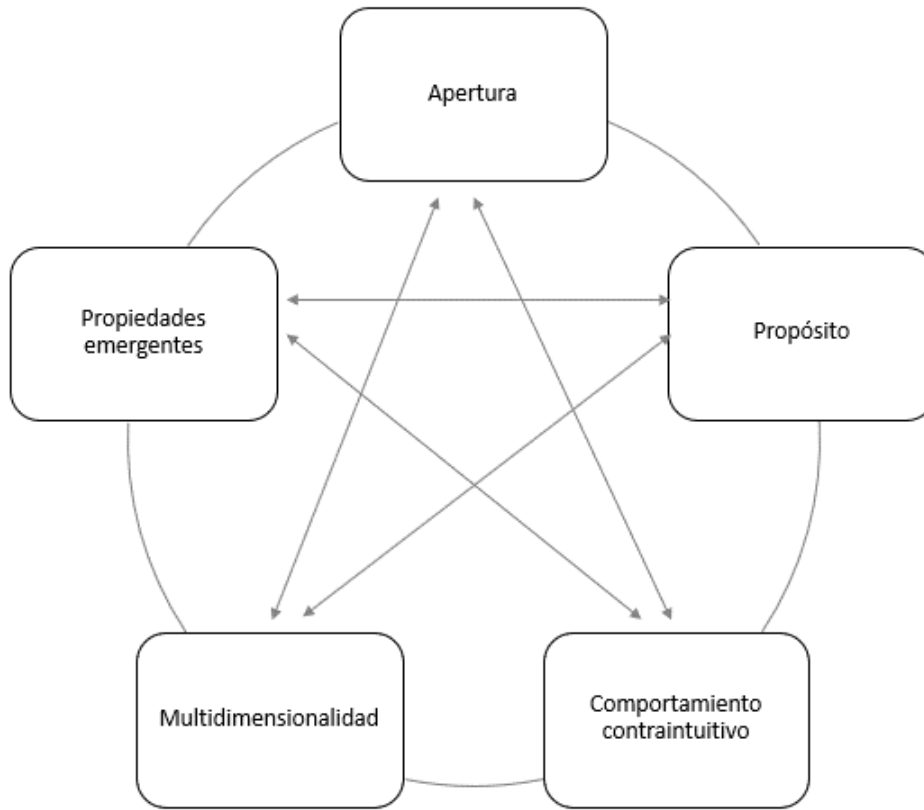


Figura 15.- Principios de sistemas

Traducción propia. Figura tomada de Gharajedaghi (2011).

- a) Apertura (Openess)

Este concepto está involucrado con el contexto en el que se desenvuelve un sistema, es decir, su entorno. Con base en uno de los fundamentos del enfoque de sistemas que establece que los subsistemas que integran a un sistema no son independientes entre sí, este concepto permite **en un primer paso** la manera de cómo entender al sistema con base en los elementos que pueden ser controlados y los que no, de manera que nos permite

distinguir tres conceptos importantes para la comprensión operacional y poder distinguir de mejor manera: el sistema, el entorno, y la frontera del sistema.

De esta manera, de forma operacional se puede definir que:

El sistema está conformado por un conjunto interactivo de variables que podrían ser controladas por actores participantes.

El entorno consiste en todas aquellas variables que, aunque afectan el comportamiento del sistema, no podrían ser controladas por él.

La frontera del sistema es por lo tanto un límite arbitrario, una construcción subjetiva definida por el interés y el nivel de la habilidad/autoridad de los actores participantes.

Aunado a lo anterior, como **segundo paso** se puede considerar que, si bien las variables que se encuentran en el entorno no pueden ser controladas por el sistema, en cierta medida son predecibles. Esto permite realizar una formulación para poder gestionar los sistemas abiertos, que está basada en los imperativos de *predecir* y *preparar*. *Predecir* el entorno, y *preparar* el sistema.

Adicionalmente, en consideración con las variables previamente mencionadas, se ha podido establecer la falta de una categoría de variables que es diferente con base en las variables que no se pueden controlar: *variables influenciadas*. A diferencia del *control*, que significa que una acción es tanto necesaria como suficiente para producir un resultado deseado, *influir* significa que la acción no es suficiente, únicamente es coproductora.

En este sentido las variables influenciadas se encuentra una nueva región llamada el *entorno transaccional*, el cual permite la comprensión de un sistema abierto, esto se ilustra en la siguiente figura 16. Este incluye todos los interesados críticos de un sistema: clientes, proveedores, accionistas, el jefe, y los miembros. Como se ilustra a continuación:

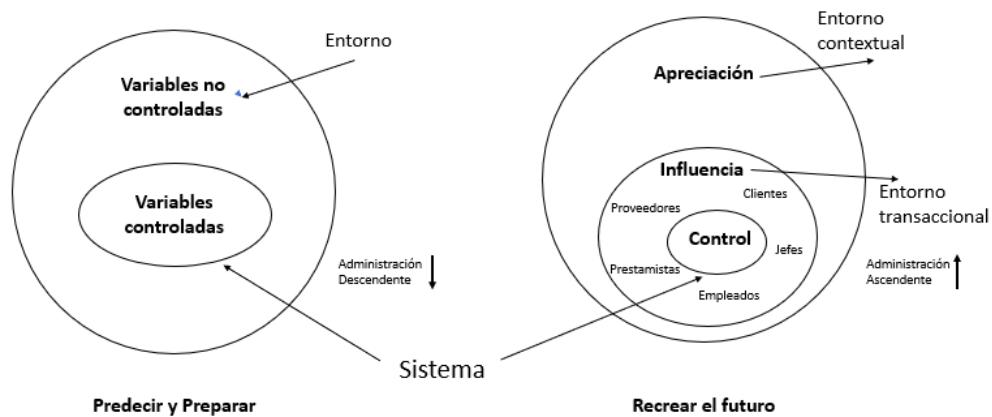


Figura 16.- Frontera de un sistema

Traducción propia. Figura tomada de Gharajedaghi (2011).

Al poder analizar el sistema para determinar su apertura, se puede encontrar que muchas variables no son controladas, por lo que debe buscarse la influencia en dichas variables. Por lo que el proceso de administración está relacionado con la administración del sistema transaccional. En este sentido, una organización puede influir en ese entorno transaccional.

Con base en la teoría de sistemas, se puede considerar que existen diferentes medios para interactuar con un sistema y dependiendo de la naturaleza del sistema se puede considerar los elementos que lo conforman y las relaciones entre sí, aunado a lo anterior, los sistemas que están abiertos al entorno tienen ciertas características que son más significativas para el entendimiento de su comportamiento. En este sentido, un sistema abierto al entorno mantiene sus propiedades comunes, pero mantiene su individualidad, todo esto con base en su código interno de identificación propio, por ejemplo, para un sistema vivo sería su ADN, para un sistema industrial sería su configuración física en el plano. Este código interno es el responsable de la tendencia de un sistema para funcionar con su lógica particular.

Comentario:

El enfoque de sistemas permite establecer una idea clara de los elementos que están relacionados con nuestros procesos. Las herramientas tecnológicas pueden incluso ser consideradas desde el enfoque de sistemas, sin embargo, ese análisis está fuera del alcance del presente trabajo.

b) Propósito

De acuerdo con Gharajedaghi (2011) hubo un tiempo en que tener información de clientes era de facto una ventaja competitiva, pero en la actualidad ya no es suficiente con tener la información del cliente, y establece que para realmente tener una ventaja competitiva se tiene que subir al nivel de “entendimiento” y aprender “porqué hacen [los clientes] lo que hacen”. Es en este punto importante saber distinguir la diferencia entre información y conocimiento, así como la diferencia entre estos y el entendimiento, por lo que para identificar estas diferencias se establece la relación que tienen con las preguntas a que estas responden:

- La información está relacionada con la pregunta “¿Qué?”;
- El conocimiento está relacionado con la pregunta “¿Cómo?”; y
- El conocimiento está relacionado con la pregunta “¿Por qué?”,

Esto es fundamental para poder influir en los actores en el entorno transaccional definido en el apartado anterior.

La esencia del propósito en un sistema está relacionada con el comportamiento de un sistema; reacción, respuesta, y acción. tal como se introdujeron en el apartado 4.1.2. A continuación se retoma para su mejor referencia:

Una reacción: Es un comportamiento del sistema para el cual un evento en el entorno es tanto necesario y suficiente.

Una respuesta: Es el comportamiento de un sistema que se caracteriza porque un evento en el entorno es necesario, pero no suficiente, de manera que un evento es sólo un coproductor.

Una Acción: Es el comportamiento de un sistema que se distingue porque un evento en el entorno no es ni necesario ni suficiente, de manera que es un comportamiento autónomo o autodeterminado.

En seguimiento a lo anterior, existen tipos de sistema que están correlacionados con los tipos de comportamiento de sistemas de la siguiente manera:

Sistemas que mantienen un estado

Es un tipo de sistema que reacciona a cambios para mantener su estado bajo condiciones de entorno diferentes. En este sentido, este tipo de sistemas pueden reaccionar (más no responder) porque lo que hace está determinado enteramente por el cambio en su entorno, y reaccionan con base en la estructura del sistema.

Sistemas que buscan un objetivo

Este tipo de sistemas pueden responder de manera diferente a diferentes eventos en el mismo o en diferentes entornos hasta que produzca un resultado (estado) particular. El

producto de este estado es su objetivo. Este tipo de sistema puede elegir el o los medios, pero no lo fines, es decir, estos sistemas pueden responder, pero no reaccionar, ya que la respuesta es voluntaria y la reacción no lo es.

Sistemas de propósito

Estos tipos de sistemas está enfocado al que se buscaría obtener en la Cuarta Revolución Industrial, están caracterizados por que pueden producir la misma salida con el mismo o diferente entorno, y además puede cambiar sus objetivos bajo condiciones constantes. De acuerdo con Gharajedaghi (2011), la habilidad para cambiar sus objetivos bajo condiciones constantes es lo que ejemplifican la voluntad libre (sistema de social), por lo que pueden aprender y adaptarse, y adicionalmente crear.

Comentario:

Con base en el enfoque de la Cuarta Revolución Industrial en este apartado se puede identificar las ventajas que ofrece el uso de la herramienta de Big Data y Data Analytics para poder obtener información, almacenarla y clasificarla para poder obtener un entendimiento de los clientes, y las ventajas que ofrece la inteligencia artificial para poder obtener un sistema que pueda tener las características de “aprendizaje”, “adaptación”, y “creación”.

c) Multidimensionalidad (Multidimensionality)

La multidimensionalidad es uno de los conceptos que debe ser considerado de manera más detallada para lograr la integración, ya que su adecuado entendimiento permitirá que el sistema obtenga un desarrollo con mejor rendimiento.

Este concepto trata con las relaciones de tendencias que son contrarias de acuerdo con una concepción, esto con la intención de “crear totalidades factibles con partes inviábiles”. En este sentido, la multidimensionalidad es opuesta a la creencia aún existente que tiene dos vertientes:

La primera conceptualizada como: “las tendencias contrarias son mutuamente excluyentes, es decir, para que una persista la otra debe ser eliminada”

La segunda conceptualizada como: “debe existir un compromiso entre las tendencias contrarias, de manera que se debe establecer un punto de equilibrio de predominancia de alguna tendencia, y que dicho punto es variable dependiendo de la importancia que pueda variar en una tendencia”

La forma en como de cómo tratar con tendencias contrarias comienza de manera regular con “la identificación”, en donde dichas tendencias contrarias se encuentran comúnmente en pares, aunque puede ser otra la relación. En un contexto industrial, “las tendencias” pueden ser, por ejemplo, “la producción” contra “la distribución”.

Al respecto, Gharajedaghi (2011) establece que el enfoque tradicional implicaría que cada tendencia sería analizada por separado, lo cual es problemático para un sistema, y promueve que se debe considerar estas tendencias como “no separadas” ya que pueden ser parte de un mismo concepto, y establece que:

“Un complemento es aquel que llena o completa un todo. El principio de la multidimensionalidad mantiene que las tendencias contrarias no sólo coexisten e interactúan, sino que adicionalmente forma una relación complementaria”

En este sentido, las relaciones complementarias no están restringida a un par de tendencias, estableciendo una relación de “y” (AND, en un concepto inclusión, y no de exclusión). Con este esquema cada tendencia representa una dimensión, resultando en un esquema multidimensional, de manera que una “pérdida” en alguna dimensión no necesariamente signifique una ganancia para otra la dimensión.

Es importante destacar que, al utilizar un esquema multidimensional, existen las tendencias contrarias al enfoque clásico, por lo cual podrían considerarse como dicotomías que ahora pueden interactuar e integrarse como algo completamente nuevo.

Por otro lado, Gharajedaghi (2011) menciona que de manera paralela y complementario al concepto de multidimensionalidad se encuentra el concepto de pluralidad, y establece que el núcleo de la teoría del sistema de desarrollo es la pluralidad de función, estructura y proceso. A continuación se abordan dichas pluralidades.

Pluralidad de Funciones

Este concepto destaca que un sistema (organización bajo estudio) puede tener diferente funcionalidad de acuerdo con los actores que lo integran, y cada uno puede buscar tener sus propios intereses que desean obtener de dicho sistema.

A manera de ejemplo, se puede buscar como objetivo en un sistema diversos fines como lo son: riqueza, poder, estética, etc. Por lo que dependiendo de la mentalidad de cada actor del sistema o de las funciones que desarrolla dicho actor puede determinar las prioridades de manera diferente.

Pluralidad de Estructura

Este enfoque contrasta con el enfoque clásico que refiere a que “la estructura de un sistema define los componentes y sus relaciones entre sí”, ya que la pluralidad de estructura es un concepto en el que los componentes y sus relaciones entre sí son múltiples y variables.

El cambio de la estructura tiene como origen una función a cumplir, de manera que las relaciones entre los elementos se pueden mantener hasta el momento de obtener el resultado deseado, y cambiar dicha relación para otra función. Estos cambios de relaciones pueden ir modificando con base en el aprendizaje y madurez con el tiempo, por lo que son variables y sujetos de cambio.

Este enfoque contrasta con el enfoque clásico en el que se considera que la estructura debe permanecer, sin embargo, es fundamental para la apreciación del concepto de multidimensionalidad y/o de sistemas con propósito.

Pluralidad de Procesos

Este concepto es contrario al concepto clásico determinístico que implica que “condiciones iniciales producen resultados similares”, y de manera consecuente con “los resultados que no son similares es debido a que no se tienen las condiciones iniciales similares”, por lo que se pueden considerar que en el enfoque clásico dada una estructura determinada el

comportamiento del sistema es completamente predecible a sus estados futuros invariablemente dependiendo de sus condiciones iniciales.

Este nuevo concepto de “pluralidad de procesos” establece que dependiendo del proceso se obtendrá los estados futuros, por lo que un fenómeno puede además ser estudiado como el resultado de un conjunto interactivo de procesos.

Comentarios

De acuerdo con lo mencionado en este apartado, la integración de los procesos que tiene como objetivo la llamada Cuarta Revolución Industrial también es considerada por el enfoque de sistema como uno de sus fundamentos.

Las herramientas tecnológicas, por lo tanto, deben ser consideradas como integradas en un todo, por medio de las cuales se llevan a cabo las funciones de nuestro sistema.

En este sentido, la aplicación de los sistemas cibefísicos permite detectar, registrar, y enviar las señales que son pertinentes para el entendimiento del estado de un proceso en un momento determinado. Big Data y Data Analytics por su parte puede almacenar la gran cantidad de datos provenientes de todos los sistemas cibefísicos que se tengan, y en su caso clasificarlos. La Inteligencia Artificial puede generar algoritmos que permitan distinguir la diversidad de causas de un estado actual con base en las diversas interacciones que se han tenido durante un tiempo determinado, de manera que el concepto de multidimensionalidad en la Cuarta Revolución Industrial puede ser mejor estudiada en el sistema relevante.

d) Propiedades Emergentes (Emergent Property)

Este concepto está relacionado con las ventajas más identificables que ofrecen los sistemas, de acuerdo con Gharajedaghi (2011) estas propiedades corresponden con el “todo” de un sistema, no con las partes del sistema, por lo que no pueden ser deducidas de las propiedades individuales de las partes que forman al sistema, esto ya que estas propiedades son resultados de las interacciones entre las partes, más que de las sumas individuales. En este sentido, las propiedades emergentes tienen que comprenderse con sus propios términos, y su medición (si fuera necesaria) puede ser tomada únicamente por su manifestación.

Aunado a esto, Gharajedaghi (2011) establece que debido a la naturaleza de las propiedades emergentes no pueden ser analizadas, no puede ser manipuladas por herramientas analíticas, y no se rigen con explicaciones causales. A continuación, se ofrece una imagen que ilustra las diferencia entre las propiedades emergentes y el enfoque común de las propiedades como “Suma de las Acciones”:

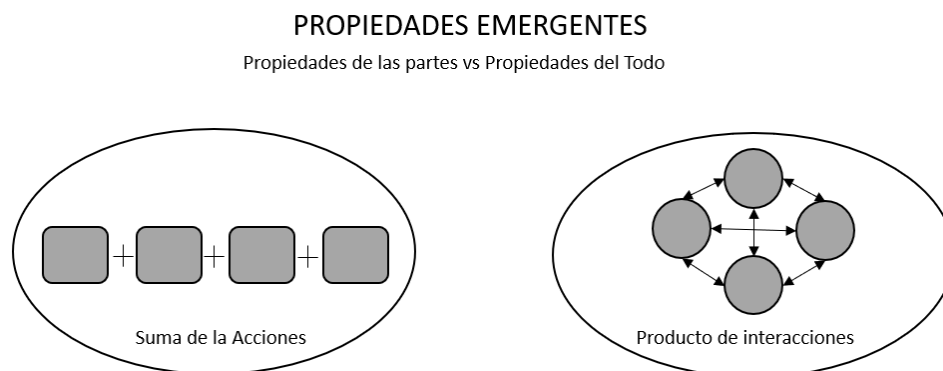


Figura 17.- Propiedades emergentes

Traducción propia. Figura tomada de Gharajedaghi (2011).

En este sentido, Gharajedaghi (2011) propone que las propiedades emergentes al ser producto de interacciones entre los elementos del sistema corresponden a un proceso dinámico que producen un estado dependiente del tiempo, de manera que las propiedades emergentes son reproducidas “en línea” de manera continua a tiempo real, esto implica que, si las interacciones que generan las propiedades emergentes llegan a su fin, las propiedades emergentes también lo harán.

Por lo tanto, si las propiedades emergentes son un resultado espontáneo de interacciones que se están llevando a cabo, para entender a dichas propiedades emergentes se tiene que entender por medio de las interacciones que las generan.

Para poder comprender las propiedades emergentes de un sistema, se debe poner atención en la compatibilidad entre las partes y sus interacciones de mutuo reforzamiento, ya que esto genera una resonancia que será de un orden de magnitud mayor que la de la suma de las fuerzas generadas por sus partes de manera individual. Este estudio podría identificar que en el sistema existe incompatibilidad entre sus partes, lo que resultaría en una fuerza de menor potencia que la de la fuerza que el “todo” podría haber producido. En este sentido, un sistema, dependiendo de la naturaleza de sus interacciones, puede ser de aumento de valor, o un sistema de reducción de valor.

Comentarios:

Entre las propiedades emergentes que se pueden identificar son las emociones humanas, como son: la felicidad, el entusiasmo, la alegría, etc., por lo que una industria que esté basada en la producción de bienes se puede asistir para su planeación en la identificación de alguna emoción particular que es generada y relacionada con la compra de sus productos. Esto puede lograrse en el enfoque de la Cuarta Revolución Industrial al utilizar

las herramientas tecnológicas, por ejemplo, se puede utilizar los datos obtenidos a través de las redes sociales por medio del internet de las cosas, y almacenar y clasificar dichos datos por medio del Big Data y Data Analytics, y reconocer los posibles patrones que generan las emociones en el público identificado como posible comprador, de manera que la digitalización de los procesos pueda permitir a su cadena de producción aumentar o disminuir la cantidad de productos fabricados y/o modificar las características de los mismos.

e) Comportamiento contraintuitivo (Counterintuitive Behavior)

De manera práctica, un comportamiento contraintuitivo puede ser comprendido como acciones que tienen la intención de producir un resultado deseado y terminan generando un resultado opuesto.

De acuerdo con Gharajedaghi (2011), para apreciar la naturaleza del comportamiento contraintuitivo se requiere entender las consecuencias prácticas de las siguientes aseveraciones:

- La causa y el efecto pueden estar separados en tiempo y espacio. Un evento que sucede en determinados tiempo y lugar puede tener un efecto retardado, que produce un impacto en un tiempo diferente y en un lugar diferente.
- La causa y el efecto pueden reemplazarse uno al otro, mostrando relaciones circulares.
- Un evento puede tener múltiples efectos. El orden de importancia puede cambiar en el tiempo.

- Un conjunto de variables que inicialmente puede tener un rol importante en la producción de un efecto puede ser reemplazado por un diferente conjunto de variables en un tiempo diferente.

En este sentido, es importante reconocer que “eliminar la causa inicial no necesariamente eliminará el efecto” Gharajedaghi (2011).

Tal como se ha mencionado anteriormente, el principio clásico de causalidad es adverso al principio al principio de multifinalidad, este último sugiere que un proceso al utilizar diferentes combinaciones de certeza, oportunidad, y elección, en lugar de las condiciones iniciales, tiene más relevancia para estado futuros.

Por lo tanto, se requiere generar un modelo dinámico para poder comprender las consecuencias de una acción a corto y largo plazo.

Comentario:

La importancia de los sistemas ciberfísicos resalta en este apartado, ya que para poder identificar la causa y efecto de algún evento se requiere conocer el estado de los elementos que conforman al sistema, esto es posible mediante los sistemas ciberfísicos.

A su vez, Big Data y Data Analytics puede almacenar una gran cantidad de los datos enviados por dichos sistemas ciberfísicos, y por medio de la Inteligencia Artificial identificar las relaciones de causa y efectos de eventos separados por tiempo y espacio.

Adicionalmente, una vez que se tiene un patrón de comportamiento se puede generar un modelo más certero (un modelo dinámico) y por medio de la simulación se puede consultar

los cambios y/o efectos que se pueden causar por medio de entradas específicas, por ejemplo, se puede simular la naturaleza no lineal, de múltiples bucles.

5.3 Ventajas obtenidas de la Cuarta Revolución Industrial

Las ventajas tecnológicas que ofrece la Cuarta Revolución Industrial se pueden presentar en los procesos de todas las áreas de una organización. Un ejemplo de estas ventajas se puede apreciar en las Finanzas de una empresa, tal como lo menciona Morales (2005), ya que las condiciones tecnológicas forman parte del macroambiente (entorno/ ambiente desde el punto de vista de teoría de sistemas) que puede influir en las Finanzas de una organización. Sin embargo, el enfoque de las ventajas expuestas en el presente trabajo está únicamente basada en la parte de los procesos industriales de manera general.

Con respecto a la Industria 4.0, aun cuando este enfoque está basado de manera principal en el área de manufactura, sus alcances llegan más allá del área de manufactura. Lo anterior, toda vez que la cadena de valor completa es influida, incluyendo a los productores y manufactureros, proveedores, y trabajadores.

Debido a que la Cuarta Revolución Industrial comprende un cambio de paradigma en lo referente a los procesos y tecnología involucrada, una de las principales cuestiones que se enfrenta una organización al implementar este nuevo paradigma es la falta de trabajadores técnicamente aptos, ya que estos surgirán poco a poco de las instituciones educativas que estarán generando recursos humanos para que tengan las habilidades requeridas. Sin embargo, el desarrollo y el software generado por las empresas que desarrollan la tecnología es de gran utilidad para implementar las ventajas de la cuarta Revolución Industrial.

Por ejemplo, para facilitar la implementación del proceso de digitalización, General Electric ha desarrollado una serie de herramientas que tienen las siguientes características y objetivos:

- Para usar “análítica avanzada” para predecir eventos se encuentra la herramienta “*Predix Asset Performance Management (Predix APM)*” que ayuda a incrementar confianza y disponibilidad de los activos mientras se optimizan los costos de mantenimiento, mitigando riesgos operacionales y reduciendo el costo total de propiedad (GE Digital (2020)).
- Para visualizar el proceso en tiempo real para recuperar la capacidad de producción y manejar una mejor eficiencia y optimización, General Electric ofrece la herramienta “*Predix Manufacturing Execution Systems (Predix MES)*”, el cual es en de manera operacional un sistema de ejecución de manufactura (Manufacturing Execution System, MES por sus siglas en inglés) el cual está enfocado a las nuevas herramientas de la cuarta revolución industrial, de tal manera que ofrece una facilidad para digitalizar una planta de manufactura o industria con introspección que optimiza los procesos (GE Digital (2020)).
- Con el objetivo de apoyar a los operadores para tomar las decisiones correctas en su debido momento, General Electric ofrece la herramienta “*Predix HMI / SCADA*”, que puede ayudar a que el operador tome las mejores decisiones con alto rendimiento basado en un modelo para mejorar la velocidad de respuesta y desarrollo (GE Digital (2020)).

En este sentido, GE Digital (2020) menciona que la utilización del software que provee debe ser considerada por las empresas que desean comenzar a interactuar y adaptarse al contexto de la Cuarta Revolución Industrial, toda vez que menciona que de acuerdo con una investigación realizada, únicamente 5% de las compañías han sido éxitos en la transformación digital.

6. Conclusiones

La Cuarta Revolución Industrial comprende un nuevo paradigma industrial, toda vez que conlleva un cambio de enfoque en la forma de ver las actividades (procesos) dentro de una organización, y que dicho enfoque es diferente a los enfoques previos.

En este sentido, el origen de la Cuarta Revolución Industrial se puede considerar a partir de dos puntos de partida: el primero, debido a la necesidad de tener ventajas competitivas en el contexto global actual, entre las ventajas que se han buscado se puede encontrar: la comunicación en tiempo real, la calidad de los productos, la personalización de los productos, y la optimización de los procesos, entre otros; y el segundo, que surge a partir de los avances tecnológicos que fueron concebidos de manera separada pero que han convergido para ofrecer un nuevo concepto en los procesos industriales: la digitalización.

En el presente trabajo se ha utilizado el enfoque sistémico para poder comprender, explicar y exponer las ventajas técnicas que puede ofrecer el nuevo concepto denominado “Cuarta Revolución Industrial”, esto ya que existe en la actualidad tres grandes corrientes paralelas de este nuevo enfoque.

El presente trabajo tuvo como base el identificar cual es la esencia de la Cuarta Revolución Industrial, esto fue complejo dado que la literatura que existe es reciente y no se tiene un conceso definitivo de los conceptos.

Se han presentado las tecnologías más cercanas que son la esencia de la Cuarta Revolución Industrial, y los enfoque que se han creado por las tres principales corrientes de la Cuarta Revolución Industrial, y se ha utilizado el enfoque de sistemas para ofrecer de manera clara cuál es el producto que se busca tener con este nuevo paradigma de los procesos.

Aun cuando sabemos que en la actualidad la industria comprende un amplio rango de actividades y procesos que se llevan a cabo por medio de herramientas que varían de manera muy grande -con respecto a niveles tecnológicos-, desde las tecnologías que se identifican con aquellas de la Segunda Revolución Industrial hasta las tecnologías que se están desarrollando acorde al enfoque de la Cuarta Revolución Industrial, el presente trabajo ha puesto un panorama general de la Cuarta Revolución Industrial de una manera que puede ser comprendida por algún lector no relacionado en el área técnica involucrada.

Sin duda la literatura relacionada con la Cuarta Revolución Industrial seguirá surgiendo y se presentarán enfoques nuevos que deberán ser considerados a partir de los enfoques ya conocidos, hasta que exista la suficiente experimentación con la tecnología involucrada para poder establecer un conocimiento básico común, que quizá será muy diferente a los que se conocen actualmente.

En este sentido, será de mucha utilidad poder estudiar casos particulares en alguna empresa que pueda tener sus procesos digitalizados (al menos lo más cercano a la totalidad de sus procesos) y aplicar el enfoque sistémico como forma de ofrecer un entendimiento del alcance de la Cuarta Revolución Industrial.

Después de realizar el presente trabajo tengo la certeza de la importancia de la aplicación del enfoque sistémico en el diseño de una organización, y considero que la Cuarta Revolución Industrial permitirá una mejor aplicación y estudio del enfoque sistémico. Desde mi punto de vista, la Cuarta Revolución Industrial ha llegado para poder implementar el enfoque social dentro de una organización, pero ya no sólo de personas sino de los elementos físicos que ahora cuentan con la capacidad de poder tomar decisiones, y tal vez pueda ser considerado junto con el enfoque del paradigma cibernético, para poder mejorar los procesos y establecer una mejor definición del paradigma de la Cuarta Revolución Industrial.

Referencias

1. Ackoff, Russell L. (1994). Systems thinking and thinking systems. System Dynamic Review. Volume 10. Editorial John Wiley & Sons.
2. Ackoff, Russell L. (1999). ACKOFF'S BEST. HIS CLASSIC WRITINGS ON MANAGEMENT. Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA.
3. Banafa, Ahmed (2015). Internet de las cosas y computación de la niebla. Obtenida el 6 de enero de 2020, de <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/mundo-digital/internet-de-las-cosas-y-computacion-de-la-niebla/>
4. Bartodziej, Cristoph Jan (2017). THE CONCEPT INDUSTRY 4.0, An Empirical Analysis of Technologies And Applications in Production Logistics. Ed. Springer Gabler.
5. Biru, Abye., Minerva, Roberto., y Rotondi, Domenico. (2015). TOWARDS DEFINITION OF INTERNET OF THE THINGS, REVISION 1. IEEE.
6. Borshchev, Andrei. (2016). The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with Anylogic 6. AnyLogic North America.
7. Cámara de Comercio de los Estados Unidos de América. (2017). Made in China 2025: Global Ambitions Built on Local Protections.
8. Cohen, Yuval., Faccio, Maurizio., Galizia, Francesco Gabriele., Mora, Cristina., y Pilati, Francesco. (2017). Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms.
9. GE DIGITAL. BLOG: (2020). Everything you need to know about the Industrial Internet of Things. Recuperado el 20 de mayo de 2020, de: <https://www.ge.com/digital/blog/everything-you-need-know-about-industrial-internet-things>

10. General Electric. (2018). The Digital Twin. Compressing Time-To-Value For Digital Industrie Companies.
11. Gómez Pérez-Cuadrado, Esther. (2016). Oficina Económica y Comercial de España en Pekín. Made in China 2025. Recuperado el 2 de mayo de 2019 de <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2016671546.html?idPais=CN>
12. Gharajedaghi, Jamshid. (2011). Cap. 1. Cómo está el juego evolucionando. Pensamiento de sistemas, Manejo del caos y complejidad, Una plataforma para diseñar arquitectura de negocios. (p.p. 10 -12). Tercera Edición. Massachusetts, E.U.A. Editorial Elseiver.
13. Gilchrist, Alasdair. (2016) Industry 4.0. The Industrial Internet of the Things. Editorial Apress.
14. Groover, Mikell P. (2018). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Tercera Edición. Editorial Pearson Prentice Hall.
15. Horn, Jeff. (2016). The Industrial Revolution: History, Documents, And Key Questions. Estados Unidos de América. Editorial ABC-CLIO.
16. Industrial Internet Consortium. (2020). DIGITAL TWINS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS. Definition, Business Values, Design Aspects, Standards And Use Cases. Version 1.0.
17. Industrial Internet Consortium. OpenFog. "THE INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM: A GLOBAL NOT-FOR-PROFIT PARTNERSHIP OF INDUSTRY, GOVERNMENT AND ACADEMIA". Recuperado el 2 de mayo de 2019 de <https://www.iiconsortium.org/about-us.htm>
18. Kuhn, Thomas S. (2006). LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTIFICAS. Tercera Edición. Editorial Fondo de Cultura Económica.
19. Lin, Shi-Wan., Murphy, Brett., Clauer, Erich., Loewen, Ulrich., Neubert, Ralf., Bachmann, Gerd., Pai, Madhusudan., y Hankel, Martin (2017). ARQUITECTURE

ALIGNMENT AND INTEROPERABILITY. An Industrial Internet Consortium and Platform Industrie 4.0.

20. Lin, Shi-Wan., Malakuti, Somayeh., y Van Schalwyk, Pieter. (2020). A SHORT INTRODUCTION TO DIGITAL TWINS. A common vocabulary and approach to digital twins can elevate our understanding of their value. Publicado el 05 de febrero del 2020.
21. Mell, Peter., Grance, Tim., Badger, Lee., McCallister, Erika., Scarfone, Karen. EFFECTIVELY AND SECURELY USING THE CLOUD COMPUTING PARADIGM. Recuperado el 05 de octubre de 2020 de la base de datos del National Institute of Standards and Technology (NIST).
22. Ménière, Yann., Rudyk, Ilja., y Valdes, Javier. (2017). Patents and the Fourth Industrial Revolution. The inventions behind digital transformation. Oficina Europea de Patentes.
23. Mitchell, Ian., Locke, Mark., Wilson, Mark. y Fuller, Andy. (2012) THE WHITE BOOK OF BIG DATA. The definitive guide to the revolution in business analytics. Fujitsu Services Ltd.
24. Morales Castro, Arturo. Sánchez Rodríguez, Benjamín. Morales Castro, José Antonio. Figueroa Flores, José Gabriel. (2005). APUNTES PARA LA ASIGNATURA. FINANZAS I. Fondo editorial de la Facultad de Contaduría y Administración.
25. Nilsen, Samuel., y Nyberg, Eric. (2016). The adoption of Industry 4.0 -technologies in manufacturing- a multiple case study.
26. Nilsson, Nils J. (2010) THE QUEST FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE. A HISTORY OF IDEAS AND ACHIEVEMENTS. Ed. Cambridge University Press.
27. Norbury, Alan. (2015). INDUSTRY 4.0-VISION TO REALITY. Siemens UK Industrial CTO. Recuperado el 08 de febrero de 2020, de <https://www.nottingham.ac.uk/ifam/documents/dtmi2015/1-1-a-vision-into-the-future-of-manufacturing.pdf>

28. O'Connor, Joseph., y McDermott, Ian. (1998). Introducción al Pensamiento Sistémico. Recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas. Editorial Urano.
29. Plattform Industrie 4.0., Federal Ministry of Education and Research. "What is Industrie 4.0?". Recuperado el 2 de mayo de 2019 de <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>
30. Qin, Jian., Liu, Ying., y Grosvenor, Roger. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond.
31. Rodríguez Rubio, Jorge. (2018). Arquitectura de Big Data. Apuntes de clases.
32. Schroeck, Michael., Shockley, Rebecca., Smart, Janet., Romero-Morales, Dolores. & Tufano, Peter. (2012). ANALYTICS: EL USO DE BIG DATA EN EL MUNDO REAL.CÓMO LAS EMPRESAS MÁS INNOVADORAS EXTRAEN VALOR DE DATOS INCIERTOS. IBM Institute for Business Value, y Escuela de Negocios Saïd en la Universidad de Oxford.
33. Stone, Peter., Brooks, Rodney., Brynjolfsson, Erik., Calo, Ryan., Etzioni, Oren., Hager, Greg., Hirschberg, Julia., Kalyanakrishnan, Shivaram., Kamar, Ece., Kraus, Sarit. Leyton-Brown, Kevin., Parkes, David., Press, William., Saxenian, AnnaLee., Shah, Julie., Tambe, Milind., y Teller, Astro. (2016). ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LIFE IN 2030. One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel, Stanford University, Stanford, CA, September 2016. Doc: <http://ai100.stanford.edu/2016-report>. Accessed: September 6, 2016.
34. Wagner, Tobias., Hermann, Christoph., y Thiede, Sebastian. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems.
35. Winston, Patrick H. (1993). ARTIFICIAL INTELLIGENCE. Tercera Edición. Editorial Addison-Wesley Publishing Company.
36. WIPO (2019). WIPO Technology Trends 2019: Artificial Intelligence. Geneva: World Intellectual Property Organization.