

# Capítulo 1

## Conceptos fundamentales de la Industria 4.0

Mireia Dilmé i Martínez de Huete

### 1.1 Implantación

Las empresas siempre han estado evolucionando e innovando, las nuevas tecnologías siempre han presentado desafíos y oportunidades, y los ecosistemas siempre han estado en constante cambio. Entonces, ¿qué hace que la era actual del cambio tecnológico sea tan diferente?

La diferencia reside en el grado de interconexión, la velocidad de aceleración del cambio y la naturaleza misma del cambio en sí. La interrupción no es nueva, pero la velocidad, la complejidad y la naturaleza global de la interrupción se encuentran en una escala nunca antes vista.

Las empresas en el entorno competitivo actual están siendo transformadas cada vez más por la tecnología. Dicha transformación tecnológica permite a las empresas aprovechar las oportunidades para aumentar los ingresos, mejorar la eficiencia y la flexibilidad, y ofrecer más valor a los usuarios finales.

La transformación tecnológica requiere un líder estratégico que pueda involucrar y examinar la tecnología a través de una lente empresarial y tecnológica. Este libro tiene como objetivo capacitar a los usuarios con los conocimientos básicos del dominio de la tecnología de la Industria 4.0, su gestión e implementación estratégica.

---

M. Dilmé i Martínez de Huete (✉)  
Eurecat, Barcelona, España  
Correo electrónico: mireia.dilme@eurecat.org

© Los Autores 2020  
J.C. Chaplin et al. (eds), *Fabricación digital para pymes*

El presente capítulo tiene como objetivo proporcionar una comprensión básica de los conceptos, tendencias y tecnologías clave que caracterizan a la Industria 4.0. El objetivo del capítulo es reflexionar sobre las razones por las que las empresas deberían apostar por la transformación digital y el cambio de paradigma en la Industria 4.0. Este capítulo sirve como una introducción al potencial que la Industria 4.0 revela. Por lo tanto, se puede utilizar como un marco general para entrar posteriormente en la comprensión detallada de cada uno de los bloques de tecnología presentados en los distintos capítulos del libro.

## 1.2 Introducción a la Industria 4.0

Si su organización es una pequeña y mediana empresa (PYME), es muy probable que ya haya escuchado el término *Industria 4.0* (I4.0). Sin embargo, es posible que aún no esté del todo persuadido de que la *Industria 4.0* sea vital para su negocio. Muchas PYMEs creen erróneamente que la I4.0 solo se relaciona con iniciativas llevadas a cabo por empresas multinacionales con presupuestos considerables como General Electric, Bosch o Boeing. Independientemente del tamaño de la organización, las empresas que mantienen esta mentalidad conservadora están realmente perdiendo las oportunidades para aumentar la competitividad e innovar. Para las PYME en particular, la **Industria 4.0 no debe percibirse simplemente como un objetivo final, sino como una dirección que toda empresa puede avanzar en cierto grado.**

¿Qué es exactamente Industria 4.0? ¿Qué cambios está trayendo? ¿Por qué es importante y qué implicaciones tiene para las pequeñas y medianas empresas industriales?

### 1.2.1 Bienvenidos a la 4ª Revolución Industrial (Industria 4.0)

¿Sabía que ...?

- 90% de los datos en el mundo de hoy se han creado en los últimos dos años solamente (IBM research).
- El 30% de las empresas comenzó a monetizar sus activos de datos en 2017 (Microsoft research).
- La vida útil promedio de una empresa S&P 500 ha disminuido en 50 años en el último siglo, de 67 años en la década de 1920 a solo 15 años en la actualidad (Yale research).
- 86% de los CEOs consideran digital como su primera prioridad (Microsoft research).
- 76% de la generación del milenio cree que las innovaciones su rasgo más valioso (Deloitte research).

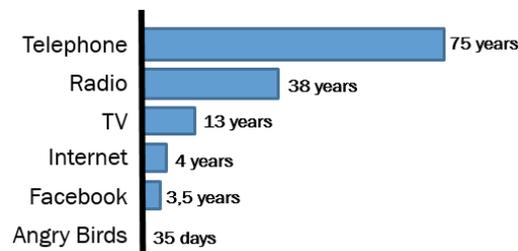
Las PYME industriales deben mantenerse a la vanguardia de la demanda en constante cambio del mercado: productos hiperpersonalizados, ciclos de vida de

productos y servicios más cortos, interconexión global, la alta velocidad del cambio tecnológico y el impulso constante para ofrecer calidad a un costo reducido.

Las reglas del juego están cambiando. La forma en que las empresas hacen frente a los desafíos transformacionales no es solo perfeccionando sus estrategias corporativas, sino también creando oportunidades sin precedentes. ¿Qué hace que la era actual del cambio tecnológico destaque de las eras predecesoras?

- *Interconexión*: Ahora más que nunca los equipos, el personal y los procesos industriales están interconectados. Los datos se recopilan y analizan a escala global, optimizando y facilitando constantemente los procesos de toma de decisiones. El mundo físico se está convirtiendo en un sistema de información en sí. Empresas como FedEx, ya han declarado que *"la información es más valiosa que cualquier bien transportado"*.
- *Ritmo de cambio*: Las cosas se mueven a un ritmo extremadamente rápido en una carrera en la que es difícil mantenerse al día. Anteriormente, las empresas tenían tiempo para rastrear las tendencias y esperar pruebas del éxito de las nuevas aplicaciones en varios entornos antes de adoptarlas internamente. Ahora, sin embargo, las nuevas capacidades se implementan más rápido cada año, las innovaciones tecnológicas disruptivas surgen constantemente y los usuarios están adoptando nuevas tecnologías a una velocidad implacable.

Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 1.2-1, tomó alrededor de 75 años para que el teléfono se conecte a 50 millones de personas. Hoy en día, una simple aplicación para iPhone puede alcanzar ese hito en cuestión de días.

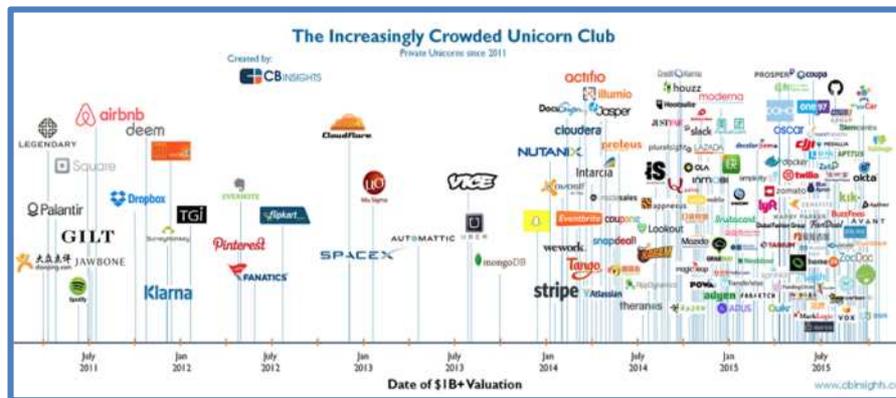


**Figura 1.2-1** Tiempo para llegar a 50 millones de usuarios [1].

- *Naturaleza del último cambio tecnológico*: La adaptabilidad es clave para sobrevivir en la era del darwinismo digital, una era en la que los impulsores del mercado y las demandas cambian constantemente. Los ganadores a largo plazo no serán los que simplemente tratan de llegar al siguiente nivel, sino los que se adaptan constantemente. En los próximos años, las tecnologías que aún no han sido comprendidas completamente por las personas (por ejemplo, la computación cuántica) pueden influir enormemente en los sistemas industriales. Las empresas deben preparar sus equipos, infraestructura y capacidades para

aprovechar con éxito el potencial de esas tecnologías. Esto también incluye aprender a tomar decisiones basadas en datos y aceleradas y progresar en entornos altamente inciertos.

Como se ilustra en Figura 1.2-2, las startups “Unicornios”, un apodo aplicado a nuevas empresas privadas valoradas en > \$ 1 mil millones, ya no son tan míticos en la naturaleza. Las empresas tecnológicas y digitalizadas están liderando el “club de los unicornios” debido a su capacidad para operar en entornos inciertos y su predisposición a adoptar y apostar por tecnologías altamente disruptivas. Cada vez más las empresas digitales adoptan una mayor posición de liderazgo en el mercado.



**Figura 1.2-2** Las empresas tecnológicas y digitalizadas lideran el club unicornio [2].

Estos tres factores, cuando se combinan, dan como resultado una fuerza imparable y de autorrefuerzo, impulsando y acelerándose mutuamente: el uso masivo de la tecnología acelera el desarrollo y la introducción de más tecnología.

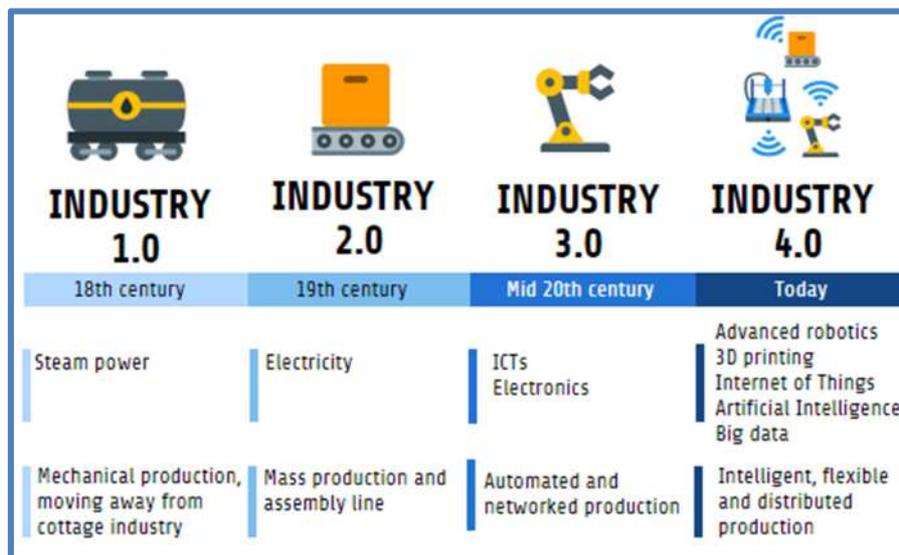
Estas novedosas reglas del mercado abren enormes oportunidades, pero solo pueden cumplirse con avances radicales en la tecnología de fabricación actual. En este contexto, Industria 4.0 es un elemento de cambio: un facilitador clave para que las empresas se mantengan a la vanguardia en términos de innovación. Para ello, la Industria 4.0 se basa en la integración de la cadena de valor de la empresa (proveedores, socios y clientes), los procesos empresariales y de fabricación, así como la adopción de las TIC (tanto hardware como software) a los sistemas de producción industrial actuales.

El concepto de Industria 4.0 significa la llamada cuarta revolución industrial. La industria 4.0 se deriva de la transformación en curso en el sector industrial precedida por otras tres revoluciones. La primera revolución, alrededor de 1784, se refiere a la mecanización del trabajo: incorporar el motor de agua / vapor en las instalaciones

de fabricación mecánica. Esto consistió en la introducción de vapor en las tareas que anteriormente se realizaban a mano.

La segunda revolución industrial, alrededor de 1870, siguió a la introducción de la producción en masa de accionamiento eléctrico basada en la división del trabajo. La introducción de electricidad en varios procesos de fabricación hizo posible el uso de líneas de montaje.

La tercera revolución industrial, alrededor de 1970, se basó en la introducción de los controladores lógicos programables (PLC), electrónica e informática, para lograr una mayor automatización de la fabricación. La tercera revolución industrial ya era un gran salto adelante donde, con el advenimiento de la automatización, la electrónica y las computadoras gobernaban en la escena industrial. Durante esta época, los robots y la maquinaria programable se utilizaban cada vez más para realizar tareas industriales.



**Figura 1.2-3** Evolución de Industria 1.0 a Industria 4.0 [3].

Hoy en día, la Industria 4.0 es un cambio de paradigma: no solo una sino un gran abanico de tecnologías ciberfísicas se combinan para transformar digitalmente las actividades industriales. Los sistemas físicos cibernéticos (CPS) se componen de sistemas de almacenamiento, capacidades de procesamiento de datos, máquinas inteligentes e instalaciones de fabricación capaces de intercambiar información de forma autónoma, impulsar acciones y controlarse mutuamente de forma independiente. Una empresa que aprovecha la Industria 4.0 no solo está invirtiendo en la automatización de líneas de producción, sino que está transformando sus líneas de producción a través de IIoT (Industrial Internet of Things), utilizando tecnología

en la nube y aplicando software avanzado y análisis de datos. A través de IIoT, un gran número de sensores sincronizados proporcionan datos en tiempo real a los servidores informáticos de una empresa (local o en la nube). Todos estos datos proporcionan información muy valiosa para los procesos de toma de decisiones y son la base de referencia clave para nutrir modelos predictivos que ayuden a las empresas a anticipar irregularidades en sus sistemas, operaciones y procesos y, por lo tanto, pueden tomarse medidas adecuadamente antes de que se produzcan errores o averías importantes. Este análisis de datos (en grandes cantidades conocidas como Big Data) es la clave para mantener y mejorar la cadena de suministro, los procesos industriales y la gestión del ciclo de vida del producto. Por lo tanto, el resultado de la Industria 4.0 es crear una red de producción y servicio altamente flexible, inteligente y distribuida. El objetivo final: allanar el camino para alcanzar el concepto de una fábrica inteligente que se caracteriza por su adaptabilidad, flexibilidad y eficiencia al tiempo que mejora el valor entregado a los clientes específicos.

Para garantizar que la diferencia clave entre la tercera revolución industrial y la Industria 4.0 se comprenda completamente, consideremos el ejemplo de un centro de mecanizado CNC. Si la máquina forma parte de la tercera era de la revolución industrial, el cambio de herramienta se puede hacer automáticamente, pero el operador debe realizar un seguimiento manual, observar y corregir las acciones relacionadas, por ejemplo, con la velocidad del husillo. Sin embargo, si la máquina se actualiza a la era de la Industria 4.0, los cambios de la herramienta también se realizan automáticamente, pero, al mismo tiempo, los sensores integrados en la máquina registran automáticamente las velocidades del husillo y muchos otros parámetros cruciales del proceso. Debido a las grandes capacidades de procesamiento de datos, la máquina calcula automáticamente los ajustes adecuados y el proceso se optimiza automáticamente [4].

### 1.2.2 Cambio de paradigma en la industria 4.0

El primer uso oficial del término *Industria 4.0* fue acuñado en Alemania alrededor de 2011, como una iniciativa estratégica introducida por el gobierno alemán bajo los objetivos de:

1. Identificar varias tendencias que estaban teniendo lugar.
2. Fomentar proyectos para la digitalización e introducción de tecnología de alto nivel en la fabricación.

En los años siguientes (principalmente después de 2014), empresas y gobiernos fuera de Alemania comenzaron a intervenir. El movimiento más importante se produjo cuando la Comisión Europea estableció una prioridad: fijar un objetivo para que el sector industrial represente el 20% de la economía europea hasta 2020, aumentando así la productividad, la competitividad y el valor añadido global de las empresas. Para lograr este objetivo, se establecieron iniciativas gubernamentales,

esfuerzos de difusión, políticas de financiamiento especializadas y herramientas especializadas.

La industria 4.0 representa un salto cualitativo en la gestión de la organización, el control de toda la cadena de valor y el seguimiento de todo el ciclo de vida del producto. De hecho, es un cambio de paradigma para las industrias, que requiere capacidades novedosas y abre nuevas ventanas de oportunidad, algunas de las cuales se describen en la Tabla 1.2-1 inferior:

<b>Cambio de paradigma en la Industria 4.0</b>	
<b>Industria tradicional</b>	<b>Industria 4.0</b>
Producción en masa	Hiperpersonalización basada en las demandas de los clientes
Grandes fábricas para fabricar grandes volúmenes de un producto específico	Fábricas inteligentes con líneas de producción flexibles para producir a costos competitivos
Planificación de producción rígida basada en pronósticos de stock	Producción dinámica basada en la demanda del mercado
Ingresos derivados de ventas de productos	Ingresos derivados del producto como servicio
Minimización de costes	Maximización de ROCE: rentabilidad / capital utilizado.
Rigidez laboral	Flexibilidad en la organización del trabajo.

**Tabla 1.2-1** Modelo de madurez para la adopción de Industria 4.0 [5].

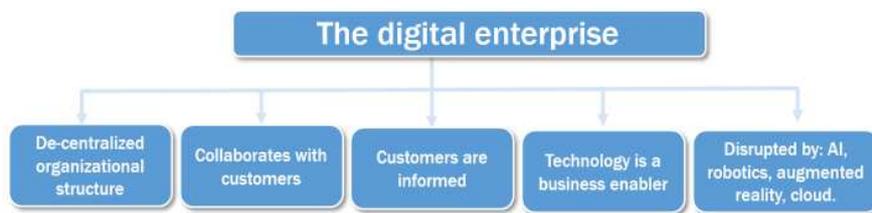
El cambio en Industria 4.0 se basa en los siguientes principios:

- *Garantizar la interoperabilidad*: La capacidad de comunicación de todos los elementos de la fábrica. Es necesario crear estándares comunes que faciliten los flujos de datos entre los sistemas ciberfísicos, los robots, los sistemas de información corporativos, los productos inteligentes y las personas, así como los sistemas de terceros.
- *Descentralización*: Enfatizar una mayor autonomía y poner la inteligencia en el nivel práctico más bajo. Por ejemplo, implementar elementos ciberfísicos con la capacidad de tomar decisiones de forma autónoma para reducir el tiempo y los costos de producción. Se debe garantizar la coordinación, pero una organización rígida de arriba hacia abajo se considera indeseable.
- *Real Time Analytics*: Recopilación y análisis masivo de datos (Big Data) en tiempo real que permite el seguimiento, control y optimización de procesos, facilitando cualquier decisión derivada del proceso de forma inmediata.
- *Virtualización*: La capacidad de generar una copia virtual de la fábrica a través de los datos recogidos; es decir, para digitalizar elementos físicos. Los modelos virtuales de la planta y la modelización de procesos industriales permiten a los

modelos de simulación realizar experimentos e identificar y comparar mejor las alternativas que mejoran los sistemas de producción actuales.

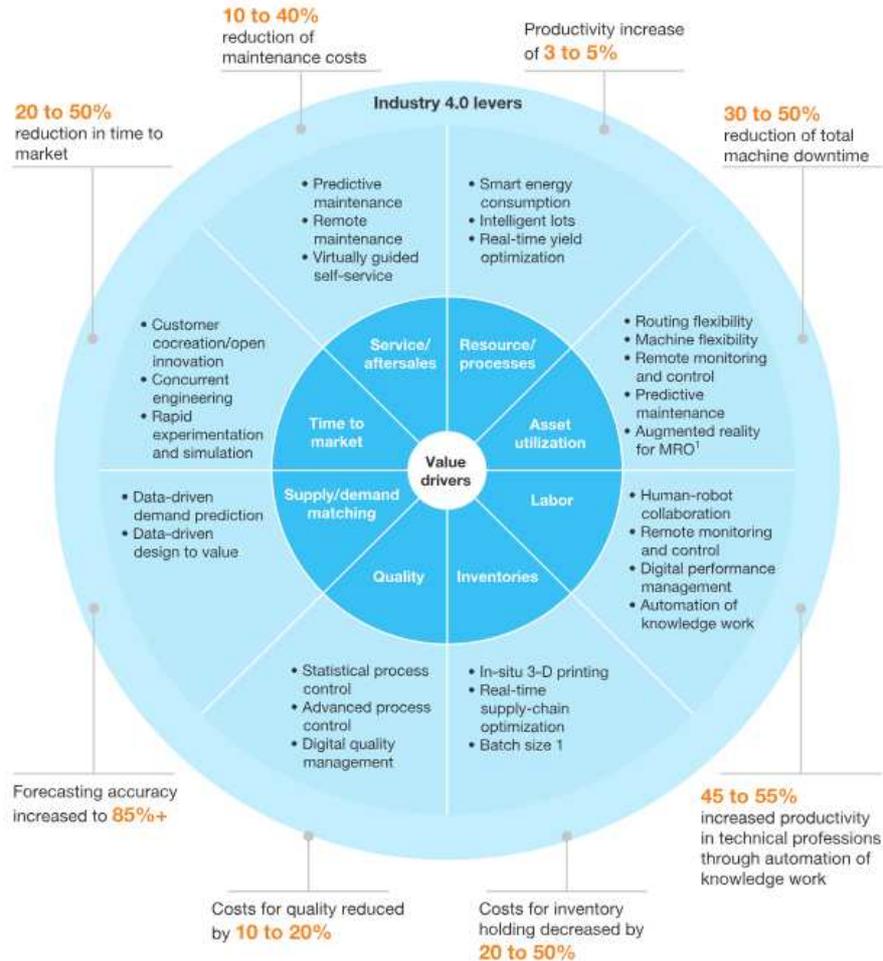
- *Orientación al servicio*: La capacidad de transferir mayor valor directamente al cliente. Este valor significa un mejor producto, servicio novedoso o incluso modelos de negocio mejorados.
- *Modularidad y Flexibilidad*: Flexibilidad y elasticidad para adaptarse constantemente a las necesidades de la industria.

Como resultado de este cambio de paradigma, ¿cómo se ve una empresa en la era de la Industria 4.0 / Digital?



**Figura 1.2-4** Una empresa en la era de la Industria 4.0. Derechos de la imagen de Eurecat. [6].

Si se implementan con éxito, los principios de la Industria 4.0 pueden afectar el rendimiento en una gran cantidad de funciones empresariales. Varios estudios, como McKinsey "Industria 4.0: Cómo navegar por la digitalización del sector manufacturero" han cuantificado esta ganancia de rendimiento. La evaluación de McKinsey se refleja en la Figura 1.2-5.



**Figura 1.2-5** Beneficios del rendimiento de la digitalización en la Industria 4.0 [7].

### 1.2.3 Industria 4.0, Construyendo la empresa digital

Procesos sin papel, aplicaciones robóticas, Internet de las cosas, marketing digital, hábitos digitales de los clientes, aumento del acceso móvil. En el mundo de los negocios de hoy todo el mundo está hablando de tecnologías digitales y transformación digital. Pero, ¿cómo se relaciona con la Industria 4.0?

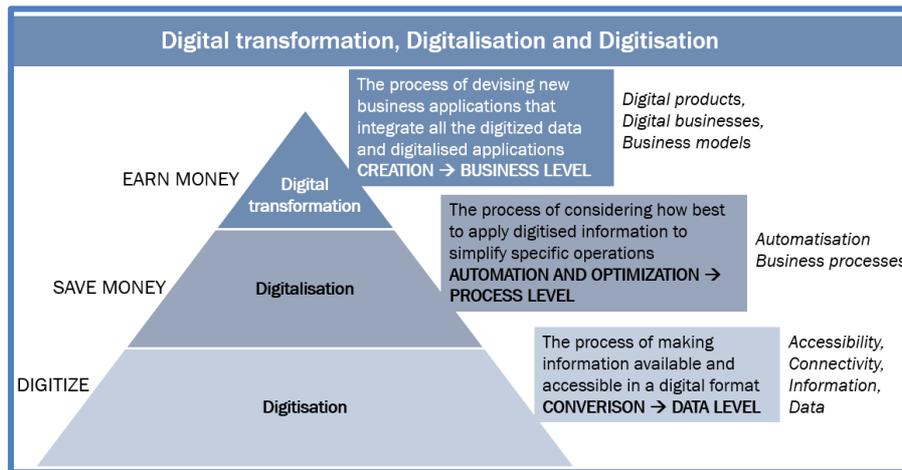
Algunos documentos definen la Industria 4.0 como "*transformación profunda de modelos de negocio al permitir la fusión de herramientas virtuales y físicas y la*

*aplicación de la digitalización, la automatización y la robótica en la fabricación"* (Gotz y Jankowska 2017). En resumen, cuando una organización planea transformarse en una fábrica inteligente, o estar listo para la Industria 4.0, un paso clave es adoptar la digitalización. La industria 4.0 requiere la digitalización de extremo a extremo de todos los activos físicos y la integración en ecosistemas digitales con socios de la cadena de valor. La capacidad de generar, analizar y comunicar datos sin problemas a través de procesos digitalizados es clave para apuntalar las ganancias de la Industria 4.0.

En este contexto, la digitalización, la automatización y la transformación digital son tres términos que tienden a utilizarse erróneamente como sinónimos pero que tienen significados distintivos e importantes. Introduzcamos definiciones clave para comprender mejor el camino progresivo hacia la transformación digital:

- La *digitalización* es la conversión de analógico a digital. La información analógica se codifica y se convierte en bits (es decir, digitalización de datos). La conversión de texto escrito a mano, escrito a máquina o “en papel” en formato digital es el ejemplo más simplista de digitalización. Por ejemplo, para un técnico de servicio que realiza una visita de campo a un cliente, la digitalización implicaría que el técnico puede acceder fácilmente a todos los archivos, informes de reparación y manuales de productos del cliente en formato digital dondequiera que esté y antes, durante y / o después de la visita de campo. La digitalización independiente no necesariamente trae beneficios monetarios (ahorros o ganancias). Sin embargo, es una necesidad para avanzar hacia el camino de la transformación digital.
- La *digitalización* refiere al uso de la tecnología digital en operaciones específicas y el impacto que tiene, generalmente en términos de ahorro de costos (por ejemplo, la digitalización de un proceso reduce la cantidad de bajo valor añadido tiempo humano y esfuerzo). En otras palabras, mientras que la digitalización era simplemente llevar la información al ámbito digital, la digitalización es el proceso de hacer que la información digitalizada funcione para su organización. Volviendo al ejemplo del técnico de servicio, información centralizada sobre el historial del producto y los clientes (problemas anteriores, historial de reemplazo, manuales en línea, contacto con el cliente, etc.) puede ayudar a los técnicos a lograr una solución por primera vez que contribuya a un servicio más suave y eficaz. Por lo tanto, el técnico evita consultar de antemano una inmensa cantidad de papeles obsoletos para obtener una comprensión profunda de las posibles soluciones y problemas que sufre el cliente antes de la visita in situ.
- La *transformación digital* es disponer de una mentalidad digital constante que abarca todos los aspectos del negocio, sin importar su naturaleza (si se trata de un negocio digital o no). La transformación digital conduce a la creación de mercados, nuevos segmentos de clientes y negocios completamente nuevos (capacidades, procesos, ingresos y modelos operativos). La transformación digital no es algo que las organizaciones puedan implementar como proyectos individuales. Más bien implica un impacto transversal en toda la organización:

diseñar nuevos modelos de negocio, racionalizar las operaciones, ingresar a nuevos mercados y cambiar de manera disruptiva la forma en que se realizan las operaciones. Como resultado, la transformación digital puede crear nuevos flujos de beneficios y permitir grandes ahorros en los recursos corporativos más valiosos: dinero y tiempo.

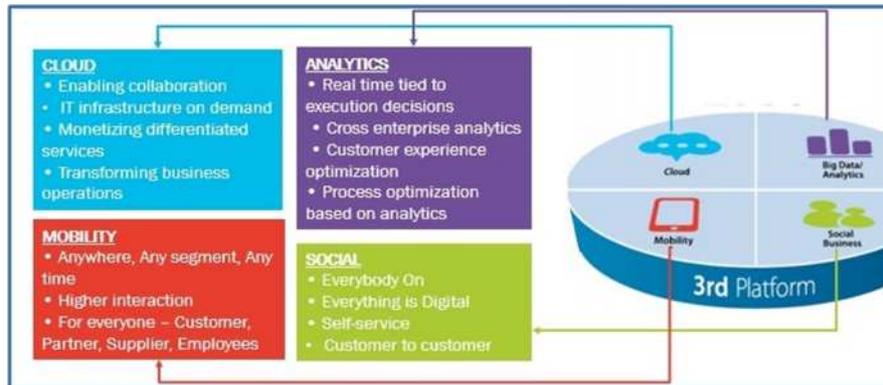


**Figura1.2-6** Transformación digital, digitalización y digitalización. Derechos de la imagen de Eurecat. [8].

En resumen, digitalizamos la información, digitalizamos los procesos y roles que conforman las operaciones de un negocio, y transformamos digitalmente la organización y su estrategia.

### 1.3 Tecnologías de habilitación clave para la industria 4.0

No existe una lista única de tecnologías relacionadas con la Industria 4.0. En los últimos años, muchas consultorías y otras organizaciones han publicado esquemas que representan las principales tecnologías, y cada esquema deriva de perspectivas ligeramente diferentes.

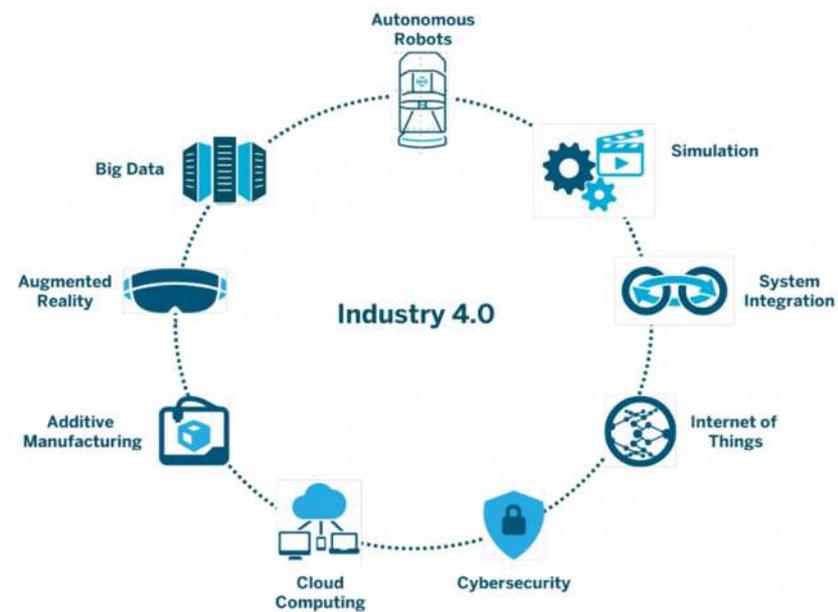


**Figura 1.3-1** Fuerzas SMAC. Derechos de la imagen de Eurecat. [9].

Desde una perspectiva de transformación digital, en 2012, Gartner introdujo el ‘nexus of forces’ **SMAC (Social, Mobile, Analytics y Cloud)** como las tecnologías emergentes que contribuyen a la transformación empresarial digital. En las últimas décadas, las fuerzas impulsoras, detrás de la agilidad empresarial, fueron principalmente **sistemas y habilidades de TI**. Sin embargo, el controlador principal actual es la **información: cómo se obtiene, administra y usa la información**.

DIGIT-T presenta algunas de las tendencias tecnológicas clave más comúnmente conocidas como líderes en el camino hacia fábricas inteligentes, sistemas cibernéticos y cadenas de valor de extremo a extremo a extremo con Internet industrial de las cosas (IoT) e inteligencia descentralizada en fabricación, producción, logística y la industria. Las tecnologías definidas como los 9 impulsores clave o bloques de construcción en la Industria 4.0 comprenden de:

1. Robots autónomos
2. Simulación
3. Integración del sistema
4. Internet de las cosas
5. Ciberseguridad
6. Informática en la nube
7. Fabricación de aditivos
8. Realidad Aumentada
9. Big Data



**Figura 1.3-2** Tecnologías de habilitación clave en I4.0. Derechos de la imagen de Eurecat. [10].

Estas tecnologías ahora se describen brevemente en la presente sección.

Es importante destacar que la Industria 4.0 no se centra en una tecnología específica, sino en cómo utilizar y combinar estas tecnologías para lograr los objetivos planificados por las organizaciones.

En los capítulos siguientes, algunas de estas tecnologías clave se analizarán en mayor detalle para proporcionar una comprensión más profunda sobre cómo y por qué están transformando la producción industrial.

### 1.3.1 El Internet de las cosas

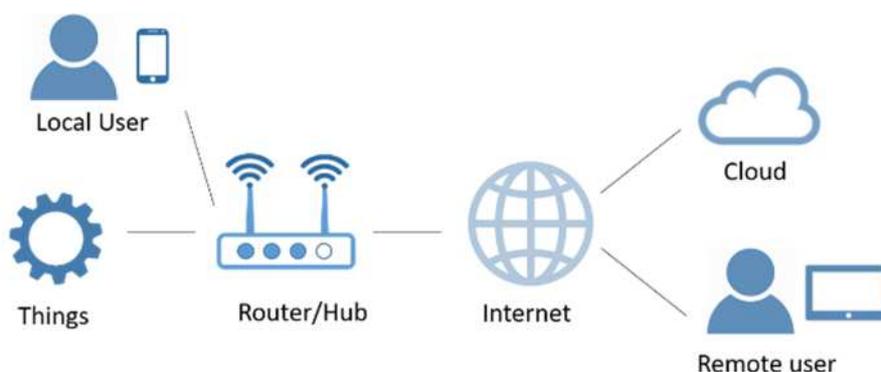
El *Internet de las cosas* (IoT) es la extensión de la conectividad a Internet en dispositivos físicos y objetos cotidianos. Al incorporar electrónica integrada, conectividad a Internet y otras formas de hardware (como sensores) dentro de los dispositivos físicos, son capaces de comunicarse e interactuar con otros dispositivos físicos a través de Internet y pueden ser monitoreados y controlados de forma remota.

IoT tiene muchas aplicaciones diversas en diferentes sectores, como hogares inteligentes, envejecimiento saludable, soporte al sector médico y sanitario, transporte, etc. El término Internet industrial de las cosas (IIoT) se encuentra a menudo en el sector manufacturero, refiriéndose al subconjunto industrial del IoT.

A través del IIoT es posible conectar cualquier elemento de una planta industrial, transmitiendo y/o recibiendo información, lo que permite el monitoreo y control en tiempo real y el posterior análisis de datos. Los elementos que se pueden conectar incluyen elementos dentro de la planta como maquinaria, personal, herramientas y materias primas, junto con elementos externos como vehículos, productos manufacturados e incluso clientes.

Hay varios bloques de construcción básicos involucrados en el desarrollo de una aplicación IoT:

1. *Los dispositivos conectados*: Los dispositivos físicos que queremos controlar y administrar.
2. *La puerta de enlace*: el elemento que conecta el dispositivo a Internet.
3. *Internet*: La infraestructura que permite que los objetos y otros elementos como computadoras, servidores y centros de datos se comuniquen entre sí.
4. *La nube*: El conjunto de servidores y centros de datos que contienen la plataforma donde se almacena y procesa la información.
5. *La App o Software*: las aplicaciones de IoT suelen tener una App que permite a los usuarios interactuar con la plataforma y visualizar los resultados, controlar los dispositivos, etc.



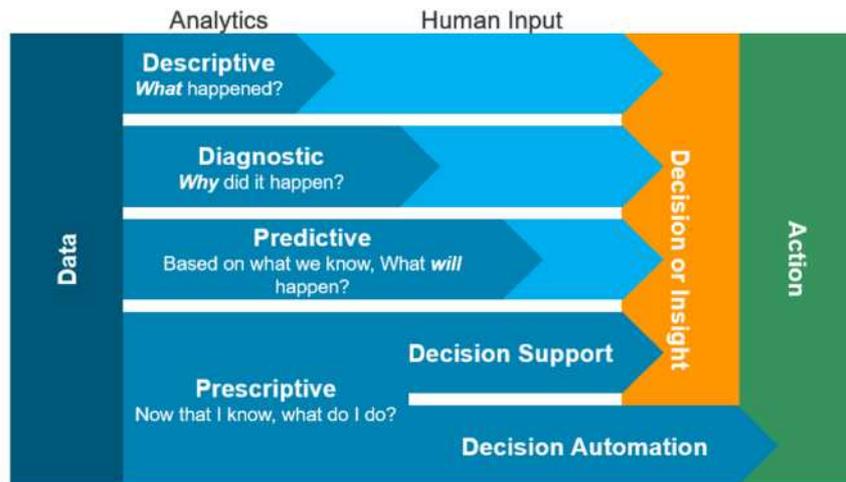
**Figura 1.3-3** Elementos de IoT. Derechos de la imagen de Eurecat [11].

### 1.3.2 Análisis y Big Data

*El análisis de datos* es la ciencia del análisis de datos en bruto para sacar conclusiones sobre esa información, capaz de permitir a las empresas optimizar su rendimiento. Como se ilustra en Figura 1.3-4, análisis de datos se divide en cuatro tipos diferentes:

- *Análisis descriptivo*: Describe lo que ha sucedido durante un período de tiempo determinado.
- *Análisis de diagnóstico*: se centra más en por qué sucedió algo.

- *Análisis predictivo*: se concentra en lo que es probable que suceda a corto plazo.
- *Análisis prescriptivo*: sugiere un curso de acción.



**Figura 1.3-4** Tipos de Data Analytics. Derechos de la imagen de Eurecat [12].

El primer tipo, el análisis descriptivo, requiere más intervención humana, dado que la persona en cuestión debe entender el problema, tomar decisiones y finalmente actuar. En el otro extremo, el análisis prescriptivo, la intervención humana es mínima, porque el sistema es capaz de sugerir un curso de acción o incluso tomar una decisión por sí mismo.

El término *Big Data* se refiere a una enorme cantidad de información diversa que está más allá de la capacidad de los sistemas de base de datos convencionales para administrar y analizar en un período de tiempo específico.

*Big Data* es un conjunto de tecnologías, algoritmos y sistemas diseñados para cotejar grandes cantidades de datos distintos de los cuales se extrae información valiosa mediante el empleo de sistemas analíticos avanzados de alta velocidad en tiempo real. En un escenario industrial, las fuentes de información son múltiples y diversas: sensores, equipos e instalaciones, interfaces *hombre-máquina* HMI, aplicaciones y sistemas de información, operadores, web, redes sociales, correos electrónicos, cámaras, etc.

*Big Data* generalmente se define por las "5 V" que se refieren a:

1. *Volumen*: El tamaño de los datos generados.
2. *Velocidad*: La velocidad a la que se generan, recopilan y analizan los datos.
3. *Variedad*: Los diferentes tipos de datos recogidos.
4. *Veracidad*: Confiabilidad de los datos en términos de exactitud.
5. *Valor*: Solo tener grandes datos no sirve de nada a menos que estos sirvan para generar valor.

Dentro de este contexto de Big Data, la aplicación de Inteligencia Artificial y particularmente de técnicas de aprendizaje automático, utilizando algoritmos matemáticos, permite el desarrollo de sistemas de aprendizaje automático con el objetivo de crear sistemas de recomendación expertos que nos ayuden a tomar mejor decisiones.

El *aprendizaje automático* es el estudio científico de algoritmos y modelos estadísticos que los sistemas informáticos utilizan para realizar una tarea específica de manera efectiva sin usar instrucciones explícitas, basándose en patrones e inferencia.

Tanto el Big Data como el aprendizaje automático son herramientas clave y de gran importancia con diversos usos en la industria. Ofrecen muchas ventajas que incluyen el soporte y la automatización de la toma de decisiones, la planificación inteligente del trabajo dentro de una fábrica, la configuración automática de las máquinas según las órdenes de trabajo, la optimización del control de calidad y el mantenimiento predictivo y prescriptivo.

### **1.3.3 Computación en la nube (*cloud computing*)**

La computación en la nube implica un cambio de paradigma en relación con el modelo tradicional que siempre se ha basado en la adquisición e instalación progresiva de nuevo hardware y que, como resultado, es extremadamente limitado debido a su costo (por ejemplo, compra de equipos, licencias de software, mantenimiento, etc.).

La *computación en la nube* permite el uso de servicios informáticos a través de una red, generalmente Internet, de tal manera que la empresa solo paga por los recursos que utiliza, haciendo que sea técnica y económicamente viable obtener acceso a grandes recursos informáticos.

El modelo ofrece importantes ventajas para una empresa, ya que le permite acceder únicamente a aquellos recursos que se requieren de manera ágil y rentable, pero con la ventaja adicional de tener la capacidad de ajustar la escala y/o aumentar los recursos según sea necesario en cada momento.

El modelo basado en la nube es un elemento clave para poder obtener otras tecnologías como Big Data, técnicas de aprendizaje automático o simulación, y por lo tanto es indispensable para cualquier industria que desee adoptar el I4.0.

La nube también es extremadamente útil para facilitar el intercambio de datos a través de distintos sitios de la empresa y sin límites geográficos. A lo largo de los años el rendimiento de las tecnologías en la nube seguirán mejorando, logrando tiempos de reacción de milisegundos. Como resultado, los datos de la máquina y la funcionalidad se implementarán cada vez más en la nube, lo que permitirá un aumento constante de los servicios basados en datos para los sistemas de producción.

### 1.3.4 Ciberseguridad

La *ciberseguridad* es un elemento indispensable sin el cual la adopción de I4.0 no se puede abordar con éxito. Con la mayor conectividad que resulta de la Industria 4.0, es necesario proteger los sistemas industriales críticos y las líneas de producción de las amenazas cibernéticas.

Los tres pilares principales de la seguridad de la información son Confidencialidad, Integridad y Disponibilidad, también conocida como la tríada de la CIA:

1. *Confidencialidad*: Sólo las personas con la autorización legítima para acceder a la información requerida deben estar autorizadas a hacerlo. El objetivo de la confidencialidad es evitar que las personas equivocadas accedan a los datos confidenciales.
2. *Integridad*: Este principio busca garantizar la precisión, fiabilidad y validez de la información a lo largo de su ciclo de vida.
3. *Disponibilidad*: La disponibilidad se refiere a que la información es accesible para el personal autorizado cuando sea necesaria.

En este sentido, es necesario que las empresas adopten modelos de seguridad que respeten los conjuntos de normas relevantes existentes, en particular IEC 62443, una serie de normas que incluyen informes técnicos para asegurar los sistemas de automatización y control industriales [13]. Por otro lado, también es importante que las empresas adopten el concepto de *seguridad por diseño*, por el cual la seguridad se tenga en cuenta desde las primeras etapas del diseño y conceptualización de nuevos productos, procesos, sistemas y servicios. Por lo tanto, mediante la incorporación de medidas y criterios de seguridad desde el principio, es posible minimizar y, en gran medida, evitar riesgos e impactos frente a posibles ataques o accidentes futuros a medida que todo el sistema crece y evoluciona.

### 1.3.5 Integración del sistema horizontal y vertical

La *integración vertical* consiste en integrar sistemas de producción en otras áreas y departamentos de una empresa (por ejemplo, gestión, ventas, finanzas, recursos humanos, producción, etc.). Por otra parte, la *integración horizontal* consiste en integrar toda la cadena de valor del ciclo de vida del producto, incluyendo así una interacción entre proveedores, socios y clientes.

### 1.3.6 Realidad Aumentada

La forma en que uno interactúa con computadoras y máquinas está a punto de cambiar en las próximas décadas. El término *Interfaz hombre-máquina* (HMI) describe los métodos en los que las personas interactúan con las computadoras.

Según Gartner, la *Realidad Aumentada* es el uso en tiempo real de la información en forma de texto, gráficos, audio y otras mejoras virtuales integradas con objetos

del mundo real. La creación de realidades mixtas en tiempo real que combinen el mundo real con elementos virtuales ofrece aplicaciones extraordinarias en el entorno industrial y facilita el trabajo y la productividad de los trabajadores al proporcionarles la capacidad de interactuar y acceder a información de interés, *in situ* y de manera sistemática, perteneciente a cualquier elemento real.

Las aplicaciones de realidad aumentada son numerosas. Incluyen instrucciones paso a paso sobre cómo ensamblar un producto, personal de campo que recibe ayuda de expertos en ubicaciones remotas, capacitación, control de calidad, control de rendimiento y productividad, inventario, etc. La tecnología de realidad aumentada incluso permite a los empleados novatos identificar problemas y realizar reparaciones siguiendo las instrucciones paso a paso.

Otro tipo de HMI es la *realidad virtual*. La Realidad Aumentada altera la percepción continua de un entorno del mundo real, mientras que la Realidad Virtual reemplaza por completo el entorno del mundo real del usuario con uno simulado. La realidad virtual se emplea principalmente para la formación (por ejemplo, en la gestión de situaciones de riesgo) y para la creación de prototipos industriales.

### 1.3.7 Simulación

Una *simulación* es un modelo o ejemplo representativo de la operación de un proceso, sistema u objeto a lo largo del tiempo. La simulación de productos con prototipos virtuales permite la optimización de la fase de diseño de nuevos productos con una minimización de los costos de desarrollo y una reducción en la duración del período de comercialización. Las técnicas de modelización de productos 3D también permiten la implementación de controles de calidad de alta precisión (por ejemplo, metrología) de los productos manufacturados.

La reproducción virtual de una fábrica (que puede incluir máquinas, productos y humanos), mediante la cual se modela el rendimiento de la planta en cuestión, permite la evaluación en razón de costos y plazos de la idoneidad de diferentes alternativas de configuración en la planta y un análisis de su capacidad de respuesta actual frente a diferentes escenarios de demanda previstos.

### 1.3.8 Fabricación aditiva

La *fabricación aditiva* se basa en la creación capa por capa de un objeto mediante el uso de diferentes materiales (por ejemplo, plástico, resina, metal, etc.) con el que es posible reproducir cualquier modelo 3D como un objeto real.

Esto implica un cambio de paradigma porque permite:

- La redefinición de los procesos de fabricación ya que permite la producción sin moldes ni herramientas.
- La minimización o eliminación de piezas de montaje, reduciendo así la cantidad de material empleado para obtener objetos y componentes mucho más ligeros.
- Flexibilidad y rápida adaptación a los cambios continuos en la demanda.

- Hiperpersonalización de productos y viabilidad de la producción de lotes reducidos.
- La capacidad de descentralización que permite la producción cercana a los clientes específicos, reduciendo así el coste de transporte y la logística asociada.

### 1.3.9 Robots autónomos

Los *robots autónomos* son la aplicación de sistemas robóticos capaces de realizar tareas con autosuficiencia, sin control humano explícito. Según la Federación Internacional de Robótica (IFR), la demanda de más productividad, la necesidad de trabajar con estándares más estrictos tanto en los procesos industriales como en los productos resultantes, la tendencia hacia la personalización masiva, los requisitos de miniaturización y la evolución hacia ciclos de vida más cortos del producto ha impulsado el uso de aplicaciones robóticas en los últimos años.

Uno de los segmentos más prometedores en los robots autónomos son los *robots colaborativos* (a menudo denominados *cobots*). Estos son robots industriales diseñados específicamente para trabajar junto a los humanos en un espacio de trabajo compartido y para realizar tareas en colaboración con ellos. Estos robots están diseñados con una variedad de características técnicas que aseguran que no causan daño cuando un trabajador entra en contacto directo. Estas características incluyen materiales livianos, contornos redondeados y sensores en la base del robot y juntas que miden y controlan la fuerza y la velocidad, y aseguran que no excedan los umbrales definidos si se produce contacto.

La robótica colaborativa permite a los fabricantes mejorar la productividad mediante el uso de robots para complementar las habilidades humanas, aliviando a los trabajadores de muchas tareas no ergonómicas y tediosas y se puede utilizar para automatizar partes de una línea de producción con muy pocos cambios en el resto del proceso.

Según IFR, el mercado de robots colaborativos todavía está en su infancia. Los resultados preliminares muestran que, a pesar de las afirmaciones de los medios de comunicación, menos del 4% de los 381,000 robots industriales instalados a nivel mundial en 2017 eran cobots. Pero se espera que este porcentaje crezca en un futuro próximo cuando la industria descubra sus beneficios potenciales.

## 1.4 Abrazando la tecnología: estudios de casos prácticos

Como se destacó anteriormente, una empresa no necesita ser una gran empresa o una multinacional para beneficiarse de las ventajas de la adopción de tecnología, siempre y cuando la tecnología adoptada proporcione soluciones útiles para satisfacer necesidades y desafíos. De hecho, la tecnología permite la creación y entrega de valor no solo a los clientes sino también a los empleados o incluso a las partes interesadas en general.

En la sección anterior se identificaron habilitadores tecnológicos clave. En esta sección se examinan estos aspectos en la práctica utilizando algunos ejemplos básicos que ilustran el impacto que la adopción de la tecnología puede tener en los modelos de negocio de las empresas y la creación de valor. Estos ejemplos se derivan de diversos sectores y aplicaciones. A propósito, principalmente fuera del campo de la fabricación, lo que podría servir de inspiración si los principios clave se transfieren al sector de la manufactura.

#### **1.4.1 Uso de datos abiertos – iniciativa de los taxis en Zaragoza**

*La Iniciativa de los Taxis de Zaragoza es un ejemplo de cómo entregar valor tanto a clientes como a empleados.*

Mediante el uso de la apertura de bases de dato en abierto, algunas compañías de taxis son capaces de mejorar el rendimiento de sus operaciones. Por ejemplo, en la ciudad de Zaragoza, España, una empresa de taxis está utilizando los datos abiertos disponibles en el sitio web del municipio para mejorar sus servicios. Todos los días la empresa de taxis descarga todos los datos públicos relacionados con actividades programadas (como conferencias, conciertos, juegos deportivos, etc.) en la ciudad. La compañía de taxis recopila y procesa esa información para resumir actividades, lugares, horarios, etc.

La compañía también ha desarrollado una aplicación para sus taxistas para que puedan ser enviados a los lugares en el momento adecuado (justo después del final de la actividad) para recoger clientes potenciales. Al hacerlo, la compañía puede generar valor para que sus conductores mejoren sus posibilidades de atraer clientes y evitar la conducción improductiva por la ciudad. Paralelamente, también aporta valor a los clientes que no tienen que llamar ni esperar a que los taxis lleguen a sus sedes.

#### **1.4.2 Optimizando el Control de Inventario – Casa Viva**

*Este ejemplo muestra cómo la tecnología es capaz de construir y aportar valor para los empleados al tiempo que mejora el rendimiento de la empresa mediante la simplificación de las operaciones internas.*

Casa Viva es un minorista español de decoración para el hogar con 36 tiendas en España y Andorra. Anteriormente, los empleados administraban el control de inventario con un PDA específico para estos fines.

Recientemente, la compañía ha introducido teléfonos inteligentes como dispositivo para verificar y controlar todos sus productos. Los empleados utilizan un teléfono inteligente normal (como el que tienen en su vida personal) con una aplicación integrada para realizar un seguimiento de la disponibilidad y ubicación de diferentes productos simplemente tomando fotografías de sus etiquetas con códigos incrustados.

La introducción, actualización y búsqueda de datos del producto se ha vuelto mucho más simple. Además, en este caso particular, la transformación digital se ha caracterizado como un proceso de implementación sin problemas, ya que los

empleados no necesitan acostumbrarse a una nueva tecnología. En cambio, están usando teléfonos inteligentes de la misma manera que los usan en sus vidas normales.

#### **1.4.3 Vehículos Robot Terrestre para la Agricultura – Mas Llunes/ Grape Project**

*Un aspecto relevante en los negocios es el impacto ambiental y las formas de reducir la cantidad de emisiones químicas.*

Además de los robots que se utilizan en la industria manufacturera, también se están introduciendo en otros sectores, como la agricultura. Además de su utilidad para realizar tareas pesadas en el campo, las prácticas agrícolas de precisión pueden reducir significativamente el impacto ambiental de la agricultura debido a la aplicación excesiva de productos químicos.

Mas Llunes, una empresa de viñedos, ha introducido vehículos terrestres no tripulados (en el contexto del proyecto UE H2020 GRAPE [14]) para aplicar pesticidas y fungicidas con alta precisión, ahorrando grandes cantidades de esos productos químicos y evitando que la plantación se exponga innecesariamente a ellos. El robot es capaz de distribuir hasta 500 dispensadores de feromonas y asignarlos en las ramas de la vid mediante el uso de un brazo articulado. El propósito de los dispensadores es rociar las feromonas con precisión para controlar las plagas.

Las capacidades avanzadas de detección también permiten monitorear a nivel de la planta: el robot puede monitorear el estado de salud del viñedo, rastrear los colores de las hojas, la sequedad y ayudar a los propietarios a tomar decisiones sobre la plantación y los tratamientos.

#### **1.4.4 Gestión de Riesgos – Proyecto IDP / BIM4Safety**

*Un factor importante para las empresas es la gestión de riesgos. Riesgo en términos de seguridad de las personas y en términos de seguridad de los activos.*

Para las actividades industriales en general, y en la industria de la construcción en particular, existe un alto riesgo de lesiones y muertes debido a la colocación peligrosa de personas y maquinaria. También existe preocupación por la ubicación de las personas en caso de un problema importante cuando la construcción ocupa grandes cantidades de espacio (como en la construcción de infraestructura civil).

Empresas como IDP, una empresa de ingeniería, han introducido una combinación de BIM (Building Information Modelling) con Internet de las Cosas para mejorar la seguridad y la gestión de riesgos. BIM son programas informáticos capaces de modelar y gestionar las características físicas y funcionales de los lugares (principalmente edificios). Están diseñados para ayudar a los profesionales de la arquitectura, la ingeniería y la construcción a planificar, diseñar y administrar de manera eficiente esos edificios y sus infraestructuras.

Mediante la combinación de las funcionalidades de BIM con los beneficios del Internet de las Cosas las empresas pueden integrar dentro del mismo software de control, no sólo los activos estáticos (paredes, tuberías, etc.) sino también bienes

muebles como maquinaria e incluso también trabajadores. Los sensores y dispositivos portátiles están unidos a personas y activos físicos para rastrear su ubicación. La localización en tiempo real se puede utilizar cuando sea necesario (por ejemplo, para inventario, en caso de peligro para planificar ruta de salida, planificación de diseño e usos de espacios, etc).

#### **1.4.5 Drones para la inspección de alcantarillado – FCC**

*La disminución de los costos de operaciones y mantenimiento es una preocupación relevante para poder sobrevivir en un mercado cada vez más competitivo.*

Fomento de Construcciones y Contratas (FCC) es una empresa española que ofrece servicios de saneamiento urbano a municipios y operadores de infraestructuras civiles. Un dron, que de hecho es un micro vehículo aéreo no tripulado (MAV) equipado con sensores de navegación, tiene como objetivo reducir los riesgos laborales asociados con las operaciones y las actividades de mantenimiento, así como reducir los costos de mantenimiento, gracias a inspecciones más rápidas y precisas.

Los drones también pueden llegar a áreas a las que no se puede acceder con vehículos terrestres, principalmente debido al polvo y el agua de lluvia, túneles estrechos, obstáculos físicos, gases, etc. Los drones son ideales para áreas de difícil acceso o peligrosas para los seres humanos; estos vehículos pueden trabajar en túneles de hasta 80 cm de ancho y alto.

Dichos drones pueden inspeccionar 300 metros en 10 minutos. Por lo tanto, permite a los equipos inspeccionar casi 2,5 km por día con una reducción drástica de costos e inconvenientes, y el aumento de la productividad.

También se fomenta la productividad ya que la cantidad de datos que el dron puede recopilar al registrar la inspección completa en video para su posterior procesamiento es mucho mayor que si los humanos lo adquieren.

El dron opera en modo de vuelo autónomo, pero se puede ver desde el exterior de los túneles para tomar decisiones en caso de que se necesiten algunas medidas y observaciones específicas. Como no hay GPS o señales de posicionamiento externas disponibles, el dron tiene que calcular su posición y velocidad por sí mismo.

#### **1.4.6 Mejora de la monitorización del paciente – Skintemp**

*Mejorar la usabilidad y la comodidad de los usuarios es un tema clave cuando se trata de entregar valor o utilidad.*

SkinTemp está produciendo y vendiendo una tira con un sensor, similar a un yeso. Ese sensor es capaz de medir la temperatura corporal, el nivel de glucosa, la saturación de oxígeno en la sangre, la frecuencia cardíaca e incluso la presión arterial. Además, el usuario puede leer (y registrar) el estado y la evolución de todos esos indicadores en una aplicación disponible para teléfonos inteligentes.

Dado que la tira es un dispositivo realmente pequeño, se puede usar discretamente y cómodamente durante mucho tiempo, es muy conveniente para la población en general, pero especialmente para niños o personas mayores que tienen más problemas para usar un termómetro normal en muestras repetidas.

#### **1.4.7 Encontrar nuevos canales de distribución – Homeplus by Tesco**

*Este ejemplo considera el valor y la utilidad para los consumidores.*

Homeplus es una cadena de supermercados de Corea del Sur propiedad de Tesco hasta 2015 cuando Tesco finalmente vendió la compañía al fondo de inversión MBK Partners.

Cuando Tesco y Homeplus aterrizaron en Corea del Sur, su principal preocupación era conseguir una posición en la mente del consumidor surcoreano y, por lo tanto, cómo diferenciarse de sus competidores. Tesco se dio cuenta de que Corea es una sociedad muy trabajadora: los coreanos permanecen en el lugar de trabajo hasta tarde. También se dieron cuenta de que los coreanos pasan mucho tiempo viajando en transporte público, principalmente en trenes o en el metro. Como resultado, también pasan mucho tiempo esperando en las plataformas y no les queda mucho tiempo para ir de compras en el supermercado. De hecho, cuando van de compras, también experimentan supermercados superpoblados y largas colas en los mostradores.

Tesco y Homeplus tuvieron la brillante idea de replicar los supermercados en las plataformas subterráneas para que los coreanos pudieran maximizar su tiempo de espera en el sistema de transporte público.

Tesco replicó los estantes de sus supermercados cubriendo las paredes con vallas publicitarias que contenían el mismo diseño de productos y los mismos diseños de envases. Las imágenes de los productos también incluyeron un código QR incrustado para que las personas pudieran comprar simplemente tomando una foto del código, agregándolo a su carrito de compras y terminando el proceso con un simple clic.

En el momento en que los clientes llegaron a casa el producto es entregado a su puerta. Con esta sencilla innovación los clientes pueden aprovechar al máximo su tiempo transformando su tiempo de espera en tiempo de compra.

## **1.5 Conclusion**

La industria 4.0 comenzó en Alemania en 2011 y se expandió progresivamente a otros mercados europeos e internacionales. El objetivo final detrás de cualquier iniciativa que fomente la Industria 4.0 es conectar y transformar los sistemas físicos con la tecnología cibernética para ganar adaptabilidad, flexibilidad y eficiencia de producción. La era actual de cambio tecnológico difiere de las revoluciones anteriores no solo por la tecnología en sí sino también por el grado de interconexión, la velocidad de aceleración y la incertidumbre de ese cambio. La industria 4.0 es la digitalización sistemática de los procesos de una organización, combinando

tecnologías digitales e industriales con procesos de transformación empresarial. Finalizamos el capítulo pasando de la teoría a la práctica: cubriendo algunos casos prácticos de empresas que digitalizan sus procesos bajo el ámbito I4.0.

**Términos de acceso (Open Access)** Este capítulo se distribuye bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, duplicación, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre que dé el crédito apropiado al autor o autores originales y la fuente, se menciona y proporciona un enlace a la licencia Creative Commons y se indica cualquier cambio realizado.

Las imágenes u otro material de terceros en este capítulo están incluidos en la licencia Creative Commons del trabajo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito de cada material; Si dicho material no está incluido en la licencia Creative Commons de la obra y la acción respectiva no está permitida por la normativa legal, los usuarios deberán obtener permiso del titular de la licencia para duplicar, adaptar o reproducir dicho material

## 1.6 Referencia

- [1] Fuente: Equipo de Estrategia de Citi Digital.
- [2] Fuente: CB Insights
- [3] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. And Hoffmann, M. (2014) 'Industry 4.0.' Business And Information Systems Engineering, 6(4), Pp. 239–242
- [4] VIDEO: WHAT IS THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION? – World Economic Forum. Mundial.  
[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=570&v=kpW9JcWxKq0](https://www.youtube.com/watch?time_continue=570&v=kpW9JcWxKq0)
- [5] Fuente: Roland Berger
- [6] Basado en: “Document Model maduresa per l’adopció de la Indústria 4.0 en l’empresa (SmartCatalonia, creado por el Centro Tecnológico Eurecat). [http://smartcatalonia.gencat.cat/web/.content/02\\_Projectes/documents/SmartCAT\\_Model-maduresa-I4.0.pdf](http://smartcatalonia.gencat.cat/web/.content/02_Projectes/documents/SmartCAT_Model-maduresa-I4.0.pdf)
- [7] Fuente: ““Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector.” McKinsey Digital 2015. Mckinsey&Company
- [8] Fuente: Creación propia Inspirado por: Api Gestión de Productos.
- [9] Fuente: ¿Qué significa la industria 4.0 para los fabricantes? Gráfico de Aethon inspirado en la discusión del grupo de Boston Consulting Group Discussion On Industry 4.0
- [10] Fuente: ¿Qué significa la industria 4.0 para los fabricantes? Gráfico de Aethon inspirado en la Boston Consulting Group Discussion On Industry 4.0
- [11] Fuente: Inspirado Por  
<Http://Archive.Rtcmagazine.Com/Articles/View/106730>
- [12] Fuente: Adaptado del Informe Gartner Julio 2015

- [13] IEC- Comisión Electrotécnica Internacional. Documentación disponible públicamente en: <https://webstore.iec.ch/searchform?q=IEC%2062443>
- [14] Sitio web del proyecto de GRAPE: [www.grape-project.eu](http://www.grape-project.eu)



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



"El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido que refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo"

Sistema de formación en fabricación Digital para Pymes (Digit-T)  
Referencia del proyecto: 2017-1-UK01-KA202-036807