

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



**GRADO DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS Y  
SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN  
TRABAJO FIN DE GRADO**

**MODELADO DE FÁBRICAS DEL FUTURO:  
APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE  
SISTEMAS DE SISTEMAS A LA INDUSTRIA  
4.0.**

**MIGUEL GARCÍA CRESPO  
2016**

(Página par en blanco)

## TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO: Modelado de Fábricas del Futuro:  
Aplicación de la Ingeniería de Sistemas  
de Sistemas a la Industria 4.0

AUTOR: D. Miguel García Crespo

TUTOR: D. Diego Andina de la Fuente

DEPARTAMENTO: Departamento de Señales, Sistemas y  
Radiocomunicaciones

## TRIBUNAL:

Presidente: D. Juan Isidoro Seijas Martínez-  
Echevarría

Vocal: D. Martín Javier Alarcón Mondéjar

Secretario: D. Santiago Torres Alegre

Suplente: D. José Julián Chaparro Peláez

FECHA DE LECTURA: \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN: \_\_\_\_\_



## **Agradecimientos:**

Querría expresar ante todo mi agradecimiento y reconocimiento a todas aquellas personas que, gracias a su desempeño y colaboración, han conseguido y contribuido a la finalización de este Trabajo Fin de Grado.

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de dos personas. Me gustaría en primer lugar mas sincero agradecimiento a Diego Andina de la Fuente, tutor de este proyecto, por su dedicación, ayuda, supervisión y consejos durante el desarrollo de este trabajo. Un agradecimiento especial también merece la profesora Irene Martín Rubio, por su colaboración, tiempo invertido en tutorías y ayuda en la búsqueda y desarrollo de los sujetos abordados en este trabajo.

Además agradecer la paciencia que me proporcionaron y tiempo empleado para que esto saliera de la mejor manera posible. Gracias por su apoyo y por ser parte de la columna vertebral de mi trabajo.

También, quiero agradecer a mi familia, por su ánimo en los momentos más bajos, paciencia y apoyo que me han brindado a lo largo de toda la carrera.

A todos ellos, Muchas Gracias.

## **Resumen:**

La tecnología está permitiendo dar un paso revolucionario en los procesos de producción. La nueva revolución asociada se basa en la interconexión virtualmente total de dispositivos, haciendo posible el acceso a cualquier dato desde cualquier lugar y con cualquier dispositivo. Sensores inteligentes, sistemas RFID para disponer de trazabilidad, impresiones 3D, uso de la nube (cloud), entre otras, todo esto ya está siendo utilizado en muchas fábricas, pero es sólo el principio de un escenario inminente denominado "Industria 4.0".

Uno de los factores clave de esta llamada industria 4.0 son los sensores y actuadores capaces de auto-gestionarse a sí mismos, dar información de diagnóstico y proporcionar datos accesibles remotamente a través de la red local e internet, como parte de la llamada internet industrial de las cosas (IoT). Con ello la complejidad de los sistemas aumentará en órdenes de magnitud, y sin embargo, debe resultar viable, fácil y rápido disponer de la información necesaria para su análisis y toma de decisiones. En definitiva, la fábrica basada en Industria 4.0 aumentará su eficiencia, ganará en flexibilidad y será capaz de ofrecer productos personalizados a sus clientes, con un tiempo de entrega y costes reducidos.

El reto es cómo gestionar sistemas complejos formados por la interconexión evolutiva de múltiples sistemas. Para ello se está desarrollando concurrentemente la disciplina de Ingeniería de Sistemas de Sistemas (SoSE). SoSE involucra el desarrollo y las operaciones de sistemas autónomos que realizan una tarea común, presentando propiedades emergentes y desarrollo evolutivo. Mientras que "Ingeniería de Sistemas" se centra en construir un sistema correctamente, SoSE se centra en desarrollar un sistema compuesto a su vez de Sistemas y sus interacciones para satisfacer requerimientos comunes, interactuando conjuntamente para satisfacer nuevos objetivos, con el potencial de revolucionar de manera drástica la forma de producción de las industrias y fábricas, y permitiendo una personalización del producto de cara al consumidor, así como beneficios en costes y tiempos entre otros.

Este trabajo se estudia y propone cómo aplicar la tecnología SoSE en el entorno de la industria 4.0 para modelar la fábrica del futuro, que será el sistema clave de la Industria 4.0.

**Palabras clave:** Industria 4.0, Sistemas ciber-físicos (CPS), Internet of Things (IoT), Smart Factories, Ingeniería de Sistemas de Sistemas.

## **Abstract:**

Technology enables society to give a revolutionary step in the production process. The new revolution associated is based on the full virtual interconnection of devices, making it possible to access any data from anywhere and with any device. Smart sensors, RFID systems which provide traceability, 3D printing, the use of the cloud, among others, all of this, are already being used in many factories, but this is only the beginning of an impending scenario called "Industry 4.0".

One of the key factors of this industry 4.0 are the sensors and actuators ability to self-manage themselves, giving diagnostic information and provide remote data over the local network and the Internet, as part of the Internet things (IoT). This complexity of the systems will increase by orders of magnitude, and must be feasible, easy and fast to access to the information, necessary for analysis and decision making. In short, the factory based in Industry 4.0 increases its efficiency, gains flexibility and be able to offer customized products to customers, with a short delivery time and reduced costs.

The challenge is how to manage complex systems formed by the evolutionary interconnection of multiple systems. Currently is being developed the discipline of Systems Engineering Systems (SoSE). SoSE involves the development and operations of autonomous systems that perform a common task, presenting emergent properties and evolutionary development. While "Systems Engineering" focuses on building a system properly, SoSE focuses on developing a system composed in turn Systems and their interactions to meet common requirements, interacting together to meet new targets with the potential to revolutionize the production industries and factories, and allowing customization of the product for the consumer as well as benefits in cost and time among others.

This paper studies and proposes how to apply the technology in Sose industry environment 4.0 to model the factory of the future (FoF), which will be the key system of Industry 4.0.

## Contenido

<b>INDUSTRIA 4.0: “LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL”</b> .....	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
<i>Contexto</i> .....	1
INDUSTRIA 4.0: .....	1
<i>Marco Histórico</i> .....	2
<i>Principales características</i> .....	4
<i>¿Potencial de la industria 4.0?</i> .....	7
<i>Las cuatro propiedades principales</i> .....	10
INTERNET OF THINGS (INTERNET DE LAS COSAS).....	14
<i>Modelo de negocio aplicado a IoT</i> .....	16
<i>Nivel Industrial de IoT</i> .....	16
<i>Arquitectura y modelo de referencia de IoT</i> .....	17
<i>La nube (Cloud Computing)</i> .....	19
SISTEMAS CIBER FÍSICOS (CIBER-PHISICAL SYSTEMS CPSs) .....	20
<i>Características</i> .....	21
<i>Arquitectura y modelo de referencia de CPS</i> .....	21
DISEÑO DEL PRODUCTO Y DEFINICIÓN DE CADENA DE VALOR: .....	23
<i>Nueva cadena de valor, cambio y características:</i> .....	26
<i>Criterios de diseño de la cadena de valor:</i> .....	28
<i>¿Como la Virtualización, descentralización, y la conexión global cambian el escenario de la producción?</i> .....	32
<b>INGENIERÍA DE SISTEMAS DE SISTEMAS</b> .....	<b>34</b>
INTRODUCCIÓN .....	34
INGENIERÍA DE SISTEMAS COMO SISTEMA DE SISTEMAS .....	37
ELEMENTO BÁSICOS DE INGENIERÍA DE SISTEMA DE SISTEMAS .....	40
MODELAJE DE FÁBRICA DE FUTURO MEDIANTE SISTEMAS DE SISTEMAS .....	43
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>44</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>49</b>
ANEXO 1: CASO DE ESTUDIO SMARTFACTORYKL.....	49



## **Lista de figuras**

- Figura 1. Revoluciones Industriales a lo largo de la historia (Pág.3).
- Figura 2. Análisis de tecnologías y conceptos Industria 4.0 (Pág.5).
- Figura 3. Entorno Industria 4.0 (Pág.9).
- Figura 4. Crecimiento de tecnologías exponenciales (Pág.10).
- Figura 5. Características Industria 4.0 (Pág.11).
- Figura 6. Internet of Things (Pág.14).
- Figura 7. Integración de Internet de los servicios e Internet de las cosas (Pág.15).
- Figura 8. Reorganización en el modelo de negocio (Pág.16).
- Figura 9. Arquitectura del modelo de referencia de la Industria 4.0 (Pág.18).
- Figura 10. Arquitectura Industria 4.0 (Pág.18).
- Figura 11. Integración de las fabricas inteligentes (Pág.19).
- Figura 12. Servicio orientado basado en la nube e interacciones (Pág.20).
- Figura 13. Filosofía CPS e IoT (Pág.23).
- Figura 14. Fusión mundo virtual y físico fábrica inteligente (Pág.24).
- Figura 15. Cadena de suministro (Pág.25).
- Figura 16. Habilitadores digitales de la Industria 4.0 (Pág.26).
- Figura 17. Interfaz actual de producción (Pág.28).
- Figura 18. Interfaz futura de producción basada en Industria 4.0 (Pág.28).
- Figura 19. Tabla con principios de diseño de Industria 4.0 (Pág.29).
- Figura 20. Interacción humano-maquina (Pág.32).
- Figura 21. Tabla Categorías SoS (Pág.35).
- Figura 22. Tabla Comparativa de SE y SoSE (Pág.38).
- Figura 23. Proceso de Ingeniería SoSE (Pág.42).
- Figura 24. Fabrica del Futuro (Pág.43).
- Figura 25. SmartFactoryKL Caso de estudio laboratorio (Pág.48).
- Figura 26. SmartFactoryKL Visión de la integración tecnológica (Pág.49).
- Figura 27. SmartFactoryKL Servicio de mantenimiento (Pág.50).



# INDUSTRIA 4.0: “LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL”.

## Introducción

En el siguiente apartado definiremos y explicaremos el término de Industria 4.0 además de todas las tecnologías que lo involucran y forman. Con esto conseguiremos obtener una pequeña idea para entender la gran influencia y crecimiento que puede suponer en el mundo de la producción y de los negocios.

## Contexto

Es en el año 2013 cuando el término Industria 4.0 se convierte en el foco de atención. Industria 4.0, es un término que hace referencia a la 4ª Revolución Industrial, principalmente impulsada por el Gobierno Alemán y líderes industriales, investigadores y asociaciones, describiendo una estrategia nacional conjunta basada en mejorar la industria, potenciada por el cambio de una producción centralizada a una producción descentralizada y controlada.

Sin embargo si realizáramos una búsqueda global, nos daríamos cuenta de la falta de información para lograr comprender todas las implicaciones y repercusiones que este asunto desata sobre la sociedad industrial. En este contexto, el autor de este trabajo ha aceptado el reto de la investigación sobre este tema con el fin de proporcionar no solo una comprensión global, sino también, recomendaciones para entender el concepto y ayudar a todas las partes interesadas.

## Industria 4.0:

La Industria está sufriendo un gran cambio, en concreto en la forma en la que se relacionan y se integran los procesos, todo esto permitido mediante el Internet de las cosas y los servicios como explicaremos más adelante. Esto obliga a cambiar completamente toda la organización industrial y el modelo de negocio. La integración de las redes colaborativas para el intercambio de información y datos, conectado directamente a través de su sistema productivo, permite una nueva generación de valor añadido y beneficios para todas las partes interesadas. Esto permite reaccionar ante los inciertos cambios de los mercados globales.

## Marco Histórico

La base de la economía en Europa, así como la forma de vida, se basa principalmente en la revolución industrial (Flegel's 2009). El desarrollo tecnológico permitió durante un tiempo una globalización de las tecnologías industriales. La consecuencia de todo esto fue el desarrollo económico y social de muchos países que conforman el mercado mundial actual.

El término revolución industrial, ha causado una viva discusión sobre su origen y relevancia durante los últimos tiempos en la comunidad científica (Coleman, 1983). Sin embargo, ha sido ampliamente aceptada como un elemento representativo de fases diferenciadas, basadas en un desarrollo de la capacidad tecnológica productiva, siendo la creatividad un factor clave para el crecimiento, desarrollo y cambio de la sociedad humana y el medio ambiente. Se puede entender el término revolución industrial como un conjunto de macro-invencciones que permitieron acelerar micro-invencciones.

Cuando hablamos de industria y producción, es importante tener en cuenta que ha evolucionado y se ha desarrollado hasta llegar a la situación actual. En un principio todo se realizaba manualmente utilizando la propia fuerza. Desde entonces la humanidad ha sufrido numerosos cambios. Los tres puntos de inflexión más destacados de la historia no han sido otros, que las tres revoluciones industriales.

La primera revolución industrial se data de 1760 hasta 1830. Se basó en la mecanización de la producción, donde el desarrollo del producto pasó de las propias manos a las máquinas. La mayor parte de estas máquinas eran impulsadas mediante energía proporcionada por el vapor (la eficiencia de energía producida mediante agua creció también). En este tiempo se produjo también el remplazamiento de los biocombustibles y la madera por el carbón. Esta revolución industrial empezó en Gran Bretaña y fue acunada por Europa y EE.UU años posteriores, teniendo su mayor implantación en la industria textil. Todo esto permitió un gran cambio en la vida diaria de la población media, proporcionando un nivel de ingresos y crecimiento continuo.

Después de la primera revolución industrial con la mecanización de la producción, empezó la segunda revolución industrial. Esta segunda revolución industrial la datamos entre 1840 y 1870 y es principalmente conocida como la revolución tecnológica. La llegada del ferrocarril y las nuevas plantas de producción de hierro y acero fue su gran caracterización. Con estas facilidades se encontraban más y más maquinaria y esto llevó a crear fábricas eléctricas. Con esta nueva oportunidad de entregar grandes cantidades de productos de un sitio a otro con la ayuda del ferrocarril combinado con la alimentación eléctrica de las máquinas hizo que hubiera una producción en masa.

Entre 1950 y 1970 tuvo lugar la revolución digital, también denominada tercera revolución industrial. La tecnología digital fue el principal eje de este

gran cambio, el cual empezó con la primera computadora Z1 construida por Konard Zuse. Otro factor realmente importante de esta tercera revolución fue sin duda la tecnología de comunicación. En estos momentos las fabricas utilizan circuitos lógicos y tecnologías como ordenadores e internet. En este marco entramos en lo que se puede llamar la edad de la información, ya que prácticamente el 90% de todos los procesos de fabricación industrial están implementados en tecnología de la información y comunicación (ICT). Actualmente, el uso de teléfonos inteligentes (Smartphone), tablets, ordenadores, y toda la computación en la nube (cloud computing) será el siguiente paso a dar. Estas nuevas tecnologías desembocarán en la cuarta revolución industrial, la cual se recoge bajo el término de Industria 4.0.

En el siguiente gráfico podemos ver de manera resumida las cuatro revoluciones industriales:

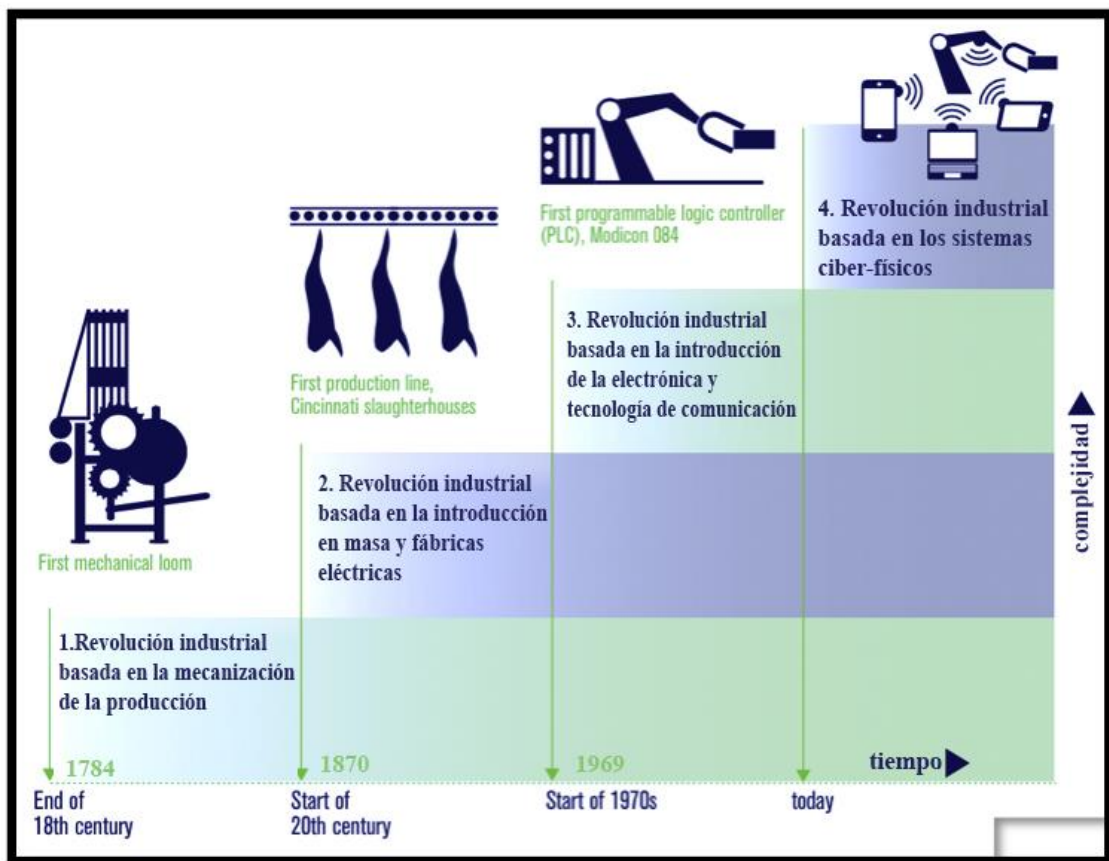


Figura 1: Revoluciones Industriales a lo largo de la historia

Para algunas personas de la comunidad científica , el término de 4ª revolución industrial representa la integración del mundo digital con el físico, basado en el Internet de los objetos. Sin embargo para otros, significa la tercera revolución industrial , en concreto para aquellos que incluyen la producción mecánica de mercancías en la primera revolución industrial y por lo tanto no tienen en cuenta la existencia de una tercera revolución industrial basada en la automatización de los

procesos de fabricación digital. Términos tales como producción inteligente, fabricación inteligente, fábrica inteligente y fabricación avanzada, entre otros, suponen sinónimos de la misma expresión tecnológica.

### Principales características

Alrededor del mundo, la producción industrial tradicional, se encuentra en medio de una transformación que está siendo acelerada de manera exponencial debido al crecimiento de las nuevas tecnologías (drones, sensores, impresoras 3D, robots inteligentes, entre otros...). Además por otro lado las empresas deben adaptarse a estos numerosos y rápidos cambios, si no quieren quedarse atrás en el sector, respecto a sus competidores. La adopción generalizada de la producción industrial en el mundo de las tecnologías de información y comunicaciones, esta allanando en camino de la producción, logística y desarrollo. Este trabajo en red dentro del "Internet of things"(IoT), servicios, datos y personas transformará el futuro de la producción.

Todos los rasgos característicos que se debaten actualmente de la expresión "Industria 4.0" se incluyen dentro de un análisis conceptual, en el que todas las tecnologías y conceptos mencionados se validaron con respecto a la pregunta: ¿Permite esta tecnología o concepto realizar innovaciones en la cadena de valor de un proceso de producción, de acuerdo a una característica específica? Por ejemplo, la tecnología Cloud Computing (nube) permite procesos digitales y propuestas de valor y aumenta la modularización y la escalabilidad de los productos, procesos y servicios de la cadena de suministro. La Figura 2 resume los resultados del análisis para las 49 tecnologías y conceptos que podrían conformar perfectamente este término. Las características marcadas con un color más oscuro son las más relevantes (más de 30) y, por tanto, estos términos son los que utilizamos para definir el término "Industria 4.0". Basándonos en dicha gráfica podemos consolidar el término Industria 4.0 con la siguiente definición: Industria 4.0 es la suma de todas las innovaciones aplicadas a la cadena de valor para hacer frente a las tendencias de la digitalización, autonomización, transparencia, movilidad, modularización, interconexión y socialización de los productos y procesos.

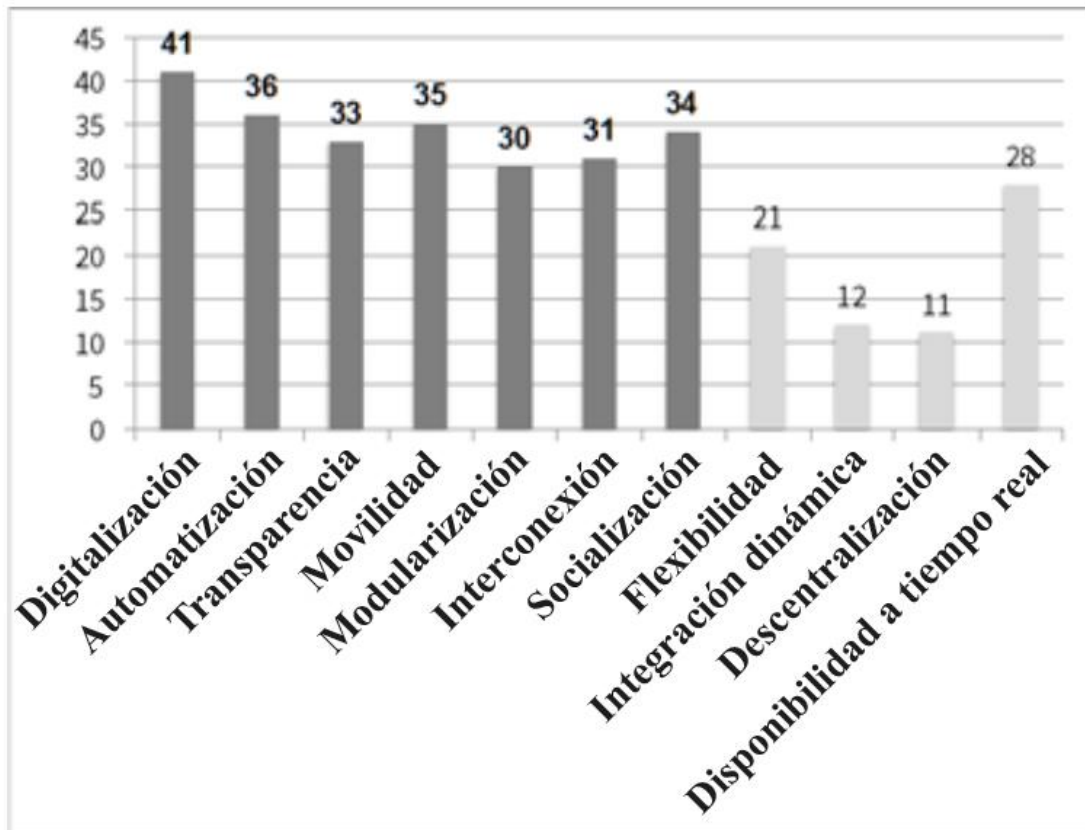


Figura2. Análisis de tecnologías y conceptos Industria 4.0 (Pág.5).

A continuación definiremos estos siete rasgos resaltados en negro en detalle.

- **Digitalización:** Los procesos internos de las empresas, componentes del producto, canales de comunicación y todos los demás aspectos clave de la cadena de suministro son sometidos a un proceso de digitalización acelerada. Según el análisis conceptual estudiado en la figura anterior, el proceso de digitalización en sí, es el rasgo más diferenciador y sin él, los demás rasgos no tendrían sentido alguno.
- **Autonomización:** "Las tecnologías y conceptos de la Industria 4.0 están permitiendo mediante algoritmos a la maquinaria, tomar decisiones y llevar a cabo actividades de aprendizaje autónomo. Esta toma de decisiones autónoma y auto-aprendizaje permite a las fábricas trabajar con la mínima mano de obra humana (Angelov, 2013).
- **Transparencia:** Mientras que las cadenas de suministro globales se caracterizan por estructuras muy complejas, las tecnologías disponibles en "Industria 4.0" están aumentando la transparencia de todo el proceso de creación de valor. A través de este aumento de transparencia, la toma de decisiones en la empresa será más colaborativa y eficiente. Ya no sólo los procesos de la cadena de suministro, sino también escalado a el comportamiento de los socios y clientes, ya que será más transparente (Wang, Heng y Chau, 2007).

- Movilidad: La difusión de los dispositivos móviles hace que la comunicación, el intercambio y generación de datos sea posible través de todo el mundo. La movilidad de los dispositivos está cambiando la manera de interactuar de los clientes con las empresas, y también la comunicación y la interacción de las máquinas en el proceso de producción (Schweiger, 2011).
- Modularización: Las tecnologías de la Industria 4.0 están permitiendo la modularización de los productos y del proceso de creación de valor. La modularización de las instalaciones de fabricación pueden ajustarse en cantidad de manera autónoma, lo cual aumenta la flexibilidad de los procesos de producción (Koren 1999; Putnik 2013).
- Interconexión de Red: De la misma forma que las personas interactúan en redes sociales, se definirán procesos en los que las actividades de las empresas serán decididas y determinadas a través de la interacción de las máquinas y los seres humanos, tanto dentro, como fuera de las fronteras organizacionales (Bauer 2014).
- Socialización: La colaboración en las redes está permitiendo a las máquinas (no sólo smartphones) comenzar a comunicarse e interactuar con otras máquinas y/o seres humanos de manera socializada. Con esto, la colaboración con las máquinas es directa, ya que se podría afirmar que los humanos son capaces de entrar y mantener una conversación con las máquinas (Oswald, 2014).

Además de estos rasgos principales, podemos definir específicamente a Industria 4.0, o cuarta revolución industrial, como el conjunto de cuatro principios básicos:

- 1.- El establecimiento de una **red vertical (vertical networking)** de sistemas de producción inteligentes , tales como fábricas inteligentes y productos inteligentes , y el despliegue de una red inteligente de la logística , producción y comercialización.
- 2.- La **integración horizontal (horizontal integration)** por medio de una nueva generación de redes de creación de valor globales , incluyendo la integración de socios de negocios y clientes , y los nuevos modelos de negocio y cooperación entre países y continentes.
- 3.- **La ingeniería (Through-engineering)** a través de toda la cadena de valor, teniendo en cuenta no sólo en el proceso de producción, sino también el producto final, es decir, todo el ciclo de vida completo del producto.
- 4.- Aceleración a través de **tecnologías exponenciales (exponential technologies)**, que aunque no sean realmente novedosas consiguen disminuir el precio, el coste y aumentar las prestaciones de manera masiva.

En un capítulo posterior procederemos a estudiar cada uno de estos principios más detenidamente.



Pero, una vez analizadas las características, ¿cómo las empresas pueden beneficiarse de estas? Las ventajas que la industria 4.0 puede ofrecer a una fábrica de producción son entre otras:

- Mejorar la competitividad: En un informe proporcionado por Deloitte en el año 2013 (*Innovation reinvented*) demuestra claramente la importancia vital de la innovación para la industria de fabricación y su competitividad. La transformación digital de la industria 4.0 tendrá un impacto adecuado a través de ambas cadenas de valor locales y globales en países de bajo costo, aunque también en países de alto costo.
- Utilizar oportunidades y reducir riesgos: La industria 4.0 representa una serie de grandes oportunidades para la fabricación. Se abrirán nuevas vías en las empresas para integrar las necesidades y preferencias de sus clientes en sus procesos de desarrollo y producción, incluso a través de intercambio de datos directamente con la misma maquinaria. También facilitará analizar los datos de la máquina, contribuyendo a mejorar la calidad y evitar fallos en el proceso de producción. En cuanto a los riesgos, las empresas creen que la transformación digital para la industria 4.0 podría aumentar aún más el riesgo cibernético. Las principales compañías de fabricación están adoptando un enfoque proactivo tanto para oportunidades como para riesgos.
- Desarrollar el potencial de segmentos individuales de negocio: Investigación y desarrollo (I + D), adquisiciones y compras, producción, almacenamiento y logística, se encuentran actualmente en el corazón de la transformación digital hacia la industria 4.0, en este contexto las ventas y servicios son los segmentos con mayor potencial de beneficiarse de ella. En estos segmentos, soluciones más individualizadas, tienen la capacidad de ofrecer una fabricación basada en la era de la personalización. Esto requerirá al sector cambiar del “*push into the market*” de mejores productos para sus clientes, a un entendimiento individualizado de cara a las necesidades del cliente proponiendo soluciones especializadas (*industry-specific solutions*).

### ¿Potencial de la industria 4.0?

Como hemos dicho antes el término “industria 4.0” se refiere a una etapa de desarrollo más, en la organización y gestión de todo el proceso de la cadena de valor referido a la industria de producción. La cual se basa en que los métodos tradicionales de fabricación y producción están en medio de una transformación digital.

Desde hace algún tiempo, los procesos industriales han adoptado una tecnología de la información (IT) más moderna, pero las tendencias más

recientes van más allá de la simple automatización de la producción, desde principios de la década de 1970, ha sido impulsado por la evolución de la electrónica y las tecnologías de la información.

La adopción generalizada de la industria de fabricación y las operaciones tradicionales de producción de tecnología de información y comunicaciones (TIC), está desdibujando cada vez más las fronteras entre el mundo real y el mundo virtual, en lo que se conoce como sistemas de producción ciber-físicos (CPPSs).

CPPSs se podría entender como redes en línea de máquinas sociales, organizadas de una manera similar a como lo hacen las redes sociales. En pocas palabras, vinculan las IT con los componentes mecánicos y electrónicos que se comunican entre sí a través de una red. La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), que ha estado en uso desde 1999, era una de las pioneras de esta tecnología.

Actualmente las máquinas inteligentes (Smart machines) comparten continuamente información sobre los niveles actuales de existencias, problemas o fallos, y son capaces de realizar cambios en los pedidos o niveles de demanda. Los procesos y los plazos se coordinan con el objetivo de potenciar la eficiencia y optimización, además del tiempo y rendimiento, utilizando esta capacidad en el desarrollo, producción, comercialización y compra.

CPPSs no conecta únicamente unas máquinas con otras, sino que también crean una red inteligente de las máquinas, propiedades, sistemas TIC, productos inteligentes e individuales alrededor de toda la cadena de valor y el ciclo de vida completo del producto. Sensores y elementos de control permiten a las máquinas estar vinculadas a una misma planta, pero también a toda una red y a los propios seres humanos.

Estas redes inteligentes son el fundamento de las fabricas inteligentes, que a su vez forman la base de la industria 4.0. En capítulos posteriores intentaremos escalar este proceso mediante el punto de vista de la ingeniería de Sistemas de Sistemas.

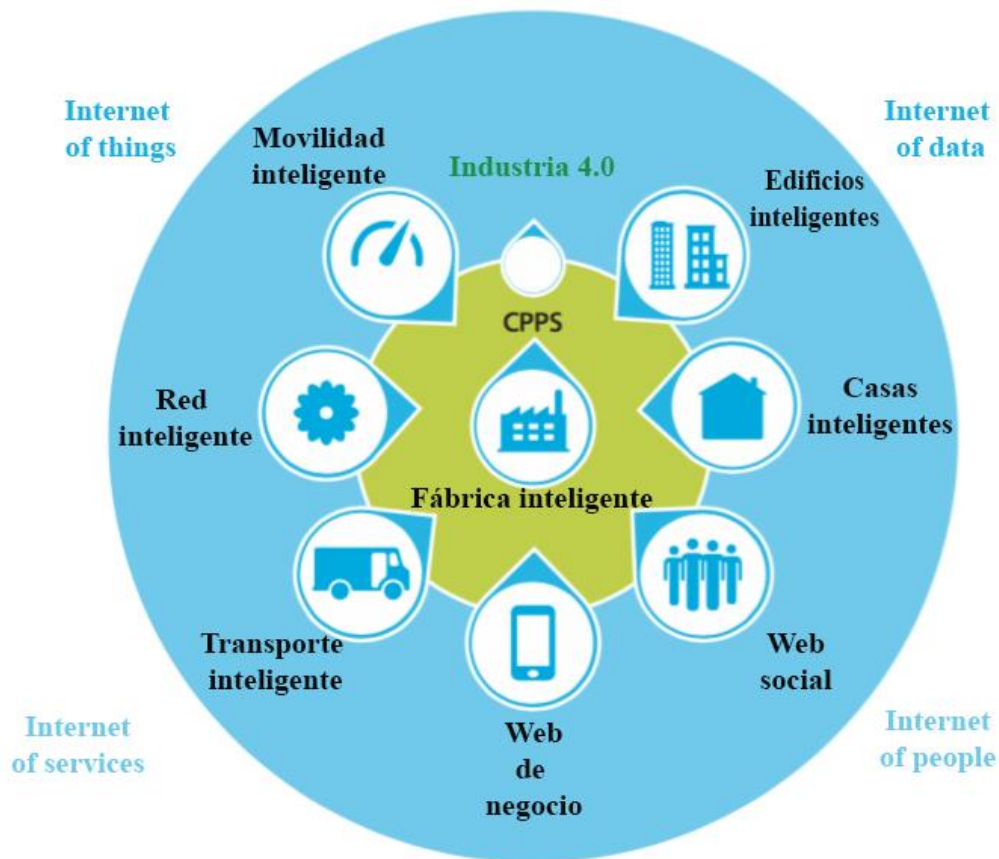


Figura 3: Entorno de una Industria 4.0

Es de vital importancia para la industria 4.0, su interfaz con otras infraestructuras inteligentes, como los de la movilidad inteligente (Smart Movility), la red inteligente (Smart Grid), la logística inteligente (Smart Logistics) y la de las casas (Smart Homes) y edificios inteligentes (Smart Buildings).

Juegan un papel cada vez más importante en la industria de la transformación digital 4.0 los enlaces para redes sociales y negocios (la web de negocios y la web social). Todas estas nuevas redes e interfaces ofrecidos por la industria 4.0 mediante los denominados “Internet de las cosas, servicios, datos y las personas”, el cual explicaremos detalladamente más adelante, implica que la producción se va a someter a enormes cambios en el futuro.

Esta tendencia, está todavía en fase de desarrollo e implantación en algunas fábricas de producción y sectores industriales, sin embargo, en muchas otras, la transformación hacia la industria 4.0 esta puesta en marcha por buen camino.

Economías industriales tradicionales, como Alemania y los EE.UU, esperan que esta cuarta revolución industrial traiga muchas ventajas, que van desde la mejora de la competitividad global, a una inversión de la tendencia de trasladar la producción a países con salarios más bajos, entre otras muchas.

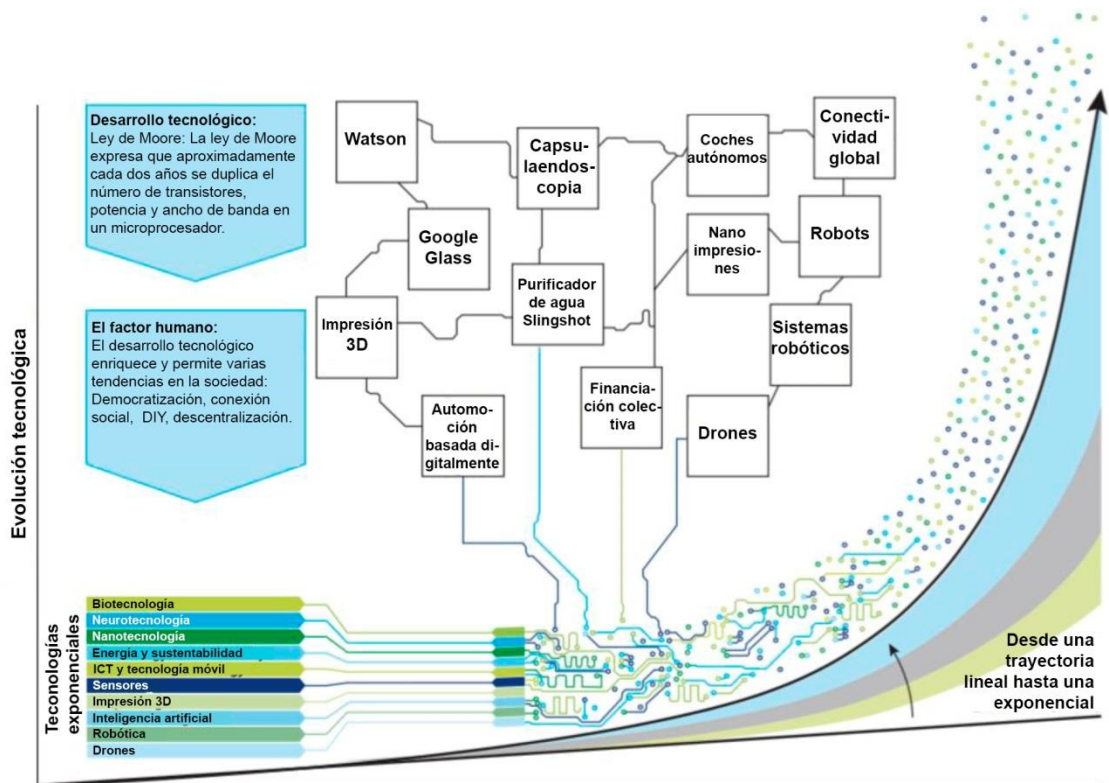


Figura 4: Tecnologías exponenciales (Crecimiento)

Estudios han demostrado que la ley de Moore, que establece que la capacidad de los microchips, ancho de banda y los ordenadores se duplica cada 18 meses, representa un crecimiento exponencial que también se aplica a otros desarrollos tecnológicos.

La impresión en 3D, tecnologías de sensores, inteligencia artificial, la robótica y la nanotecnología, drones son sólo algunos ejemplos de tecnologías en crecimiento exponencial que están cambiando radicalmente los procesos industriales, la aceleración y hacerlas más flexibles.

También nuevas tecnologías las cuales actualmente poseen un crecimiento prácticamente lineal van a dejar sus trayectorias lineales en los próximos años y pasaran un crecimiento exponencial.

Se podría decir que este crecimiento exponencial es principalmente la base de la industria 4.0.

#### Las cuatro propiedades principales

Las siguientes cuatro propiedades o características principales de la industria 4.0 demuestran la enorme capacidad que la industria y la fabricación tradicional poseen para el cambio: una red vertical de sistemas de producción inteligentes, la integración horizontal a través de una nueva

generación de redes globales en la cadena de valor, a través de la ingeniería y a lo largo de toda la cadena de valor y al impacto de las tecnologías exponenciales.

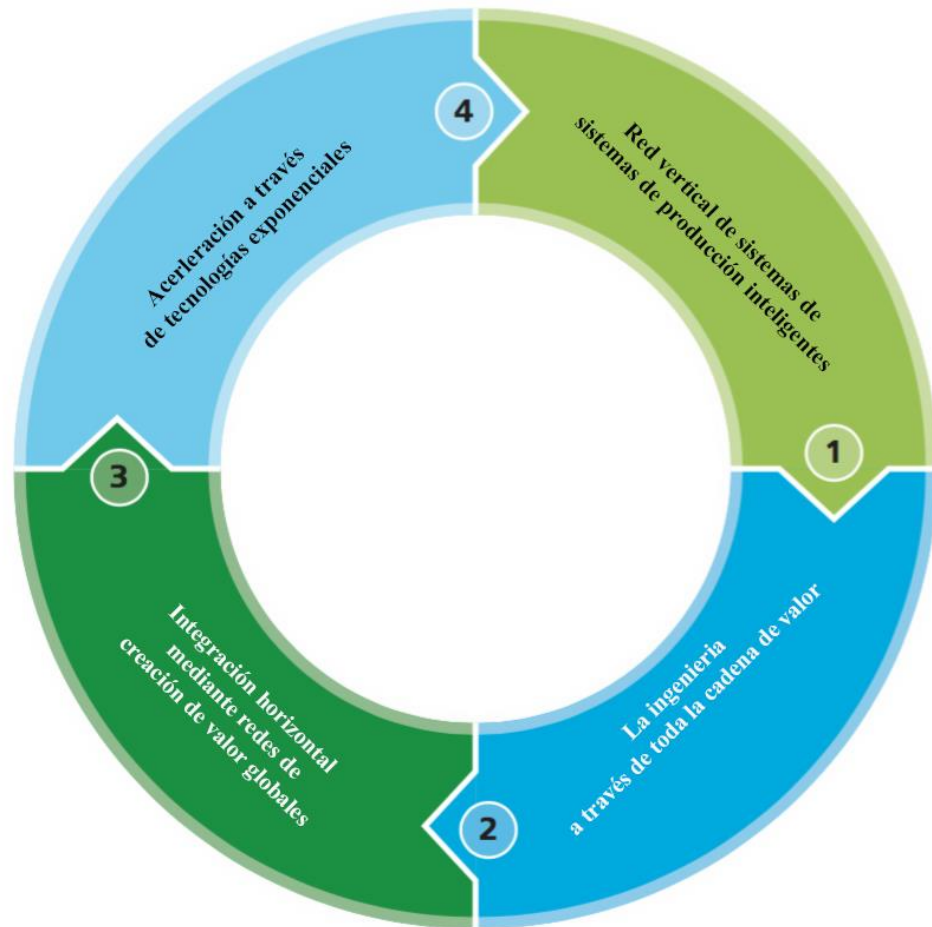


Figura 5: Las cuatro características de la industria 4.0

#### *Red vertical de sistemas de producción inteligentes:*

La principal característica de la industria 4.0 es el establecimiento de una red vertical de sistemas de producción inteligentes en las fábricas del futuro.

Esta conexión vertical utiliza sistemas de producción ciber-físicos (CPSS) para permitir a las plantas reaccionar rápidamente a los cambios en la demanda o de existencias y también ante fallos. Estas fábricas inteligentes se organizan de manera propia y permiten una producción específica para el cliente e individualizada. Esto requiere que todos los datos deben integrarse ampliamente de manera que este todo perfectamente interconectado. Esto se logra a partir de una tecnología de basada en sensores inteligentes que permita un seguimiento y la organización autónoma.

La tecnología basada en CPPSs permite no sólo la organización autónoma de gestión de la producción, sino también el mantenimiento. Recursos y productos están conectados, y los materiales y piezas pueden ser localizadas en cualquier lugar y en cualquier momento. Todas las etapas en el proceso de producción se registran, incluso las discrepancias, las cuales se registran automáticamente. Modificaciones de órdenes, fluctuaciones en la calidad o averías en la maquinaria pueden ser solucionadas con mayor eficiencia y menor coste.

#### *Integración horizontal mediante redes de creación de valor globales:*

Estas nuevas redes de creación de valor, son redes optimizadas en tiempo real que permiten la transparencia integrada, ofrecen un alto nivel de flexibilidad para responder con mayor rapidez a los problemas y defectos, y facilitar una mejor optimización global.

Al igual que en los sistemas de producción conectados, estas redes (locales y globales) proporcionan interconexión a través del CPPSs, desde la logística de entrada la cual incluye almacenaje, producción, comercialización y ventas hasta la logística de salida y servicios derivados. La historia de cualquier parte o producto se registra y se puede acceder en cualquier momento, lo que garantiza la seguimiento constante (un concepto conocido como "memoria del producto").

Esto crea transparencia y flexibilidad en todo el proceso, desde la compra (pasando por la producción), hasta las ventas (desde el proveedor hasta el cliente final). La personalización específica no se lleva a cabo únicamente en la producción, sino también en el desarrollo, pedido, planificación, composición y distribución de los productos, habilitando factores como la calidad, el tiempo, el riesgo y el precio que sean manejados de forma dinámica, en tiempo real y en todas las etapas de la cadena de valor.

Este tipo de integración horizontal de los clientes y socios de negocios puede generar completamente nuevos modelos de negocio y de cooperación, lo que representa un reto para todas las partes involucradas.

#### *La ingeniería (Through-engineering) a través de toda la cadena de valor:*

La tercera característica principal de la industria 4.0 y no por ello menos importante, es transversal a través de toda la cadena de valor y del ciclo de vida completo del producto y respectivo consumidor.

Esta ingeniería a través de la cadena de valor se lleva a cabo constantemente durante el diseño, desarrollo y fabricación de nuevos productos y servicios. El desarrollo de nuevos productos crea la necesidad de nuevos y/o modificados sistemas de producción. El desarrollo y la fabricación de estos nuevos productos y sistemas de producción, están coordinados con los ciclos de vida de los mismos, lo que permite la creación de nuevas sinergias en el desarrollo de los productos y sistemas de producción.

#### *Aceleración a través de tecnologías exponenciales:*

La última característica principal de la industria 4.0 es el impacto de las tecnologías exponenciales que permiten soluciones individualizadas, flexibilidad y ahorro de costes en los procesos industriales.

La Industria 4.0 requiere de soluciones de automatización para ser altamente cognitiva y disponer de gran autonomía. La inteligencia artificial, la robótica avanzada y tecnología basada en sensores tienen la capacidad de aumentar la autonomía aún más allá y acelerar de manera drástica la individualización y la flexibilidad.

Los nano-materiales y nano-sensores también se implementan en las funciones de control de producción para que la gestión de calidad sea más eficiente o permitir la producción de robots de nueva generación.

Drones de mantenimiento en naves de producción para hacer inventarios de los niveles de existencias en almacén y entregar piezas de repuesto, a cualquier hora del día o de la noche y en cualquier tipo de terreno y clima, son otras aplicaciones que se convertirán en rutinas en las fábricas inteligentes del futuro.

En esta Industria 4.0 el éxito reside en la correcta aplicación de todas estas premisas y para ello debe componer en su cadena de valor el mencionado Internet de las Cosas, el cual pasaremos a definir en el próximo capítulo, siendo este nuevo nicho tecnológico clave, para la correcta integración de la fábrica de futuro.

## Internet of Things (Internet de las cosas)

La evolución temporal de Internet de las cosas por lo general se refiere a una primera fase entre 1990 y 2005. El objetivo deseado era una visión de la miniaturización y la integración de sensores físicos con los objetos del día a día de una manera tal que no fuese visible y que se pudiera entender como elementos informáticos con capacidad sensorial (Streitz, 2001). La segunda etapa se inició en 2005 (UIT, 2005) y es en la que estamos actualmente. Los desarrollos de las tecnologías que compondrán este universo son la principal preocupación en este tema.

A día de hoy todavía no se puede proporcionar una definición exacta a el termino Internet de las cosas, debido a ciertos desacuerdos en la comunidad científica. Pero al menos tiene un punto en común: el uso de la tecnología de forma universal, basada en el día a día a través de la unión entre los diversos objetos y sistemas tecnológicos que comparten la transmisión de información de manera independiente, interactuando entre sí y con el ser humano.

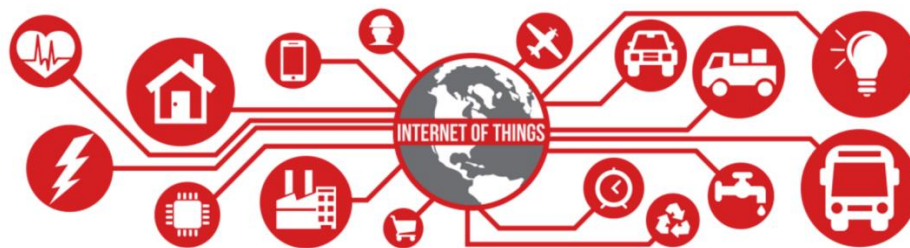


Figura6: Atmosfera del Internet of Things

Además de Internet of Things, existen muchas otras expresiones que hacen referencia a este término. Todas ellas tienen en común una plataforma tecnológica informatizada global de redes como el Internet of People, Internet of Services entre otros.

Internet of Things se puede definir como una red de información dinámica de alcance global. Su estructura presenta la capacidad de configuraciones autónomas que están basadas en protocolos de comunicación normalizados, donde las entidades físicas y virtuales hacen uso de interfaces inteligentes perfectamente integradas. Además, su contribución radica en el aumento de valor de la información generada, así como la transformación de la información la cual es procesada como el beneficio del conocimiento de la sociedad (Vermesan, 2012).



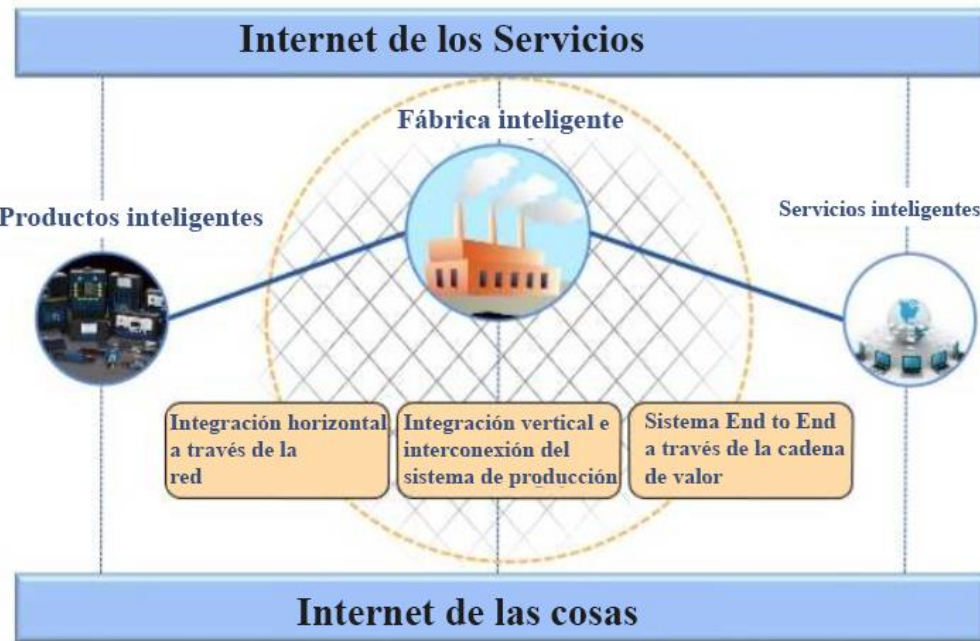


Figura 7. Internet of Services- Internet of Things integration

No existe ninguna duda de que la existencia de la Internet en la actualidad, tiene una influencia directa en la economía de un país, en el impacto de la evolución de una sociedad y cómo esta próspera a través de la aceleración de transmisión de conocimientos. En un futuro no muy lejano, estas características tendrán un mayor impacto como por ejemplo la integración de los sistemas tecnológicos. Esto dependerá de la conexión a cualquier nivel de la sociedad humana para tener un desarrollo acelerado y continuo. Hoy en día todavía se considera que este tipo de tecnologías y su aplicación se encuentran en un estado de desarrollo.

A nivel industrial, la integración de sistemas permitirá la interconexión del mundo digital con el físico. El ser humano puede interactuar con los medios adecuados para la producción durante el mismo proceso de fabricación, al mismo tiempo que supervisa y controla los requisitos necesarios y especificación de campo para la satisfacción de las necesidades del cliente, mediante el control de las unidades de logística de forma independiente. Esto permite la gestión de todo el ciclo de vida del producto o servicio de una forma instantánea (BMW, 2012). La unión de los sistemas industriales ciber-físicos con software interactivo integrado con redes de datos de infraestructura global forma un instrumento de gran alcance, altamente flexible y autónomo, con capacidad de adaptación al medio ambiente, eficaz y eficiente.

## Modelo de negocio aplicado a IoT

En cuanto a el modelo de negocio, es necesario disponer de una integración horizontal a través de toda la cadena de creación de valor y de procesos de integración de negocio. Ofreciendo una ingeniería end-to-end (Desarrollada en todas las fases de su ciclo de vida), lo que a su vez permite una integración vertical de los sistemas de producción donde las estructuras de producción no serán fijas ni predefinidas, pero estarán basadas sobre una flexibilidad que permitirá a las empresas ser capaces de ajustar de inmediato sus necesidades en la producción.

Este nuevo concepto de modelo de negocio va a obligar a las empresas a reorganizarse tanto estratégicamente como en la manera de tratar los mercados.

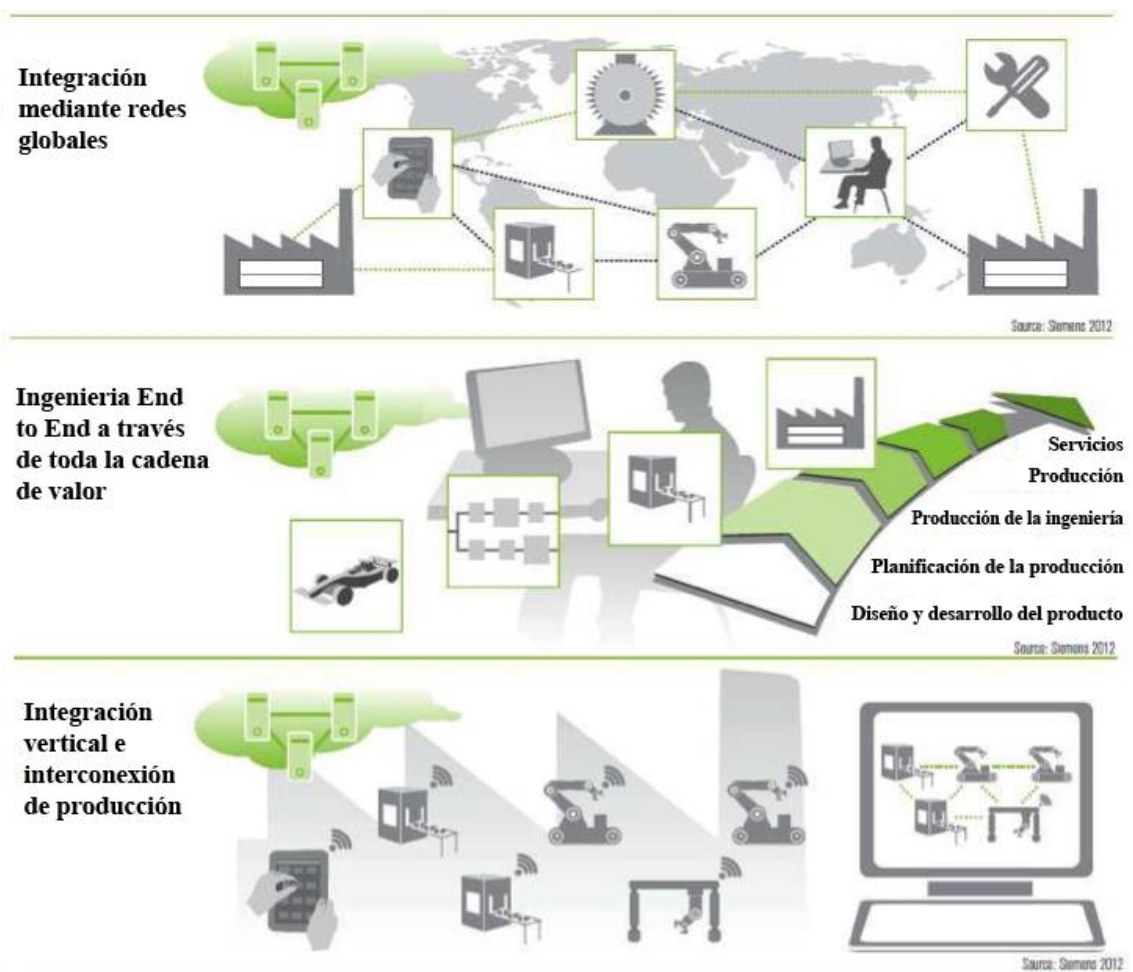


Figura 8. Reorganización en el modelo de negocio

## Nivel Industrial de IoT

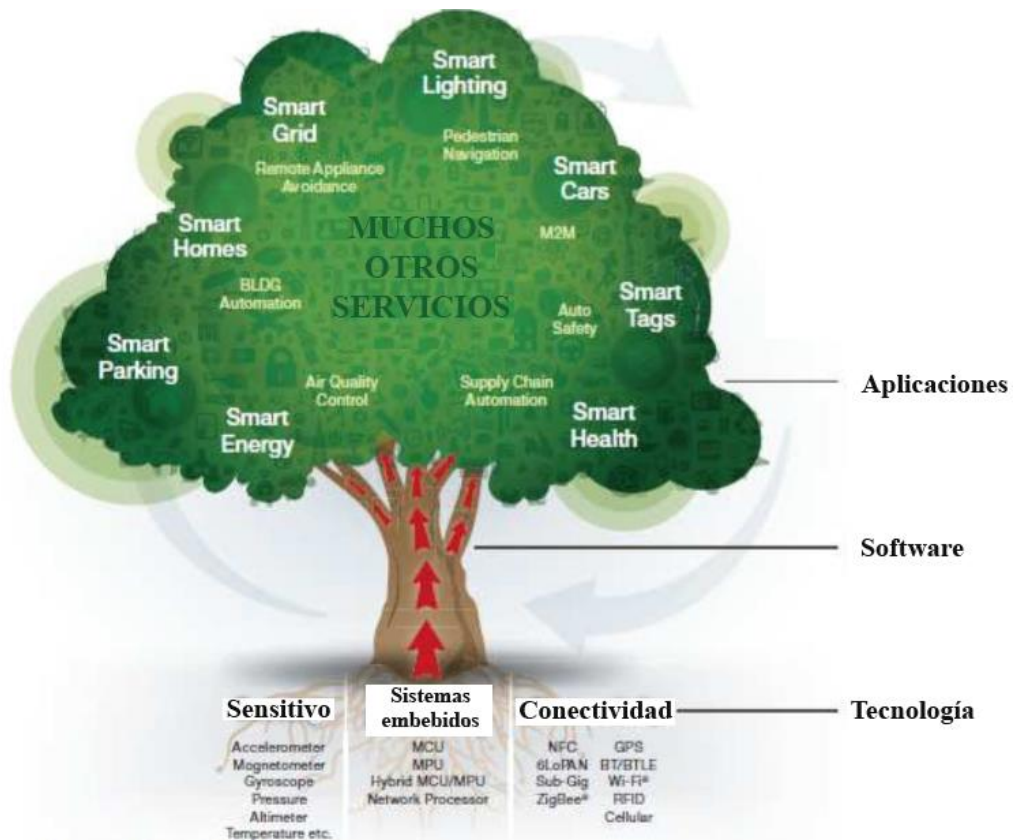
A nivel industrial, la necesidad en el desarrollo tecnológico se va a afectar principalmente en el desarrollo de productos y servicios tecnológicos, resultado de la inversión en innovación. Estos deben estar a disposición del mercado, con

especial énfasis en los sistemas autónomos que permiten la interoperabilidad entre ellos y con los usuarios a través de interfaces. Todo el valor añadido creado puede ser gestionado y supervisado en tiempo real y a la vez, disminuyendo la utilización de los recursos necesarios. Esto descentralizará el propio sistema de tal manera que será posible incorporar nuevos procesos que ayuden a la cooperación industrial del proceso generando valor añadido, reorganizando sus operaciones mediante la gestión de sistemas e infraestructuras complejas. Esto permitirá una mejor integración e interacción de los denominados Smart objects (objetos inteligentes), Smart Services (servicios inteligentes) y Smart Networks, también la realización de tareas complejas de manera autónoma mediante la creación de nuevas perspectivas y controlarlas de manera más rápida, eficaz y de forma útil ayuda a crear unidades operativas industriales eficientes. Esta necesidad de manejar sistemas complejos de una manera eficiente para su correcta aplicación, permite la transferencia de conocimiento la cual deberá tener como consecuencia, la posibilidad de introducción de nuevos modelos de negocio que deben ser abordados y diseñado por medio de una arquitectura funcional normalizada.

#### Arquitectura y modelo de referencia de IoT

Dando un repaso rápido de los sistemas tecnológicos que existen actualmente, nos permite comprender que el uso de estos productos se limita a la utilización por parte de los sistemas internos, comúnmente denominado Intranet. Esto se debe a su integración vertical, en donde las arquitecturas de referencia, sin conceptos universales, sólo permiten aplicaciones específicas donde abundan muchos tipos de soluciones que sin embargo, no permiten una interconexión y una norma universal.

Por lo tanto nos presentamos ante la necesidad de crear un modelo genérico de referencia cuya aplicación permita la interacción entre todas las partes interesadas y la interconexión total de sus tecnologías en uso. Esto por medio de una arquitectura estandarizada y la integración de los conceptos, axiomas, relaciones y requisitos, podría utilizarse como un camino de comunicación común entre todas las entidades (MacKenzie, 2006). Es vital para conseguir el éxito en esta nueva forma de operar, que todo sea generado a partir de un modelo base de referencia, cuya misión será promover un entendimiento común a través de la interoperabilidad a nivel de comunicación y servicios entre las diversas plataformas y sistemas existentes. En este contexto, cabe señalar que la gestión de tecnologías de la información y de la comunicación será el elemento clave en el contexto de la fábrica del futuro.



Source: (Karimi, 2013)

Figura 9. Representación de la arquitectura del modelo de referencia

Actualmente ya existen varias clasificaciones de modelos de referencia relacionados con el dominio de Internet de las Cosas. Se distinguen entre otras, modelos de dispositivos de sensores que interactúan con el mundo físico, entidades para aplicaciones sensibles al contexto, tecnologías para la identificación automática, la computación extendida y también arquitecturas orientadas al servicio del mundo real. Cualquier modelo de referencia que se utiliza de forma activa es constantemente sometido a cambios y mejoras.

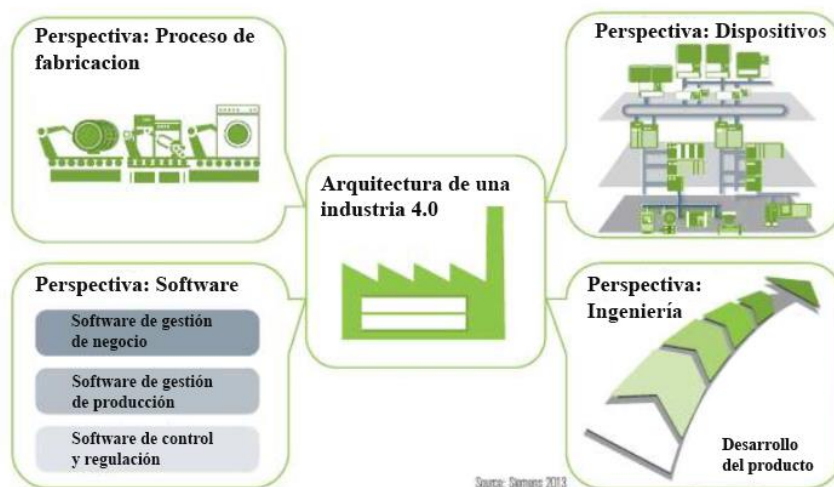


Figura 10 Arquitectura de referencia de Industria 4.0

El uso de un modelo de arquitectura de referencia proporciona varios tipos de beneficios y ventajas. Puede ayudar en las actividades de desarrollo de productos para orientar líneas de discusión entre todos los involucrados, debido a la utilización de un lenguaje común. Esto también permite la integración de nuevos participantes. Pero por encima de todo debe proporcionar una base común eficaz, capaz de obtener el mayor número de posibles ventajas estableciendo una definición de entidades a partir del Internet de los objetos. Estos deben describir sus interacciones y relaciones básicas de tal manera que todo el trabajo posterior se realiza a partir de estos conceptos comunes.

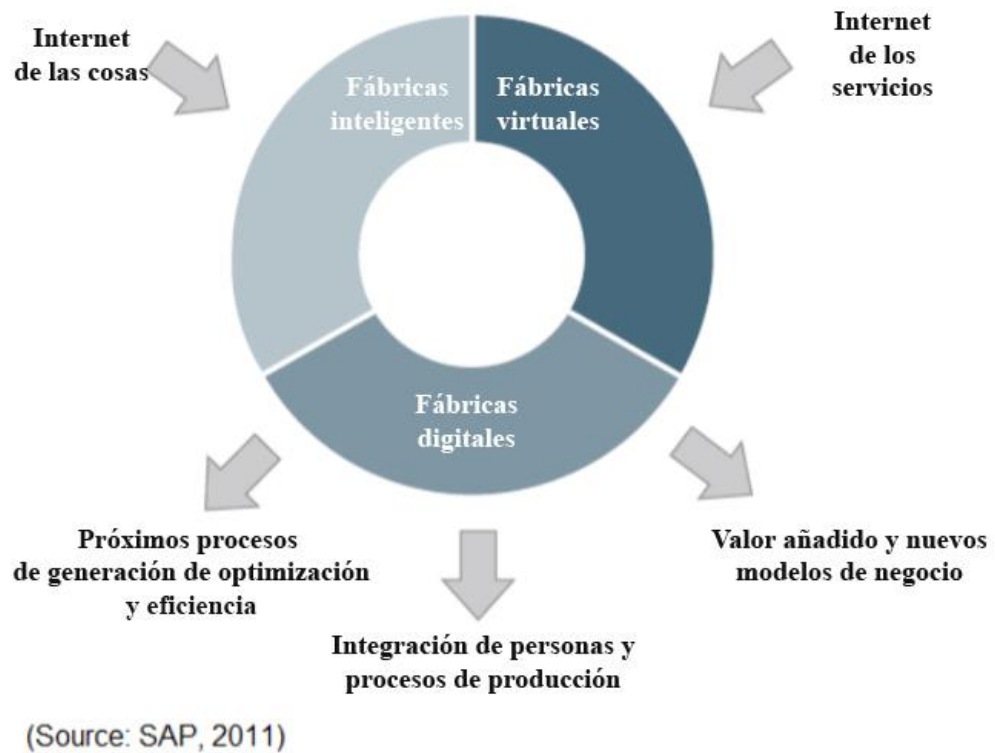


Figura 11 Integración de las fabricas inteligentes digitales-virtuales

### La nube (Cloud Computing)

La computación en nube es uno de los cimientos del Internet del futuro que puede permitir la gestión de todos estos sistemas de una manera dinámica, rápida y global. Esta interacción revela un cambio de paradigma en la integración de la utilización y aplicación de los diferentes sistemas. La nueva generación de aplicaciones en el área industrial se produce a través de la selección y combinación de nuevos servicios y capacidades para la consecución de sus objetivos y tareas, que ofrece este sistema de nube.

Estos servicios pueden ser organizados de manera que permita un acceso estructurado a la participación y la integración a través de un comportamiento evolutivo y las funciones de colaboración en la automatización. Además, se puede configurar para el

mantenimiento de la independencia en el nivel y la gestión de los componentes del sistema operativo.

La próxima generación de arquitectura de sistemas para interactuar con el sistema de la nube tendrá que tener la capacidad y autonomía para garantizar una operatividad independiente. Esto se puede lograr a través de características que se asignan en subsistemas autónomos. Es necesaria una gestión independiente de los componentes operativos asignados y distribuidos en el mundo cibernético con un comportamiento basado en sus propiedades físicas y digitales, adaptándolo de una forma evolutiva y flexible a eventos externos e internos generados por el propio entorno o por las partes interesadas.

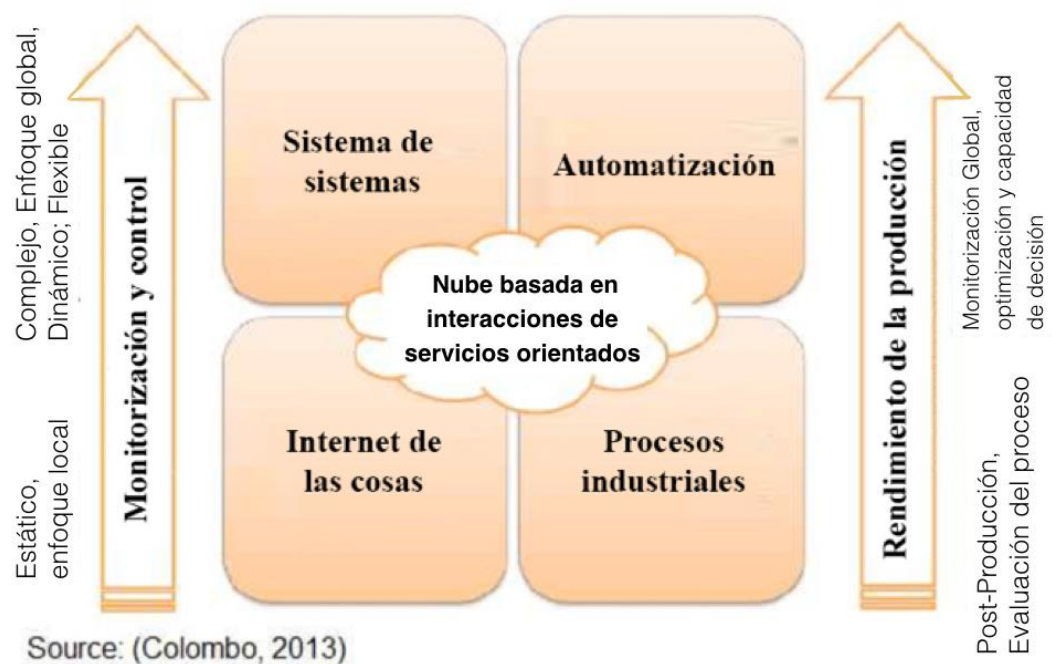


Figure 12. Cloud based Service Oriented Interactions

### Sistemas Ciber Físicos (Ciber-Physical Systems CPSs)

Encontrar las diferencias entre la Internet de las cosas y los sistemas ciber-físicos no es una tarea fácil. En la comunidad científica, la frontera entre estos, no está definida con claridad. Ambos conceptos se generaron y se desarrollaron en paralelo. Con el Internet de las cosas, algunas comunidades apuestan por las tecnologías RFID utilizadas para la gestión de la tecnología de comunicación. Los

sistemas ciber-físicos están enfocados a sistemas de producción de integración industrial.

De una manera sencilla y genérica, se puede definir que los sistemas de Ciber-físicos, son sistemas que permiten a los seres humanos que realizar tareas complejas, que requieren un mínimo de idoneidad y educación especializada. Estos sistemas son más eficientes, productivos, inteligentes y hacen uso de la capacidad computacional. Sus componentes físicos permiten la integración y la interacción con el mundo real en una escala temporal y espacial que captura y procesa datos, utilizando el Internet y la computación en nube para una comunicación dinámica entre los elementos en conexión. Esto ocurre a través de la integración mediante el software incorporado en cada sistema o componente físico, trabajando en diversas redes de comunicación, en los diferentes niveles y escalas de una manera dinámica.

### Características

El sistema debe ser autónomo y auto-regenerativo. Debe estar basado en el conocimiento del sistema productivo en tiempo real y sensible al contexto que le rodea. Debe permitir que las memorias locales y descentralizadas en equipos productivos y en los mismos productos, puedan recoger, almacenar, revisar y distribuir información detallada sobre todo el ciclo de producción. Con esto aspiraremos a una infraestructura de uso más flexible reduciendo el tiempo de producción y existencias para conseguir el objetivo “*cero stocks*”. De esta manera se puede llevar a cabo la necesidad de personalización del producto en comparación con la satisfacción de las necesidades del mercado. Por lo tanto, en este contexto, se puede decir que los Sistemas de Ciber-físicos son integraciones de procesos de cálculo y físicos, interactuando de manera dinámica y continua.

Podrían ser incluidas numerosas características en concreto si son dirigidas a un determinado sector de la industria. Sin embargo, aquí sólo se estudiarán algunas de las más básicas, comunes a todos, para obtener una comprensión general. En este contexto, estos sistemas se basan en conceptos de cibernética, ingeniería y vida humana para lograr integración de sus componentes. Estos permiten el uso de las sinergias con el fin de ser eficientes, eficaces y seguros durante su uso con el fin de proporcionar una capacidad de aprendizaje y de información actualizada consiguiendo un apoyo en la toma de decisiones de manera autónoma. Su arquitectura abierta y la normalización común, permitirán una mayor flexibilidad y adaptación a una personalización de la producción aún más compleja y dinámica para distintos niveles.

### Arquitectura y modelo de referencia de CPS

Varios inconvenientes contribuyen a dificultar el desarrollo en el campo de los sistemas ciber-físicos.

Uno de los principales es consecuencia de la falta de una teoría capaz de establecer y administrar sus diversos recursos en un marco único y unificado. Este marco debe ser capaz de integrar la tecnología operativa y toda la información tecnológica a través de sus diferentes niveles de abstracción. Estos niveles pueden ser capaces de mostrar un comportamiento auto-adaptativo de una manera conservadora y permitir una capacidad de aprendizaje a través de sus múltiples dominios. Para ello es necesario que este tipo de sistemas sean seguros e interactivos con interfaces abiertas a todas las partes interesadas.

### *Plataforma*

La plataforma global sobre la que se basa el conjunto, debe permitir la interoperabilidad con el fin de conseguir una negociación de funciones y capacidades automáticas, a través de la arquitectura con el objetivo de conseguir comunicación y valor añadido. Esto debe considerar múltiples aspectos como el funcionamiento, comportamiento, calidad de servicio y control, entre otros. Además debe ser compatible con la capacidad de reconfiguración automática de la arquitectura, respondiendo a fallos y envejecimiento de sus propios componentes a través de redes de seguridad multinivel.

### *Inteligencia y conocimiento*

Los sistemas ciber-físicos deben incorporar la capacidad de reconocimiento y comprensión de las intenciones de sus operadores humanos, a tiempo real. Estas capacidades deben ser realizadas a través de componentes, que podrían actuar como entidades autónomas utilizando un lenguaje natural e integrado con los distintos datos en circulación, interconectados de manera perceptiva y cognitiva. El uso de aplicaciones multidimensionales capaces de interactuar con el mundo real inducirá el intercambio de conocimientos de las más diversas áreas. Todo estos elementos deben desarrollarse en sinergia con un valor medible y predecible en los sistemas, para procesar y manejar grandes cantidades de datos de información de una manera eficiente y optimizada.



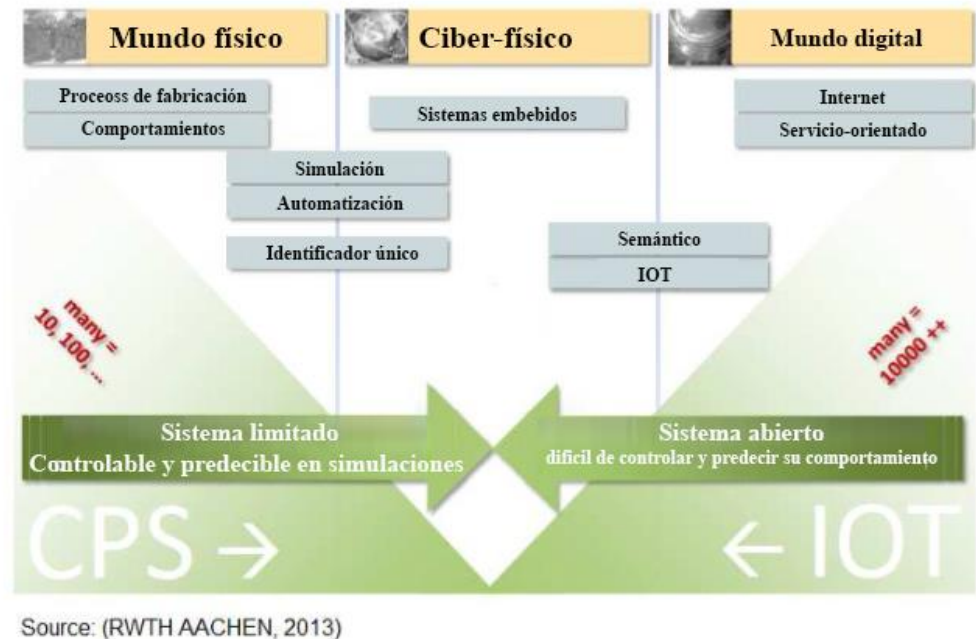


Figura 13: Integración de la filosofía de CPS y IOT

### Diseño del producto y definición de cadena de valor:

El término Internet de las Cosas en realidad no nos dice mucho ya que no está claro lo que significa. Pero cuando decimos " productos conectados inteligentes", entonces se convierte en un poco más tangible, y la gente realmente entiende que gran parte de la emoción que hay aquí no se trata de Internet, se trata de las cosas.

¿Cómo Internet de las Cosas podría cambiar y transformar la cadena de valor? A continuación se presenta cómo los productos conectados pueden ayudar a las empresas a ser más proactivas y eficientes.

Otras preguntas importantes serían ¿Por qué es importante el Internet de las cosas? ¿Cuál es el valor y objetivo de la colocación de sensores en equipos de minería para medir el rendimiento del producto y las condiciones de funcionamiento? A continuación se procede a explicar cómo la red de tecnologías inteligentes conectadas, que conforman el Internet of Things (IoT) mejora la manera de crear productos, conformarlos y servirlos.

En primer se plantea la siguiente pregunta, ¿Por qué la gente conectaría cosas mediante Internet? ¿Cuál es la ventaja o desventaja? Existen tres factores que resultan realmente claves. El primero se trata de poder dar un mejor servicio a las cosas, mediante la comunicación con estas y a través de ciclos de retroalimentación. Esto da lugar a un sistema proactivo, eficiente, que permite mantener mayores grados de funcionamiento, es decir, obtener un mejor resultado con menores necesidades.

El segundo punto y uno de los más importantes es poder hacer operar estas cosas, que funcionen mejor de forma remota, por razones de seguridad, eficiencia, accesibilidad, etc. Y la tercera es que se puede mejorar. Se pueden tener bucles de retroalimentación en los procesos de ingeniería y diseño para averiguar si los clientes utilizan un producto similar o ha pensado en hacerlo.

Por lo que todo esto tendrá un efecto transformador en la cadena de la creación del producto, pero también en la manera de operar con el y todo el proceso, hasta llegar al usuario final. Como consecuencia de todo esto se conseguirá tener una mayor eficiencia y gran diferenciación que se verá reflejado de manera clara en el valor final del producto creado.

Por lo que podemos afirmar que la fábrica inteligente es el resultado de la fusión de los mundos virtual y físico.

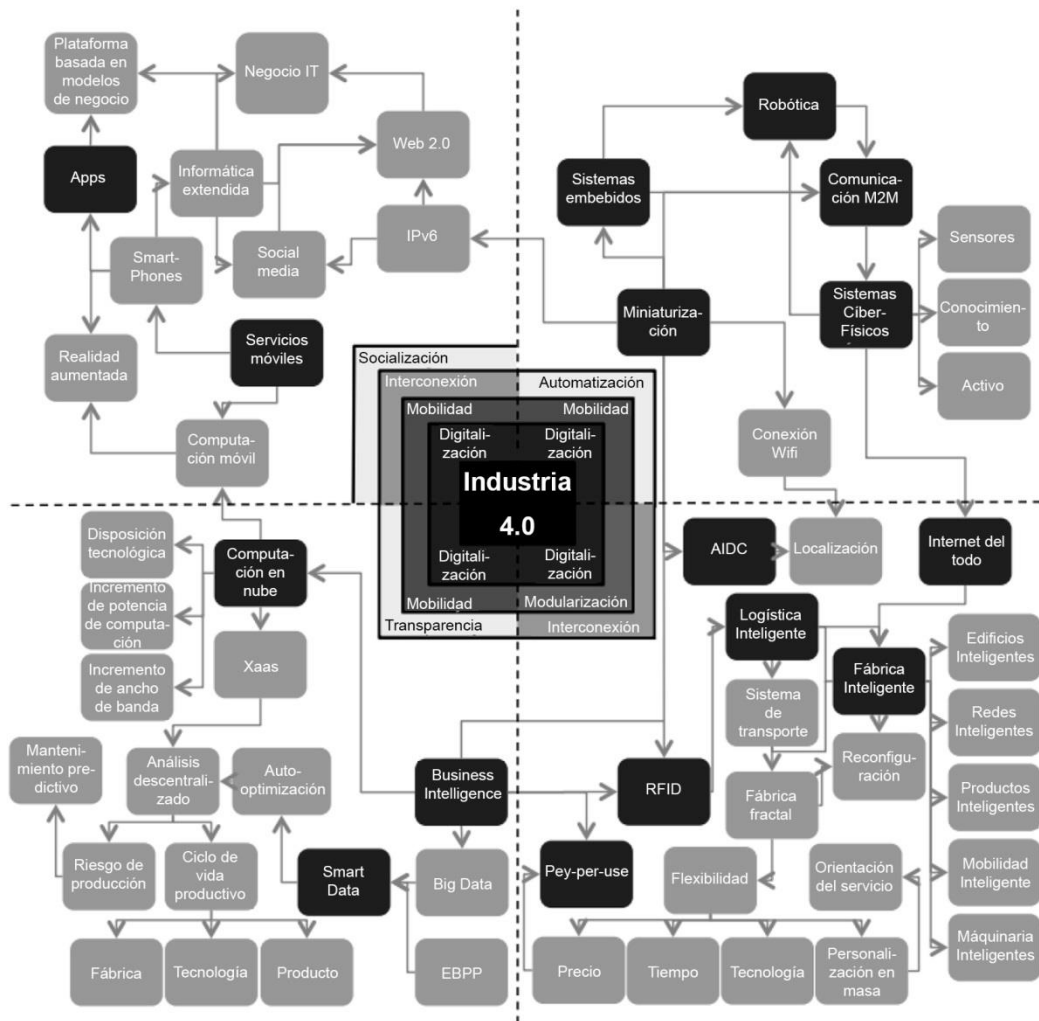


Figura 14: Fusión mundo virtual y físico fábrica inteligente

Las piezas base son los productos inteligentes, caracterizados por disponer de electrónica, software embebido y conectividad. Se denominan sistemas ciber-

físicos (CPS) y tienen capacidad de interactuar con otros sistemas (M2M) y con humanos. El software les permite auto-gestionarse y tomar decisiones descentralizadas. Equipados con sensores captan información sobre su entorno, su uso y estado que pueden proporcionar a quien lo fabricó o el encargado de gestionar su servicio. Sobre los CPS pueden ofrecerse servicios inteligentes y establecer nuevos modelos de negocio, aprovechando combinaciones innovadoras de servicios inteligentes para incrementar la creación de valor, en cualquier punto de la cadena de valor. Estos mismos principios se aplican a las máquinas que los fabrican, los sistemas de producción ciber-físicos (CPPS), que constituyen la “Fábrica Inteligente”. Son máquinas con capacidad de comunicación, personalización, adaptación al entorno y flexibilidad.

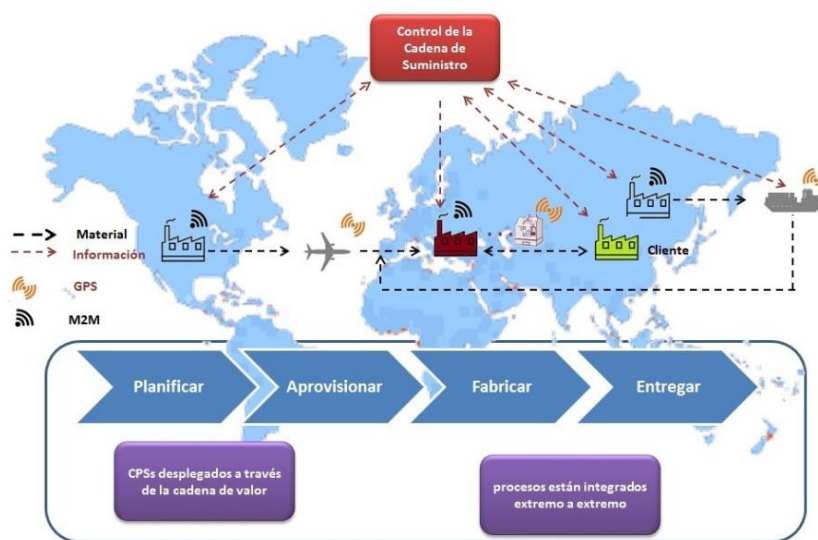


Figura 15: Cadena de suministro

La cadena de suministro inteligente y conectada es otra pieza central en la Industria 4.0. Los flujos físicos se replican en una imagen virtual a través de materiales y piezas etiquetadas con RFID. A lo largo de la cadena de suministro, los CPS generan datos sobre su posición y estado. La digitalización permite automatizar los procesos e identificar al producto a lo largo del proceso. La visibilidad de los movimientos en la red de suministro permite reconocer ineficiencias y riesgos, aumentar la robustez y la capacidad de respuesta a incidencias, incrementar la fiabilidad y disminuir los costes.

El resultado es una cadena de producción donde cada sistema es capaz de obtener la información que necesita. La fábrica se convierte en una red de agentes que toman decisiones optimizadas. La producción puede organizarse según un modelo, donde la capacidad de los sistemas es la oferta y la demanda surge de las órdenes que deben atenderse. Cada CPPS puede decidir su programa de producción en base a su tiempo de procesamiento, las fechas de entrega u objetivos de beneficio o sostenibilidad. Gracias a su autogestión, productos y máquinas inteligentes se vuelven invisibles a los operadores y sólo precisan atención cuando necesitan mantenimiento.

## Nueva cadena de valor, cambio y características:

La idea de productos inteligentes, conectados tendrá un impacto dramático en las cadenas de valor, ya que siempre hemos pensado en la cadena de valor como todo aquello que engloba al producto. Pero ahora, el producto es en realidad participante principal en su propia cadena de valor. Se está conectando hasta con sus creadores en ingeniería y fabricación. También está conectado con las personas que le van a dar servicio, incluso con sus operadores. Esta conexión llega hasta el punto, en el que es el propio producto el que está conectado de manera directa por ejemplo, con el departamento de ventas y marketing o llegando más lejos incluso, hasta lo que está pensando el cliente final.

Como acabamos de decir y aunque en principio parezca abstracto el producto se convierte en un sensor que nos conecta con el cliente. Y esto desafía el concepto convencional de CRM (Customer Relationship Management) implantado hasta ahora. La idea principal de la gestión de la comunicación con el cliente, es que los clientes van a “hablar” acerca de sus opiniones sobre el producto. Y ahora, en este nuevo mundo, vamos a tener productos que van a ser propios dispositivos de alerta, que nos van a llegar a transmitir que valor o valores finales el usuario está obteniendo o no. El producto se convierte en un sensor en la relación con su cliente. Eso va a cambiar mucho en términos de cómo se crean las cosas, venta, el servicio, operaciones, entre otras.

Todo esto no tiene sentido y sería imposible de implementar sin los novedosos habilitadores digitales, que serán los que consigan la principal diferenciación de esta nueva cadena de valor de lo que conocemos actualmente como cadena de valor.

Los “habilitadores digitales” son el conjunto de tecnologías que hacen posible esta nueva industria que explota el potencial del internet de las cosas. En efecto, estos habilitadores son los que permiten la hibridación o interconexión entre el mundo físico y el digital, es decir, vincular el mundo físico al virtual para hacer de la industria una industria inteligente. Podemos diferenciar tres grupos claros dentro de estos habilitadores digitales.

1. En primer lugar los habilitadores de la interconexión (hibridación) del mundo físico y digital, permiten convertir información digital mediante elementos físicos para su posterior utilización.
2. Por otro lado tenemos habilitadores de comunicación, que son básicamente las tecnologías que permite trasladar la información, de manera precisa y segura, desde los habilitadores de hibridación del mundo físico y digital hasta el grupo final. Estos habilitadores son eje de esta jerarquía y por tanto son indispensables para que los demás habilitadores puedan funcionar correctamente y sincronizados.

3. Finalmente, el tercer grupo de habilitadores o aplicaciones de gestión está formada por el procesamiento de la información obtenida de los dos primeros bloques, con el fin dar uso eficaz a esta información.

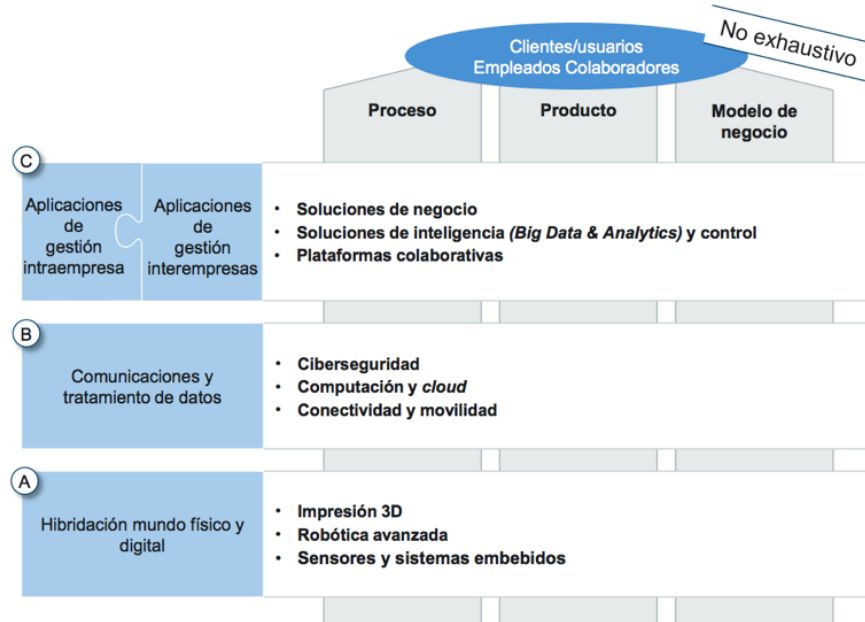


Figura 16: Habilitadores digitales de la Industria 4.0

Esto se trata simplemente de un proyecto inicial en el mundo de Industria conectada, algunos de estos habilitadores ya existen, otros se irán desarrollando y otros aparecerán en el futuro.

Las cadenas de valores actuales se basan desde las necesidades del cliente a las arquitecturas de producto y producción tienden a ser relativamente estáticas. Los sistemas de soporte TI intercambian información a través de una variedad de interfaces, pero sólo pueden utilizar esta información con respecto a los casos individuales específicos. No hay visión global desde la perspectiva del producto que se está fabricando. Como resultado, los clientes no pueden seleccionar libremente todas las funciones y características de sus producto. Además, los costos de mantenimiento de estos sistemas TI están actualmente siendo muy elevados.

# Actualidad

## Variedad de interfaces entre diferentes sistemas de soporte técnico

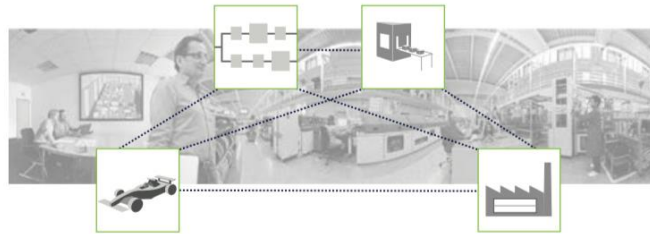


Figura 17: Interfaz actual de producción

El desarrollo basado en modelos que utilizan CPS permiten un despliegue de la cadena de valor de extremo a extremo, que cubre todos los aspectos y requisitos del cliente, de la arquitectura y la fabricación del producto final. El sistema de fabricación se desarrolla en paralelo basado en los mismos paradigmas, lo que significa que siempre se mantiene el ritmo de desarrollo de productos. Como resultado, se hace factible de fabricar productos individuales.

# Futuro

## Ingeniería a través de toda la cadena de valor

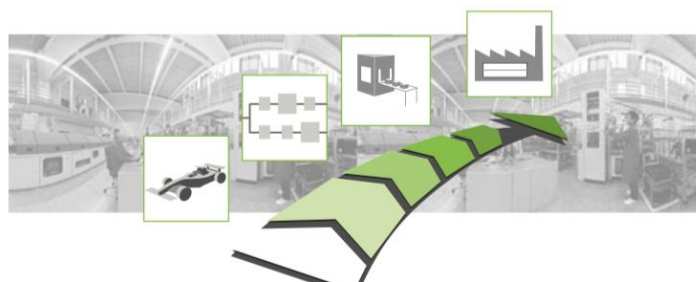


Figura 18: Interfaz futura de producción basada en Industria 4.0

Criterios de diseño de la cadena de valor:

Con el fin de ayudar a las empresas a identificar y aplicar la Industria 4.0 se requiere definir unos principios de diseño específicos. Por lo tanto, podemos hablar de seis principios de diseño tal como se presenta en la siguiente tabla. A

continuación mostramos los componentes del diseño de la llamada Industria 4.0.

	<b>Sistemas Ciber- Físicos (CPS)</b>	<b>Internet de las cosas (IoT)</b>	<b>Internet de los Servicios</b>	<b>Fábrica inteligente</b>
Interoperabilidad	✓	✓	✓	✓
Virtualización	✓			✓
Descentralización	✓			✓
Capacidad en tiempo real				✓
Servicios Orientativos			✓	
Modularidad			✓	

Figura 19: Tabla Principios de diseño Industria 4.0

Para definir todos estos componentes de diseño de la llamada industria 4.0 nos vamos a apoyar en un caso práctico del cual hemos encontrado bastante información, “*key finder plant*” de la empresa alema SmartFactory (Anexo 1). Hemos elegido este ejemplo y no otro debido a la dificultad de encontrar información acerca de la cadena de valor de las empresas que llevan a cabo esta transformación, ya sea por temas de confidencialidad así como de proyectos aun no implantados. El Centro Alemán de Investigación de Inteligencia Artificial se centró en esta iniciativa para el desarrollo de una tecnología que es independiente del proveedor y que opera en una planta de producción. Esta planta de producción procesa y reúne diferentes componentes para “buscadores de claves”. Todos los datos relevantes para el proceso de producción se guardan en una etiqueta RFID, está directamente ligada a la pieza de trabajo.

La cadena de producción se compone, además de una máquina de fresado, una estación gestionada mediante trabajo manual y una estación de montaje automatizada. La estación manual representa un ambiente de trabajo contextual que guía a los trabajadores a través de los procesos de fabricación complejos.

A continuación pasamos a describir los componentes de diseño citados anteriormente uno a uno:

## **Interoperabilidad**

Los CPS están conectados entre sí y con los seres humanos a través del Internet of Things (IoT) y el Internet of Services (IoS). Por lo tanto, la interoperabilidad cobra un papel fundamental en la Industria 4.0. Un factor crítico para llevar a cabo este componente y clave del éxito de habilitar reglas y controladores de comunicación entre CPSs de diversos fabricantes será la creación, establecimiento y la integración de normas (standards).

Al llevar a cabo la interoperabilidad en el contexto de la planta de demostración en SmartFactory, todos los CPSs de la planta (estaciones de montaje, soportes de la pieza y productos) se comunican entre sí a través de redes abiertas y las descripciones semánticas. La información de la orden, por ejemplo, puede ser ejecutada desde el sistema de aplicación, transferida hasta la estación de recogida y almacenada en la memoria del producto utilizando por ejemplo un estándar de, cuya creación se considera relativamente reciente.

## **Virtualización**

El principio de la virtualización representa la capacidad de los CPS para dirigir los procesos físicos. Estos datos se vinculan con la planta y se genera una copia virtual del mundo físico.

La planta de “key finder (SmartFactory.KL)” también contiene una representación virtual de sí misma, que incluye la vigilancia del cumplimiento de las condiciones de todos CPSs de la planta. Si se produce un error en la instalación, un ser humano será notificado y será el encargado de solventar este fallo.

## **Descentralización**

La reducción progresiva de la producción en masa y el aumento de la demanda de productos individuales impide gradualmente el control central de un sistema de producción. A través de la evolución de los sistemas embebidos, los CPSs se convierten más inteligentes y son capaces de tomar decisiones por su propia cuenta. Sólo en el caso de necesidad de mantenimiento o un fallo, el CPS tiene que conectarse con un sistema centralizado de nivel más alto para solucionar el problema. Por lo tanto, la planta de producción se desplaza cada vez más hacia una planta descentralizada como las que tenemos ahora.

La descentralización en la planta que estamos tomando como ejemplo SmartFactory se realiza a través de la etiqueta RFID en el producto. Toda la información acerca de cada uno de los pasos individuales de producción del producto se puede recuperar directamente a través de las máquinas por las que pasa este producto.



## **Capacidad de tiempo real**

Para organizar una fábrica y reaccionar a los eventos críticos en tiempo real e inmediato, es necesario y fundamental para una fábrica basada en Industria 4.0, que recopile y analice los datos en tiempo real. La creciente cantidad de información que circula en una fábrica establece sofisticadas demandas sobre las unidades de procesamiento. En este sentido, es crucial para determinar importantes selecciones y tiempos de ciclo para los datos que se recogen con el fin de usarlos en un posterior procesamiento.

En nuestro caso práctico, el estado de la planta se rastrea y analiza de forma continua. En caso de producirse un imprevisto, la instalación puede reaccionar inmediatamente por ejemplo redirigiendo los productos que se atascan en una línea de producción a otra máquina.

## **Arquitectura orientada a servicios**

Servicios orientados es una característica de diseño cuyos principios hacen hincapié en la separación de las preocupaciones en el software. Conduce a los componentes de software distribuidos en las capacidades operativas, cada uno diseñado para resolver un problema individual.

Los servicios de los seres humanos, las empresas, y CPS son accesibles a través de IoT (Internet of Things) y pueden ser utilizados por otros participantes. Los servicios se pueden ofrecer tanto a nivel interno como a nivel mundial a través de fronteras de la empresa.

La planta SmartFactory también está diseñada basada en una arquitectura orientada a servicios. Todos los CPS de la planta publican sus funcionalidades como un servicio web dentro de la propia fábrica. Posteriormente, los detalles del pedido del cliente pueden ser recuperados desde el chip RFID en los productos, y el proceso de producción puede estar basado en los servicios disponibles.

## **Modularidad**

El diseño de una fábrica de acuerdo con los paradigmas de la modularidad proporciona la ventaja de adaptarse de manera flexible a los requerimientos mediante el reemplazo o la expansión de ciertos módulos o CPSs en la fábrica. En él se describe la capacidad de ciertas máquinas y herramientas, de comunicar sus servicios y ubicación dentro de la fábrica, incluso le dará la capacidad de ser el proveedor independiente.

En nuestro caso práctico, nuevos módulos pueden ser añadidos o eliminados en base a esta modularidad. En base a las interfaces de hardware y software, nuevos CPS se pueden reconocer automáticamente y utilizar de forma instantánea utilizando las IoT. Estos sistemas modulares, por tanto, pueden ajustarse fácilmente en el caso de las características del producto.

¿Como la Virtualización, descentralización, y la conexión global cambian el escenario de la producción?

Industria 4.0 se centra en la creación de productos y procesos de producción inteligentes. En el futuro, las fábricas tienen que hacer frente a la necesidad de conseguir un rápido desarrollo de productos, generar una producción flexible. Estas fábricas del futuro, también se consideran como fábricas inteligentes, como hemos citado anteriormente en las características mediante CPS se permitirá la comunicación entre seres humanos, máquinas y productos. Esto se conseguirá ya que son capaces de obtener datos y procesos, además pueden auto-controlar tareas e interactuar con los seres humanos a través de interfaces (Fig. 20). En estos entornos de fabricación, productos inteligentes y personalizados comprenden el conocimiento de su proceso de fabricación y consumo y conducen de forma independiente su camino a través de la cadena de suministro.

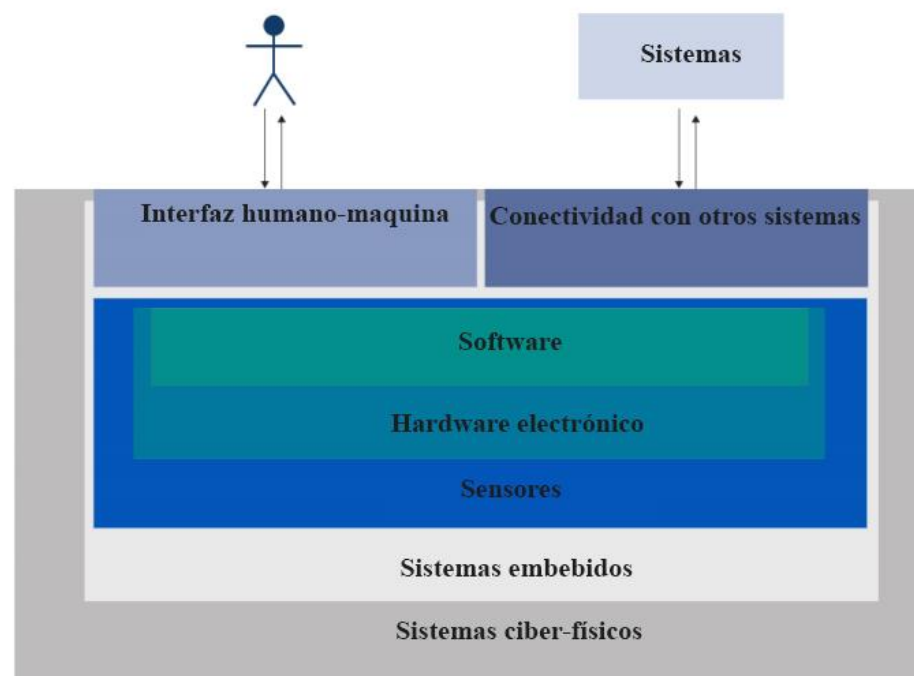


Figura 20: Interacción humano-maquina en el contexto Industria 4.0

- Producción individualizada:  
La producción industrial de productos de alta tecnología tiene que satisfacer las necesidades de los clientes a través de la individualización

y efectos de escala a lo largo de la cadena de valor. El dilema entre las economías de escala y alcance, se puede entender mediante el concepto de la personalización masiva (MC). MC en el contexto de la fabricación, es una estrategia de producción que se centra en los productos personalizados en masa, la mayoría a través de procesos flexibles, diseño de productos modulares y la integración de los distintos miembros de la cadena de suministro a lo largo de la cadena de valor. La creciente importancia de la MC conduce a cambios fundamentales en la arquitectura del producto y la producción.

La modularización es necesaria para aumentar la variedad de productos, la arquitectura del producto debe basarse en subsistemas con muy poca interdependencia. Sin embargo esta independencia no significa que, los productos pueden comunicarse con su entorno e influir en la disposición de sistemas de producción reconfigurables. Por otro lado deberemos tener flexibilidad en la producción, dividiéndola esta en pequeñas unidades que realicen tareas determinadas que envíen información respecto al nivel en el que operan. También en la actualidad las decisiones claves son mayoritariamente tomadas por los humanos y basadas en experiencias, en el futuro, las decisiones de los procesos serán autónomas y optimizadas por los propios sistemas.

- Integración horizontal y redes colaborativas:

El valor añadido dentro de una fábrica generalmente disminuye mientras que la complejidad de los productos y procesos de aumenta. La organización de redes colaborativas multiplica las capacidades disponibles sin necesidad de inversiones adicionales. Por lo tanto, las empresas en las redes de colaboración pueden adaptarse a los mercados volátiles y ciclos de vida de productos más cortos con gran agilidad. Sin embargo posee inconvenientes, la disociación y la separación espacial de los procesos de producción, y el aumento drástico de la necesidad de coordinación. Para aumentar la productividad en comparación con las organizaciones tradicionales, las empresas y sus empleados tienen que comunicarse con los distintos departamentos de la empresa a través de fronteras de manera muy eficiente. Para mantener una ventaja competitiva global, las empresas tendrán que centrarse en sus competencias básicas y externalizar otras actividades. Potencialmente, esto cambia los modelos de negocio de las empresas de fabricación de ofrecer productos de calidad superior a ofrecer una capacidad de fabricación superior.

Para asegurar que las necesidades del cliente son satisfechas de correcta es necesario que haya un alto nivel de sincronización entre las organizaciones, por lo cual el intercambio de información es de suma importancia. En el contexto de la gestión de la cadena de suministro, la agilidad va de la mano con la capacidad de realizar un seguimiento de los flujos de mercancías, sino también datos relativos a la fiabilidad de entrega y la satisfacción del cliente.

- Integración Digital End-to-End:  
La ingeniería integrada a lo largo de toda la cadena de valor mediante métodos avanzados de comunicación y virtualización supone una significativa optimización. A lo largo de esta cadena de valor, será cada vez menos importante, que proceso se ejecuta en cada fabrica, ya que todas las entidades participantes pueden de información en tiempo real y el control al nivel global.  
Para muchas empresas, los servicios de valor añadido proporcionan una oportunidad apropiada para diferenciarse respecto al resto, además de alta calidad que generan sobre el producto con el fin de garantizar una posición competitiva fuerte. Maquinas y sistemas embebidos de productos inteligentes permitirán nuevos conceptos de mantenimiento y gestión a distancia. Una gran cantidad de datos adquiridos por productos y maquinas inteligentes durante su funcionamiento puede ser extraído y utilizado para el desarrollo de nuevos servicios y actualizaciones, y contribuirá a aumentar la calidad percibida del producto.

## Ingeniería de Sistemas de Sistemas

### Introducción

Un Sistema de Sistemas (SoS) se trata del "conjunto o disposición de sistemas producido cuando los sistemas independientes y útiles se integran en un sistema más amplio que ofrece capacidades únicas". En cuanto System Engineering (SE), un único sistema, y un SoS, la diferencia entre los dos es que una vez que se ha establecido un sistema, si se descompusiese en sus componentes, estos no serían capaces de realizar su función. Un claro ejemplo de esto se puede ver con un coche. Una vez que el motor las puertas y las ruedas se separan del coche, los componentes no pueden realizar las mismas funciones que podían como parte del sistema total del coche. Por otro lado, con un SoS, los sistemas individuales pueden teóricamente independizarse del SoS y seguir proporcionando capacidades útiles. Un ejemplo de esto podría ser dos sistemas conectados mediante una red, como por ejemplo el conocido iCloud. Tanto el teléfono inteligente como el ordenador pueden compartir datos a través de iCloud, pero cada sistema también puede funcionar de manera independiente. La flexibilidad inherente en un SoS es uno de los conceptos más importantes y característicos, ya que permite una cierta flexibilidad con sistemas individuales. Los diferentes sistemas o componentes de un SoS, se pueden conectar y desconectar con la ventaja de conservar su identidad individual del sistema.

También hay que tener en cuenta que un SoS es diferente de un Family of Systems (Familia de Sistemas). Un Family of Systems es "un conjunto de sistemas que proporcionan capacidades similares a través de diferentes enfoques, para lograr efectos similares o complementarios".

La mayoría de ejemplos más asequibles de SoS se dan en el ambiente militar, por ejemplo el sistema de defensa de misiles. Un radar de alerta temprana de la Fuerza Aérea combinado con un sistema Patriot ofrecen capacidades únicas que no serían posibles a partir de los sistemas individuales. El radar puede detectar misiles mientras que el sistema Patriot decide enfrentarse a el misil en el momento óptimo. El radar por sí mismo no puede interceptar un misil, pero sin embargo tiene la capacidad de detectarlos. Estos dos sistemas combinados, así como varios otros sistemas en los SoS defensa contra misiles se unen para proporcionar mayores capacidades contra las amenazas sobre las que operan.

Podemos encontrar diferentes categorías de SoS, entre las mas importantes caben destacar las definidas en la siguiente tabla:

Tipo	Definición
Virtual	Los SoS virtuales carecen de una autoridad central de gestión y un propósito centralizado para los sistemas de sistema. El comportamiento a gran escala emerge además este tipo de SoS deben apoyarse en mecanismos relativamente invisibles para mantenerse. En nuestro caso de FoF no existe ningún mecanismo que gestione de manera autónoma cada uno de los sistemas individuales, sino que es cada uno de estos sistemas de transporte, producción, negocio, interconexión, web, sensores, entre otros desarrollan actividades independientes.
Colaborativo	SoS son colaborativos, ya que los sistemas constitutivos interaccionan mas o menos de forma voluntaria para cumplir con los propósitos centrales acordados. En nuestro caso los sistemas de sensores, mediante la red de interconexión, teniendo en cuenta las necesidades del cliente y del negocio, utilizando un transporte inteligente consiguen el propósito global.
Reconocido	Los SoS tienen objetivos reconocidos, un director, y recursos. Sin embargo, los sistemas constituyentes conservan sus enfoques, objetivos, financiación, desarrollo y sostenimiento independientes. Los cambios en los sistemas se basan en una colaboración entre las sistemas constituyentes y el sistema gerente.

Dirigido	Los SoS dirigidos son aquellos en los que los sistemas de sistemas integrados se construyen con el fin de cumplir propósitos específicos. Está dirigido de manera centralizada durante su funcionamiento, para seguir cumpliendo con esos fines, así como cualquier otros que surjan de manera novedosa. Los sistemas constituyentes mantienen una capacidad de operar de forma independiente, pero su modo de funcionamiento normal está subordinado al propósito central.
----------	---

Figura 21: Tabla categorías de los SoS (MITRE 2014)

Un ejemplo de un SoS virtual sería el Dow Jones. Accionistas y directores generales tienen un cierto nivel de control sobre las empresas individuales o sistemas que lo componen, pero no existe una autoridad central que gestione el mercado como un todo. El capital financiero, el cual se alimenta a menudo de la confianza del consumidor, es la base sobre la que se mantiene el Dow Jones. Es relativamente incierto y especulativo ya que los inversores individuales compran y venden acciones en base a sus creencias personales acerca de una determinada empresa.

Una propiedad predominante en un SoS virtual es la emergencia. La emergencia, como declaró Charles Keating, se produce cuando los *"patrones o propiedades de un sistema complejo surgen a través de la operación del sistema. Estos patrones y/o propiedades no se pueden prever de antemano y no son capaces de ser deducidos a partir de la comprensión de los componentes del sistema o sus propiedades individuales"* (Keating, 2014). En un SoS virtual, hay poca o ninguna planificación de emergencia, por lo que con el ejemplo del Dow, hay numerosas compra-ventas que tienen lugar a lo largo del día por millones de personas. Esto podría provocar que el Dow crezca significativamente, lo que puede conducir a un comportamiento emergente por parte de inversores creyendo que el Dow está sobrevaluado y, en consecuencia empieza a vender, o por lo contrario podría causar que compañías tomen una decisión de invertir en el mercado a la alza. Estos comportamientos emergentes pueden producir consecuencias tanto positivas como negativas.

Un ejemplo de tipo colaborativo sería por ejemplo el Internet. La información procede de muchas fuentes diferentes, pero se puede controlar, y si es necesario, puede llegar a ser censurada en mayor o menor medida. Varios países de todo el mundo censuran información de Internet, a través de su gobierno. En este sentido, Internet es un SoS de colaboración, ya que cada nación tiene su propia forma de la supervisión y regulación de la información que se ve en los sitios web. Además, varios sitios web se unen y complementan para proporcionar información diversa sobre gran variedad de temas. Distintos países tienen diferentes normas, y aunque cada nación es capaz de gestionar de forma centralizada la información en sus respectivos países, no existe una autoridad mundial que controle lo que se publica en el

Internet global. En este sentido, podemos decir que Internet es virtual, sin autoridad central.

Un ejemplo de sistema reconocido (Directed) SoS es BMDS. Todos los sistemas en el sistema de defensa de misiles balísticos se unen para luchar contra una amenaza común de interceptar misiles balísticos y de crucero lanzados por tierra, mar o aire. Cada sistema dentro del BMDS se gestión de manera independiente y tiene su propia línea de financiación (es decir pueden pertenecer a líneas relacionadas pero completamente distintas).

La última categoría de SoS es que son “directos”. Un ejemplo sería el Sistema de Combate Futuro del Ejército (FCS). El FCS se inició con la intención de transformar la armada en una fuerza más ligera y ágil mediante la gestión de forma centralizada.

### Ingeniería de Sistemas como Sistema de Sistemas

La mayor parte de los procesos que ocurren a lo largo del ciclo de vida de cualquier sistema están influenciados por el proceso de ingeniería de sistemas. El proceso de ingeniería de sistemas surgió a partir de la necesidad de analizar los programas de una manera integral, que se remonta a la década de 1960, cuando el secretario McNamara y su personal a través de la Ley de Reorganización del Departamento de Defensa de 1958 crearon la Oficina de Análisis de Sistemas (Fox 2012). El proceso de ingeniería de Sistemas continuó desarrollándose en las décadas posteriores, y se convirtió en una disciplina en varias universidades A finales de 1990.

En la siguiente tabla pasamos a estudiar las diferencias existentes entre la ingeniería de sistemas (SE) y la ingeniería de sistema de sistemas (SoSE):

	Sistema	Sistema de Sistemas
Dirección/Supervisión		
Participación de los interesados	Conjunto definido de partes interesadas	Niveles de complejidad añadidos. Participación de los interesados en el nivel de sistemas e incluso en los intereses y prioridades conjuntos
Gobernanza	Único sistema fundador	Puede tener dirección sobre el SoS pero también sobre los sistemas individuales
Entorno Operativo		
Foco operacional	Los sistemas son diseñados y desarrollados para cumplir	SoS cumple un conjunto de objetivos mediante la

	objetivos operacionales	utilización de sistemas individuales, cuyos objetivos pueden o no estar involucrados con el objetivo final.
Implementación		
Adquisición/Test y Validación	Establecen procesos con unos requisitos específicos, SE con un plan de sistemas de sistemas	No existen procesos establecidos a través del ciclo de vida del sistema ni de programas de adquisición, que implican sistemas heredados, de desarrollo e inserción tecnológica
	Pruebas y validaciones el sistema	Las pruebas son mucho mas exigentes debido a la dificultad de sincronización a través de los ciclos de vida de los sistemas. Probar todas las permutaciones de todas las partes implicadas es una tarea compleja
Ingeniería		
Interfaces y fronteras	Centradas en las interfaces y fronteras de un único sistema.	SoS se centra en identificar cada uno de los sistemas que contribuyen a cumplir el objetivo del SoS y permiten el intercambio de información, control y funcionalidad del SoS
Actuación y comportamiento	Optimizar el comportamiento del sistema para cumplir con los objetivos	Aportación a través de todo el SoS de objetivos e intercambio de información, que satisface las necesidades del usuario sin el contexto de cada sistema individual.

Figura 22: Tabla comparativa categorías de los SoS (MITRE 2014)

Teniendo en cuenta la tabla superior algunas de las diferencias clave entre los procesos de ingeniería de sistemas y sistemas de sistemas, se basan en la manera en la que son gestionados. En el proceso de ingeniería de sistemas se ocupa por lo general de la recopilación de información de las partes interesadas y hacer frente a sus perspectivas. Mientras que un sistema puede tener múltiples perspectivas de las partes interesadas, estas están centradas



en el sistema, mientras que por otro lado en el entorno de SoS cada punto de vista de las partes interesadas puede representar un sistema diferente. Otro aspecto clave es, que una ingeniería de sistemas existe un director el cual puede coordinar todos los subcomponentes del proceso de manera centralizada, sin embargo en un SoSE, este director tiene una influencia limitada sobre los sistemas individuales.

SE se centra también en las pruebas. Tal y como describe la tabla anterior, las pruebas son mucho más difíciles para un SoSE ya que los diferentes sistemas pueden estar en diferentes etapas de desarrollo, con lo que quedaría excluida la capacidad de probar el sistema completo. En consecuencia, las pruebas rara vez se producen en el nivel de SoSE. Los sistemas individuales que componen el SoS generalmente se prueban sin realizar una prueba de integración completa. Esta falta de pruebas de integración coloca a SoSE ante un riesgo de fallo en el funcionamiento en su uso operativo. Además, el proceso de ingeniería de sistemas se centra en establecer los límites para que el sistema tiene el alcance adecuado.

Un Sistema de sistemas se puede considerar que debe de poseer las siguientes propiedades:

1. Independencia operativa de los sistemas individuales. Esto sugiere que un sistema de sistemas se compone de sistemas que son independientes y útiles por ellos mismos, y si un sistema de sistemas se desmonta en los sistemas de los que está compuesto, estos son capaces de realizar independientemente operaciones útiles por sí mismos y de forma independiente uno de otro.
2. Independencia de gestión de los sistemas. Esto sugiere que los componentes de los sistemas no sólo pueden operar de forma independiente, por lo general, funcionan de forma independiente con el fin de lograr los objetivos tecnológicos, humanos y organizativos de la unidad individual en la que está operando. Estos sistemas de componentes mantienen una existencia operativa individual que es independiente del sistema que gobierna el resto de sistemas.
3. Distribución geográfica. dispersión geográfica de la que disponen los sistemas miembros de un sistema de sistemas es muy grande. A menudo, los sistemas constituyentes, pueden intercambiar fácilmente información y conocimiento uno con otro.
4. Comportamiento emergente. El sistema de sistemas realiza funciones y lleva a cabo propósitos que pueden no residir en un sistema constituyente de manera individual. Los propósitos se cumplen debido a estos comportamientos emergentes.
5. Desarrollo evolutivo y adaptado. Un sistema de sistemas nunca se encontrará totalmente formado o completo. El desarrollo es evolutivo y adaptable con el tiempo, de tal forma que las estructuras, funciones y objetivos, pueden añadirse, eliminarse, y modificarse según el análisis del conjunto de los sistemas individuales y el sistema compuesto con el fin de crecer y evolucionar.

## Elemento básicos de Ingeniería de sistema de sistemas

A continuación se procede a definir los siete elementos principales, los cuales se describen en detalle en “*Systems Engineering Guide for Systems of Systems*” (OSD 2008) y que servirá para adquirir un concepto analítico sobre SoSE.

### **Traducción de capacidades objetivas**

Una parte importante del proceso de adquisición es tener las capacidades objetivas y su traducción a una solución de material, si fuese necesario. Las capacidades objetivas para un SoS son a menudo muy amplias, y deben ser refinadas durante el proceso de adquisición de SoSE con el fin de representar con exactitud la forma en que cada sistema va a trabajar en conjunto para lograr las capacidades deseadas. Un ejemplo de esto sería facilitar la transferencia de datos entre múltiples plataformas. Esta capacidad debe ser refinada para describir la capacidad que cada plataforma debe de tener, y el tipo de datos que cada sistema debe ser capaz de transferir. Por otra parte, el director del SoS deberá ser capaz de dirigir qué parte de cada sistema se llevará a cabo en el suministro de la capacidad total requerida.

En un SoS, habrá una descomposición funcional de todos los sistemas constituyentes, y posiblemente, una descomposición funcional adicional que traza las funciones de los sistemas respecto a los objetivos globales. Además la SoSE, tiene que entender la forma en que las funciones de cada sistema contribuyen al objetivo general. Esta comprensión es necesaria para dotar de capacidad global al sistema.

### **Relaciones entre sistemas**

Es necesario que se entienda completamente las relaciones entre los sistemas que forman el sistema global, de lo contrario el SoS entraría en riesgo de no satisfacer los requerimientos deseados incluso generar un costo mayor y producir riesgos en programas. Se podría afirmar que, que el SoS fallaría a largo plazo si no se logra entender de manera correcta las relaciones entre los sistemas. Entender las relaciones del sistema va más allá de cómo los están relacionados e interconectados los componentes. Comprender correctamente las relaciones del sistema significa entender límites y limitaciones que presenta cada sistema. Además un ingeniero de SoS debe entender los requisitos de la interfaz para cada sistema subordinado con el fin de evaluar los riesgos tecnológicos y financieros asociados a dicha integración de sistemas. También hay que ser conscientes de cómo estas relaciones cambian con el tiempo cuando se prescinde de algún sistema dentro del mapa general o debido a actualizaciones de los mismos.

## **Evaluación de las capacidades objetivas**

En ingeniería de sistemas, las capacidades generalmente se asignan a funciones y estas se evalúan en función de las medidas de rendimiento y efectividad. Las medidas de rendimiento para un SoS pueden entrar en conflicto con las de otro sistema constituyente. Por ejemplo, un sensor en un sistema de defensa puede funcionar de manera óptima cuando su sensor está buscando activamente; sin embargo, cuando este sistema opera en un SoS, puede causar interferencias para otro sensor con mayor rango de detección. Esto puede requerir prescindir del primer sistema y depender del segundo sistema para hacer la búsqueda. En este caso, el primer sistema no está en su estado óptimo, pero dispone de la función SoS de forma óptima con la ayuda del sensor del segundo sistema.

## **Desarrollo y evolución de arquitectura SoS**

Se podría decir que SoSE afirma que las exigencias a menudo evolucionan a partir de la arquitectura del sistema y esta evolucionan a partir de los requisitos. La arquitectura de un sistema SOS debe abordar las relaciones entre los sistemas constitutivos. La visualización del sistema desde el punto de vista operativo, permite ver cómo este alcanza las capacidades requeridas.

Además en el desarrollo de esta arquitectura, SoS debe estar en continua evolución para adaptarse al dinamismo que caracteriza un SoS. Esta arquitectura debe interpretar los cambios en los sistemas individuales. Por ejemplo, si un sistema actualiza su software, la interfaz global debe ser actualizada para reflejar dicho impacto en el SoS. Esto también debe ser válido para el caso en que un sistema sea retirado, lo cual, generará un impacto en el SoS.

## **Evaluación y monitorización**

Es importante hacer un seguimiento de los cambios que se producen en los diferentes sistemas, ya que pueden tener un efecto sobre el SoS global. Por ejemplo, una actualización del software de un sistema en particular podría afectar la interoperabilidad entre ese sistema y otros sistemas. Del mismo modo, los cambios en los componentes físicos también deben tenerse en cuenta, ya que pueden afectar a las conexiones físicas entre otros sistemas. Es importante que se planifiquen estos cambios con antelación para que los efectos sobre el SoS se pueden evaluar. Además de los cambios técnicos de los sistemas, se producen cambios en los programas. SoS debe estar al tanto de cualquier cambio de los sistemas constituyentes y el impacto en el rendimiento y limitaciones del SOS.

## Clasificación de requisitos y soluciones

En SoS, el análisis de las posibles alternativas se centra en los distintos componentes del sistema y de cómo se va a conseguir de la manera más eficiente, las capacidades necesarias teniendo en cuenta las limitaciones del sistema.

Esto se convierte más dificultoso cuando hablamos de un SoS, debido a los compromisos que tienen con los sistemas individuales que ya han pasado por un análisis para conformar su existencia. Por lo que se deberá ser más meticuloso en este aspecto.

## Disponer de SoS actualizados

La diferencia entre una actualización del sistema individual y una de un SoS se basa principalmente en que en un SoS, las actualizaciones deben considerar los otros seis elementos definidos anteriormente, con el fin de que el resultado final sea el correcto. Se deberá realizar un cuidadoso esquema de los requisitos del sistema, para asegurarse de que la actualización se ejecuta de la manera más eficiente maximizando el rendimiento.

El proceso de la ingeniería de sistemas SoS se representa en la figura 23. En este diagrama es que el proceso SoS asume que cada sistema individual de adquisición se ejecuta utilizando el proceso de la ingeniería de sistemas.

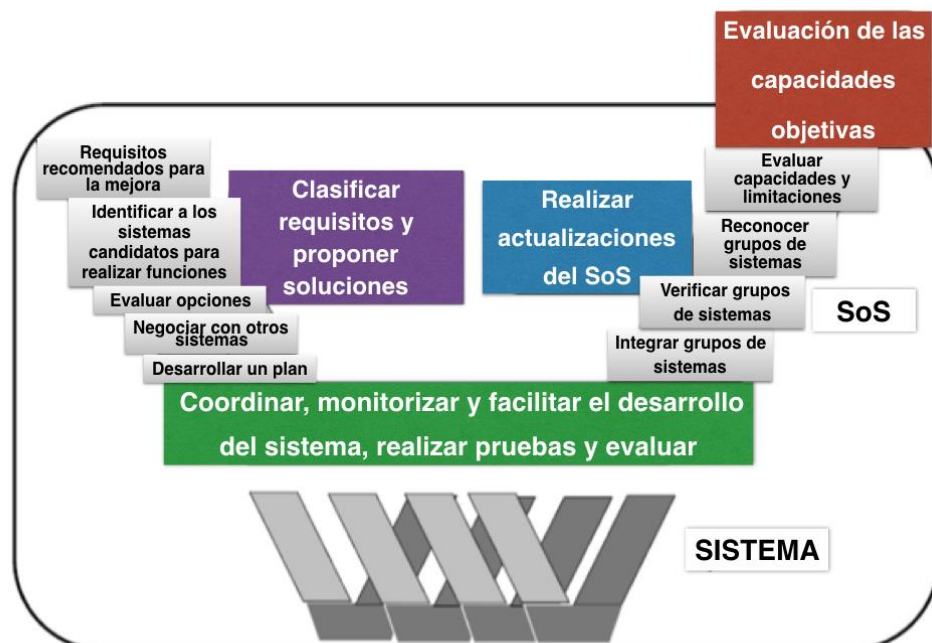


Figura 23: Proceso de Ingeniería SoSE

## Modelaje de Fábrica de Futuro mediante Sistemas de Sistemas

En este apartado intentaremos explicar la propuesta de modelaje de la Industria 4.0 a través del término SoSE explicado en los puntos anteriores.

Una vez definidos los dos aspectos claves de este trabajo, el objetivo final será la sinergia de ambos. Basándonos en la Figura 3 de la página 9 y en la mostrada a continuación, la cual muestra como la FoF interactúa con el entorno en el que se encuentra, podemos plantear las siguientes conclusiones.

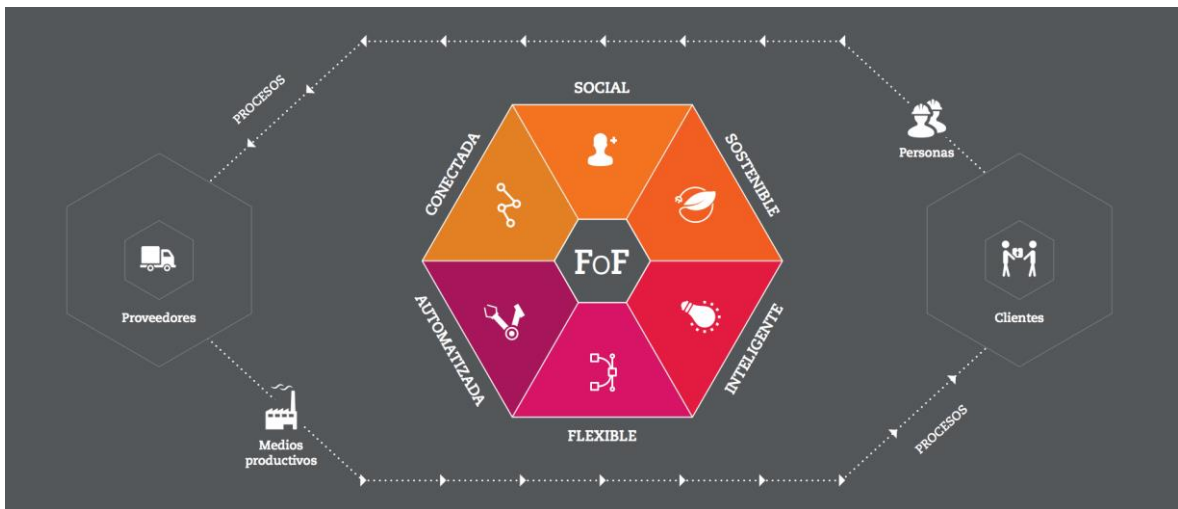


Figura 24. Fábrica del futuro (FoF)

De acuerdo con las definiciones que presenta un sistema de sistemas nuestra FoF deberá cumplir una serie de aspectos claves:

Debe tener un aspecto virtual y carecer de un propósito centralizado. Este, de acuerdo con la Figura 3 deberá estar formado por diferentes sistemas de logística, redes colaborativas, sensores, negocio, los cuales trabajan de manera independiente para conseguir el objetivo común del sistema padre. Además de ser independientes para que cumpla la característica de Sistemas de Sistemas se podrá prescindir de algunos de ellos, mientras que el sistema resultante sigue cumpliendo sus objetivos.

Es importante que sea colaborativo, esto viene representado por la Red Inteligente, IoT y sistema de sensores, a través de los cuales esta FoF conseguirá satisfacer las necesidades del cliente de una manera rápida y personalizada en tiempo real. El sistema de logística estará directamente conectado con el cliente, sistema de producción, producto, etc.... Cada uno de los diferentes sistemas tiene su propia forma de supervisión, pero la unión de estos proporcionan información diversa para cumplir objetivos, lo cual le caracteriza como un sistema con un comportamiento emergente.

Además esta fábrica del futuro deberá ser inteligente, y con esto se refiere a que debe poseer una fabricación inteligente tanto el procesos como en sistemas, mas sensible a los cambios del entorno, capaz de notificar sobre tareas de mantenimiento y que ayude al trabajador en su programación y puesta a punto. Además de que cada uno de estos sistemas sea independientes como se ha citado anteriormente, es importante que dispongan de flexibilidad, ya que esta nueva fabrica y cada uno de sus sistemas constituyentes debe adaptarse de forma veloz a los cambios de producción.

Una tarea importante que deberá tener esta fábrica será la de realizar un seguimiento de los cambios que se produzcan en los sistemas que lo constituyen, ya que un problema en un sistema podría alterar la operatividad global del sistema.

Por lo que podemos concluir con que la visión de la FoF a través del concepto de Sistema de Sistemas, se basa en gestionar cada uno de los elementos de esta nueva revolución industrial como un sistema único perteneciente a un sistema global.

Esto cambiará drásticamente la producción actual, y las empresas deberán invertir en esta nueva revolución si no quieren quedarse atrás respecto a sus competidores.

## Discusión

A lo largo de este trabajo se ha llegado a varias conclusiones tanto directas como indirectas que referencian este tema.

Temas tales como el desarrollo y el intercambio de mejores prácticas entre todos los componentes que participan en el crecimiento, pero también su supervisión y evaluación. Esto permite la posible implementación de una nueva filosofía industrial potencialmente eficiente. Es aquí donde entra en juego el término SoSE, en donde planteamos la creación y desarrollo de esta nueva revolución industrial basada en una tecnología de Sistemas de Sistemas. Cada componente o grupo de componentes tendrán una serie de propósitos independientes que irán conformando los distintos sistemas que a su vez trabajarán por cumplir el objetivo final en equipo.

Además, debe crear y reforzar la capacidad de desarrollo de las infraestructuras necesarias para permitir la gestión de grandes cantidades de datos e información que los sistemas ciber-físicos requerirán, sin olvidarse de asegurar su integridad y seguridad.

El Internet de las cosas (IoT) permite a todos sus componentes una gestión de manera simple, disponible y económicamente viable para toda la cadena de creación de valor. Sin embargo, el cambio más profundo será a nivel de cultura y la mentalidad en la forma de producción, integración e interacción que ha

sufrido la producción industrial en el transcurso del tiempo. Esto requerirá una reorganización completa del concepto de trabajo y el papel del ser humano como elemento productivo. La respuesta puede estar basada en el esfuerzo aplicado entre las fusiones del talento creativo humano junto con el desarrollo tecnológico.

Los caminos de esta nueva filosofía industrial poseen unos fundamentos y objetivos claramente definidos: preocupaciones como el envejecimiento de la población activa, la pérdida de competitividad en el mercado mundial respecto con los países emergentes, la gestión eficiente de recursos críticos como la energía y materia prima finita, la flexibilización de la industria en busca de la optimización a lo largo de toda la cadena de creación de valor. Todos estos temas, han sido objeto de una intensa investigación en la que Alemania no solo es capaz de seguir mejorando la economía a nivel global, sino de mantener un nivel de estabilidad en cuanto a calidad de vida y tranquilidad social.

Algunas de las preocupaciones vitales deben ser objeto de especial atención como por ejemplo la gestión de prioridades. Las partes constituyentes deben aceptar, que no todos los retos identificados para ser superado deben tener la misma importancia. Existe un riesgo de perder el enfoque lo que suponga un gasto de energía en el esfuerzo colectivo el cual está comprometido a promover la sinergia y la colaboración con el fin de unirse en torno a una estrategia común.

## Conclusiones

La introducción de las nuevas tecnologías y los recientes avances industriales y de producción están guiando la transición hacia una nueva revolución industrial.

El propósito de esta investigación fue explorar la idea de adentrarse en esta nueva revolución industrial desde una perspectiva de SoS. Esto requeriría a SoS, evaluar una serie de procesos y cambios en la organización industrial para facilitar este cambio de cultura. El estudio se inició con una breve historia de la evolución del proceso industrial que llevó a un propósito de enfoque en sistemas SoS.

En cuanto a el modelaje de FoF con el modelo SoSE desarrollado como parte de esta investigación, uno puede realizar algunas evaluaciones rápidas para determinar la rentabilidad de un un SoSE para un nuevo modelo de producción basado en Industria 4.0, así como investigar los costos relativos, ventajas e inconvenientes de múltiples opciones para la implementación sus capacidades.

Con todo esto la nueva Industria 4.0 ahorrará en costes a la vez que ofrecerá una producción personalizada (descentralizada) al cliente o consumidor.

## Referencias bibliográficas

**Alemu Moges Belay, Petri Helo, Torgeir Welø.** System of Systems Thinking in Product Development: A System Dynamic Approach, International Conference of System of System.

**Benjamin D. Leea, Christiaan J.J. Paredis.** A Conceptual Framework for Value-Driven Design and Systems Engineering.

**Blanchard, Benjamin, and Wolter Fabrycky. (2011).** Systems Engineering and Analysis.

**Bloodsworth, Jim.** (2010). "C-RAM: A Case Study in TRUE System-of-Systems Test and Evaluation."

**Federal Ministry of Education and Research. (2012).** BMBF: Recommendations for the future project Industrie 4.0.

**C.N. Verdouw, A.J.M. Beulens, H.A. Reijers, J.G.A.J. van der Vorst.** A control model for object virtualization in supply chain management

**Colombo, A; Karnouskos, S.; Bangemann, T. (2013):** A System of Systems view on Collaborative Industrial Automation, p. 1968-1975.

**CyPhERS (2013):** Characteristics, capabilities, potential applications of Cyber-Physical Systems: a preliminary analysis, CyPhERS.eu – Cyber-Physical European Roadmap & Strategy.

**Deloitte (2012):** Digital-Age Transportation: The future of mobility.

**Department of Defense, United States of America, (2008).** Systems Engineering Guide for Systems of Systems

**Dr. Judith Dahmann and Mrs. Kristen Baldwin.** Implications of Systems of Systems on System Design and Engineering.

**Ferber, S (2013):** Internet of Things in production: Industrie 4.0, Bosch AG.

**Gang Li, Huan Fan, Peter K.C. Lee, T.C.E. Cheng.** Joint supply chain risk management: An agency and collaboration perspective, Int. J. Production Economics

**Giachetti, Ronald (2010).** Design of Enterprise Systems: Theory, Architecture, and Methods, Boca Raton, FL: CRC Press.



**GTAI (Germany Trade and Invest).** Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future.

**Gubbi, J. (2013):** Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements and future directions, Future Generation Computer Systems, 29, p. 1645-1660.

**Gupta A. (2013):** Future of all technologies – the Cloud and Cyber Physical Systems, International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, v. 2.

**Haller, S. (2012):** IoT Reference Model White Paper, Internet of Things Institute.

**Jiafu, W. (2013):** From Machine-to-Machine Communications towards Cyber-Physical Systems, ComSIS, Vol. 10, N. 3.

**Karimi, K.; Atkinson, G. (2013):** What the Internet of Things needs to become a reality.

**Lee, J. (2013):** Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment, Manufacturing Letters Vol. 1, p. 38–41.

**Malte Brettel, Niklas Friederichsen, Michael Keller, Marius Rosenberg.** How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective

**Mehra, H. (2013):** Factory of the future, Tata Consultancy Services.

**Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** Industria conectada 4.0: La transformación digital de la industria Española.

**Saeco, M.; Pedrazzoli, P.; Terkaj, W. (2013):** Virtual Factory Framework, Institute of Industrial Technologies and Automation, National Research Council.

**Siemens (2013):** Operational Guidelines for Industrial Security, Siemens AG.

**Siemens (2013):** Industry 4.0: the path from research to practice, Wolfgang Heuring.

**Thomas A.; Treutesaux, D. (2013):** Are Intelligent Manufacturing System sustainable?

**Tolio, T; et al. (2013):** Virtual Factory: an integrated framework for manufacturing systems design and analysis, Procedia CIRP, Vol. 7, p. 25-30.

**Wu, D.; Greer, M.; Rosen, D. Schaefer, D. (2013).** Cloud Manufacturing: Strategic Vision and state of the art, Journal of Manufacturing Systems.

<http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/how-the-internet-of-things-could-transform-the-value-chain>

<http://www.inescrm.es/nuestras-soluciones/que-es-un-crm.88.html>

<http://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/Documents/081015%20Dossier%20prensa%20Industria%204%200.pdf>

<http://es.ptc.com/smart-connected-products/industry-insights>

<http://www.smartfactory-kl.de/>

<http://www.innobasque.eus/es/article/754/que-es-la-industria-40#.V1RgPJOLSog>

<https://www.gtai.de/GTAI/Content/JP/Meta/Events/Reviews/JGIF%252014/jgif14-zuehlke-1.pdf?v=1>

<http://www.smartfactory.de/>

[http://www.dfki.de/wwdata/Vortrag\\_SGAICO\\_Zuerich\\_27\\_05\\_13/Industry\\_4\\_0\\_The\\_Semantic\\_Product\\_Memory\\_as\\_a\\_Basis\\_for\\_Cyber-Physical\\_Production\\_Systems.pdf](http://www.dfki.de/wwddata/Vortrag_SGAICO_Zuerich_27_05_13/Industry_4_0_The_Semantic_Product_Memory_as_a_Basis_for_Cyber-Physical_Production_Systems.pdf)

<http://revistaingenieria.deusto.es/industria-4-0-la-transformacion-digital-de-la-industria/>

<http://www.waset.org/publications/9997144>

<https://www.ariasystems.com/blog/internet-things-monetization-opportunities-b2bs/>

## Anexos

### Anexo 1: Caso de estudio SmartFactoryKL

El Internet de las cosas, por medio de la tecnología de información y comunicación, permitirá la integración de sistemas de ciber-físicos a través de una única arquitectura para la transmisión de datos entre sí. Esto permitiría a los distintos componentes y sistemas interconectarse sinérgicamente y en armonía consiguiendo realizar tareas independientes de forma contextual, auto sostenidas, flexibles y capaces de adaptarse a tareas, cada vez más complejas.

En 2005, en Kaiserslautern, un grupo de empresas (BASF AG, DFKI GmbH, KSB AG, Pepperl Fuchs GmbH, ProMinent GmbH, TU Kaiserslautern y Siemens AG) fundaron el proyecto SmartFactoryKL. Su intención no era otra que la de una integración de las nuevas tecnologías en una empresa industrial, avanzando hacia el término Industria 4.0, a través de una visión donde se podrían integrar las tecnologías de la información y las comunicaciones con los sistemas físicos productivos para el desarrollo de un entorno inteligente industrial. De esta manera se podrían llevar al mundo real, la fusión del mundo físico con el mundo digital.

Algunos requisitos están presentes en el desarrollo de la arquitectura que estudiamos: la integración de los equipos a través de la tecnología Plug & Play para una implementación más sencilla y rápida en un entorno productivo; a través de una visión general de planificación y control de la producción; sin olvidar el esfuerzo de integración necesaria para mejorar los sistemas de automatización industrial a través de un modelo de comunicación uniforme basado en una arquitectura orientada a servicios.

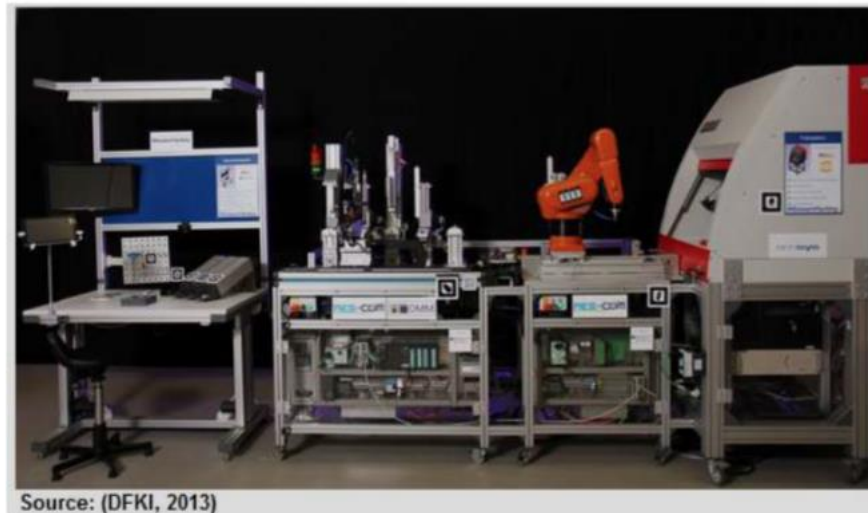


Figure 25. SmartFactoryKL Caso de estudio laboratorio inteligente (fuente: DFKI, 2013).

El manejo de esta enorme cantidad de datos e información proporcionada por todos los sensores y componentes interconectados, presentes en este tipo de organización industrial, será una condición esencial y necesaria para la gestión eficaz de este tipo de industria. La preocupación que surge en este contexto es la de proporcionar datos de producción con el fin de aumentar la eficiencia en la gestión y toma de decisiones. También tenemos que considerar que el ser humano seguirá siendo el punto álgido de la toma de decisiones y tareas cada vez más complejas por lo que será necesario desarrollar interfaces capaces de interactuar con el usuario, además de todos los procesos autónomos y flexibles de esta filosofía.

### **El modelo productivo**

El modelo de producción se encuentra en el Centro Alemán de Investigación en Inteligencia Artificial (DFKI), basado en una producción altamente personalizada, con un volumen de producción baja, pero presentando la posibilidad de una alta gama de variedades de producto a fabricar. De esta manera sus requisitos se pueden cumplir debido a una alta flexibilidad del sistema en el que es posible una personalización de producto de acuerdo con las especificaciones del cliente. Además, todos sus componentes funcionales son de varios fabricantes diferentes, pero están trabajando en una sola red común, a través de los diferentes niveles de comunicación para formar una estructura simple y capaz de ser actualizada constantemente.



Figure 26. SmartFactoryKL Visión de la integración tecnológica (fuente: DFKI, 2013).

### **Preparación de pedidos robóticos**

En este modelo, el producto contiene toda la información necesaria sobre su memoria a lo largo de todo el ciclo de vida, por medio de un chip de identificación por radiofrecuencia para la representación de información. Por lo tanto, el proceso de producción debe comenzar en la asignación estación donde se emitirán los requisitos de producción necesaria para la satisfacción de la orden de fabricación a través de parámetros de producción específicos. Esta manera de transmitir la información a los distintos componentes operativos presentes en el sistema de producción, constituye una integración vertical y horizontal de la información a través de los sistemas presentes. Además la memoria del producto será registrada y actualizada en todas las etapas del proceso de producción. En este modelo, el robot actúa como un elemento de conexión entre el almacenamiento, fresadora y montaje automatizado.

### **Modelaje en la estación de fresado**

Este modelo utiliza una fresadora de 3 ejes de controlados por ordenador, administrado a través de un ordenador industrial. Esto controla toda su actividad, en la que la información para la producción a través del programa de fresado se incluye en la etiqueta RFID incrustada en el producto.

### **Estación de montaje automatizada**

Después de completar el proceso creación de las partes del producto en la producción, a este le sigue el montaje a través de una unidad Pick & Place en el que se montará de manera diferentes según su influencia y acondicionándolas electrónicamente. Esto de acuerdo con la información de los requisitos del cliente almacenada producto, desencadenará la decisión del montaje en el circuito.

### **Modelo de estación de trabajo manual**

El modelo presenta una estación de intervención humana que podría ser el objetivo de

una gestión a nivel de control de calidad o activación del producto. En este caso, el operador por medio de tecnologías de información y comunicación y el uso de una interfaz para una fácil visualización puede permitir un rápido análisis, toma de decisiones y posteriores análisis de instrucciones.

### **Modelo de construcción de servicio guiado**

Cualquier unidad industrial debe garantizar servicios de mantenimiento para que su proceso de creación de valor añadido pueda ser lo más eficiente posible. En este modelo, la convergencia de un mantenimiento móvil a través del posicionamiento, comunicación e integración de las tecnologías permite una interacción a tiempo real con el operador en cualquier punto en el proceso.



Figure 27. SmartFactoryKL Servicio de mantenimiento (fuente: DFKI, 2013).