



Oportunidades Industria 4.0 en Galicia

Convenio de
colaboración entre el
Instituto Gallego de
Promoción
Económica, la Alianza
Tecnológica
Intersectorial de
Galicia y los centros
integrantes de esta
alianza para la
detección y análisis de
oportunidades
sectoriales para las
empresas industriales
gallegas en el ámbito
de la industria 4.0



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN	6
1.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES	8
1.2.1 Ventajas	8
1.2.2 Limitaciones	10
1.3 TENDENCIAS	15
1.3.1 De las redes de sensores a Internet de las Cosas	15
1.3.2 Plataformas y ecosistemas de complementadores	16
1.4 APLICACIONES ACTUALES	18
2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA	21
2.1 TECNOLOGÍAS CLAVE Y HABILITADORAS	21
2.1.1 Conectividad	21
BUS DE CAMPO	22
LUGAR DE ORIGEN	22
AÑO DE INTRODUCCIÓN	22
ESTÁNDAR	22
2.1.2 Dispositivos IoT	25
2.1.3 Sistemas operativos y su aplicación en IoT	28
2.1.4 Cloud	28
2.1.5 Big Data y análisis de datos	30
2.2 ARQUITECTURAS IoT	31
2.2.1 Patrones de arquitectura	32
2.2.2 IoT-A	35
2.2.3 AIOTI	38
2.2.4 RAMI 4.0	40
2.2.5 IIRA	46
2.3 CADENA DE VALOR DE IOT	49
2.3.1 Relaciones entre los agentes de la cadena de valor	51
2.3.2 Modelos de negocio en IoT	53
2.3.3 Big players	58
2.4 PLATAFORMAS IOT	62

2.4.1	Plataformas centradas en la nube.....	63
2.4.2	Plataformas industriales.....	65
2.4.3	Plataformas de código abierto.....	68
2.4.4	Plataformas de start-ups	70
3.	APLICACIONES POR SECTOR	71
3.1	AGROALIMENTACIÓN Y BIO	71
3.2	AUTOMOCIÓN	73
3.3	MADERA / FORESTAL.....	74
3.4	NAVAL.....	75
3.5	METALMECÁNICO.....	77
3.6	TEXTIL / MODA.....	78
3.7	AERONÁUTICO	80
3.8	TIC	81
3.9	ENERGÍAS RENOVABLES.....	83
3.10	PIEDRA NATURAL	85
4.	CONCLUSIONES / IMPACTO EN LA INDUSTRIA	86
4.1	RETOS QUE PRESENTAN LAS TECNOLOGÍAS EN LA ACTUALIDAD	86
4.2	PERSPECTIVAS A MEDIO Y LARGO PLAZO	86
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	93

1. INTRODUCCIÓN

Las definiciones del término de **Internet de las Cosas** son múltiples y variadas debido a la multitud de conceptos que se engloban bajo el mismo además de la variación con el tiempo de las tecnologías consideradas dentro de este paraguas. De esta forma, se pueden encontrar definiciones como la del **IEEE¹ (Institute of Electrical and Electronic Engineers)**: “una red de objetos, cada uno dotado de sensores, que se encuentran conectados a Internet” , la de la **ITU (International Telecommunication Union)**, que considera a IoT como una red “disponible en cualquier lugar, en cualquier momento, por cualquier cosa y por cualquier persona” o la de la **IETF (Internet Engineering Task Force)**, más concreta y completa que las anteriores: “la idea básica es que Internet de las Cosas conectará a los objetos que nos rodean (electrónicos, eléctricos y no eléctricos) para proporcionar comunicaciones constantes y servicios contextuales expuestos por ellos. El desarrollo de tags RFID, sensores, actuadores o teléfonos móviles hacen posible materializar una Internet de las Cosas que interactúan y cooperan entre sí para hacer mejores servicios, accesibles en cualquier momento y lugar”.

Por otro lado, la IETF proporciona también una definición para el término “**cosas**”: “En la visión IoT, las cosas pueden ser de diversos tipos como ordenadores, sensores, gente, actuadores, neveras, TVs, vehículos, teléfonos móviles, ropa, comida, medicinas, libros, etc. Estas cosas se clasifican en tres niveles: gente, máquinas (por ejemplo sensores, actuadores, etc.) e información (por ejemplo, ropa, comida, medicinas, libros, etc.). Estas cosas deben identificarse al menos de una manera unívoca con el fin de direccionarlas, comunicarse entre sí y verificar sus identidades”.

Llevando estas definiciones al mundo industrial, se puede entender al **Internet de las Cosas Industrial** (Industrial Internet of Things, IIoT) como un nuevo paradigma en el que los diversos elementos clásicos desplegados en una planta de producción como PLCs, SCADAs, MES u otros sistemas no sólo disponen de capacidades de conectividad e interacción mejoradas entre sí, sino que también son capaces de conectarse con el mundo exterior e interactuar con otros sistemas de la cadena de valor con las medidas de seguridad oportunas para garantizar la protección, fiabilidad y confidencialidad de la información.

¹ IEEE, Towards a definition of the Internet of Things(IoT), Online: <http://iot.ieee.org/definition.html>

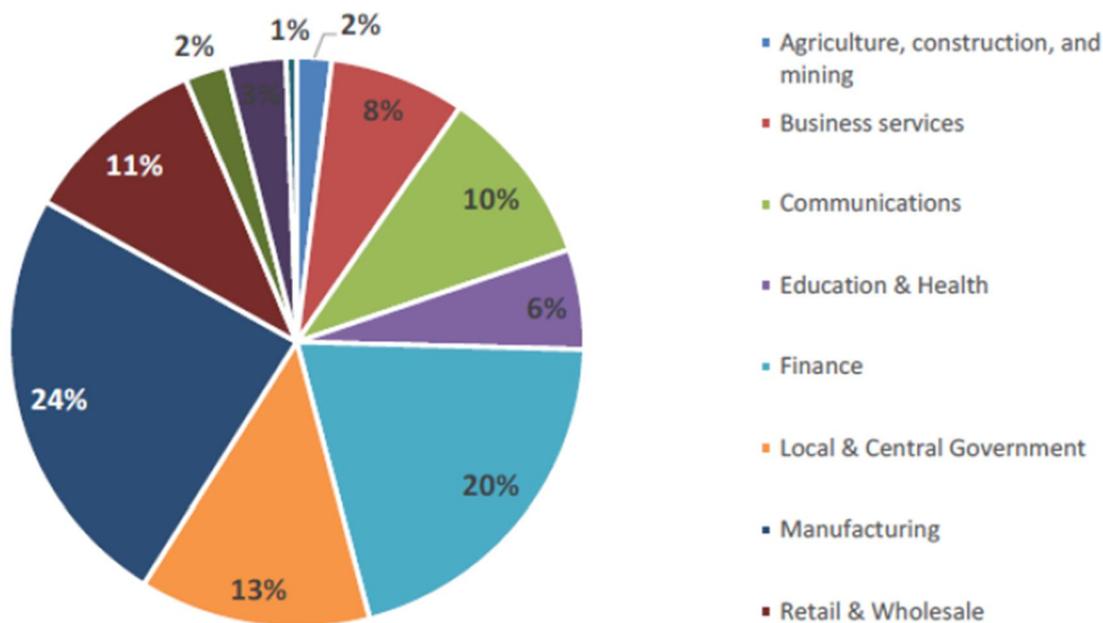


ILUSTRACIÓN 1: APLICACIÓN DE IOT POR VERTICAL EN 2020. FUENTE: AIOTI

Aunque el paradigma IoT es de aplicación en múltiples dominios con características dispares, tal y como se refleja en la ILUSTRACIÓN 1, el sector que se espera que haga un mayor uso de las tecnologías IoT durante los próximos años será el de **fabricación**.

En cuanto a los **sistemas ciberfísicos (CPS)**, no existe una clara separación en su definición de la de Internet de las Cosas. En múltiples fuentes se tratan ambos términos como el mismo concepto, en especial en los Estados Unidos². Sin embargo, según el IEEE³ ambos son conceptos distintos. Un sistema ciberfísico es la combinación de diversos componentes con capacidades computacionales que interaccionan con un medio físico a través de diversas interfaces (sensores y actuadores), permitiendo el control sobre diversas variables. Generalmente, hacen uso de información compartida y de proceso con esta finalidad y disponen también de capacidad para almacenarla. En resumen, los CPS se encuentran más orientados hacia la realización de **actividades colaborativas** con el objetivo de mejorar una eficiencia, principalmente en entornos de tipo industrial, mientras que IoT abarca un espectro más amplio en el que el foco se centra en el acceso único de las “cosas” a Internet, requisito no necesario para los CPS.

La aplicación de los sistemas ciberfísicos a los sistemas de producción se conoce como **CPPS (Cyber Physical Production Systems)**⁴. En este caso, el uso de dichos sistemas en un entorno de producción provoca una

² El NIST (National Institute of Standards and Technology), por ejemplo, considera a los sistemas ciberfísicos como un concepto parejo al de Internet de las Cosas.

³ IEEE, Towards a definition of the Internet of Things (IoT). Online: <http://iot.ieee.org/definition.html>

⁴ Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9-13.

evolución desde el modelo tradicional de la pirámide jerárquica de automatización industrial a una arquitectura descentralizada en la que elementos de diversos niveles pueden comunicarse libremente entre sí (véase la ILUSTRACIÓN 2). La utilización de los CPPS permite comunicar no sólo la maquinaria empleada en los procesos de producción, sino también las personas a diversos niveles (operarios, responsables de línea, responsables de producción...) y los productos.

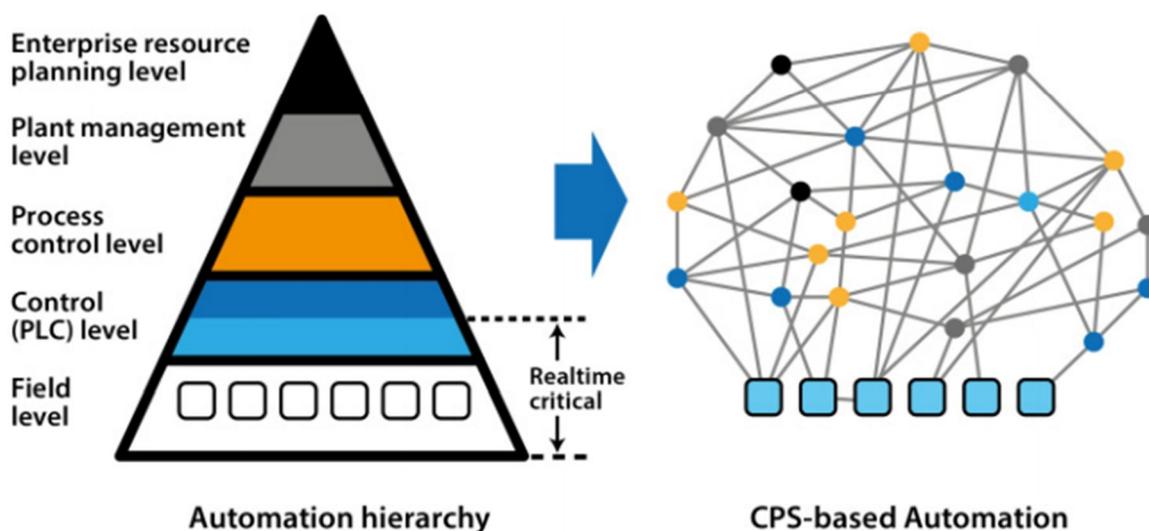


ILUSTRACIÓN 2: TRANSFORMACIÓN DEL MODELO TRADICIONAL DE PRODUCCIÓN AL BASADO EN CPS

En definitiva, en relación con la Industria 4.0, se puede establecer que Internet de las Cosas se refiere a la **conectividad global** de todo el conjunto de tecnologías y elementos (CPS principalmente) involucrados en los procesos de producción y de la cadena de valor, permitiendo la creación de nuevos servicios de valor añadido para la industria y en última instancia a los clientes finales o consumidores a través de la interacción y apoyo de otras tecnologías como analítica de datos, computación en la nube o medidas de seguridad.

1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN

Aunque el paradigma de Internet de las Cosas y los conceptos asociados al mismo han cobrado especial relevancia en los últimos años, ya desde hace décadas se comenzó a vislumbrar la potencialidad de estas nuevas tecnologías. Una de las primeras menciones al concepto de lo que en el futuro vendría a llamarse Internet de las Cosas fue realizada por **Karl Steinbuch** (padre del término para informática en alemán: “informatik”) en el año 1966. Steinbuch hizo la predicción de que “en unas pocas décadas los ordenadores se encontrarán vinculados a casi cualquier producto industrial”⁵.

⁵ Web de Karl Steinbuch, Online: http://www.fpl.uni-kl.de/papers/publications/karl-steinbuch_en.html

Por otro lado, otro de los principales fundamentos tras IoT es el de la **computación ubicua**, concepto establecido por el profesor del MIT Mark Weiser en el año 1991⁶. Este término, con origen en el inglés ubiquitous computing, hace referencia a la integración total de los ordenadores en el entorno del día a día de cualquier persona de una forma totalmente natural, sin que ésta perciba que los está utilizando. El profesor Weiser llegó a proponer que las tareas de computación en el futuro no se realizarían en servidores localizados o equipos de escritorio sino que cualquier lugar de nuestro entorno serviría para ello. Así, una de las principales críticas de Weiser era que por aquella época la atención se centrara en el desarrollo de ordenadores personales de escritorio en lugar de intentar hacerlos cada vez más invisibles.

Pocos años después, en 1999, **Kevin Ashton**, co-fundador del Auto-ID Center en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), acuñaría el término que hoy conocemos: Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT)⁷. Según el propio Ashton, existía una necesidad de ampliar el ámbito de acceso a Internet no sólo a ordenadores tradicionales y a los datos almacenados en ellos sino también a los objetos físicos que nos rodean. Todo ello debido al enorme tiempo que se empleaba para el desarrollo de interfaces hombre-máquina en las que se invierte mucho tiempo para realizar tareas. Igualmente, a menudo se dan problemas que requieren el procesamiento de gran cantidad de datos, los cuales han de ser introducidos en un ordenador antes de poder ser procesados. La idea inicial tras Internet de las Cosas fue utilizar algún tipo de sistema (en aquel entonces se proponía la utilización de etiquetas RFID) que sirviese de identificador para cada objeto y de puntero a una base de datos en red, contenedora de la información de dicho objeto, de forma que el inventario fuese accesible en tiempo real, reduciendo costes y pérdidas. Por tanto, se podría acceder fácilmente a los datos de estos elementos sin necesidad de revisarlos en su propia localización, y así saber qué objetos necesitan ser reemplazados, reparados o retirados. Este concepto sería ampliado en el mismo año por **Neil Gershenfeld**, también del MIT, aumentando la idea de conectividad de los objetos a Internet⁸.

En fechas más recientes, hacia el año 2003 el término IoT comienza a aparecer ya en los medios de comunicación^{9,10} y la ITU realiza en el año 2005 el primer informe acerca de estas nuevas tecnologías y sus implicaciones y retos¹¹. Otro hecho fundamental para IoT es la puesta en marcha en 2011 con carácter oficial (aunque todavía con poco uso) de la nueva versión del protocolo IP (Internet Protocol), **IPv6**, que permite aumentar en gran medida el direccionamiento disponible en Internet para el acceso a nuevos dispositivos.

⁶ M. Weiser. "The computer for the 21st century". <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Weiser-SciAm.pdf>

⁷ K. Ashton. «That 'Internet of Things' Thing». RFID journal, 2009. <http://www.rfidjournal.com/article/view/4986>

⁸ Neil Gershenfeld. «When things start to think». Henry Holt and Co., 1999

⁹The Guardian, The internet of things, Online. <https://www.theguardian.com/technology/2003/oct/09/shopping.newmedia>

¹⁰Boston Globe, The Internet of things, Online. http://archive.boston.com/business/technology/articles/2004/10/25/the_internet_of_things/

¹¹ ITU, The Internet of Things, Executive summary. 2005. Online. http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf

Finalmente, cabe destacar también al paradigma IoT como el heredero y evolución de las **redes inalámbricas de sensores** (Wireless Sensor Networks, WSN) y las comunicaciones máquina-a-máquina (Machine to Machine, M2M), diferenciándose de estos otros conceptos por la capacidad de acceder a los objetos desde Internet u otras redes con un mecanismo de direccionamiento único y directo.

1.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES

La aplicación de IoT al ámbito de la fabricación conlleva una serie de ventajas y avances frente a aproximaciones tecnológicas previas pero también un conjunto de retos, de carácter general o concreto, a los que se deberá dar solución para aplicar exitosamente este paradigma. A continuación se citan las ventajas y retos más relevantes.

1.2.1 Ventajas

ELIMINACIÓN DE SILOS DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LA CONECTIVIDAD

Uno de los principales problemas en los procesos de fabricación es la existencia de silos de información a diversos niveles, que impiden que la información fluya a lo largo de la cadena de valor. Por ejemplo, una línea de producción puede estar dotada de su propio SCADA que se comunica con los diversos PLCs desplegados para llevar a cabo un proceso de fabricación pero la información concreta no fluye hacia otros sistemas de la empresa, o al menos no de manera automática y electrónica (p.ej. utilización de papel para recopilar datos de los procesos). Se trata de un problema de comunicación vertical, en el que la capa de proceso no se comunica adecuadamente con la capa de empresa. Por otro lado, también pueden existir problemas de comunicación a nivel horizontal, entre actores de una cadena de valor como puede ser el fabricante de un producto y sus proveedores.

La aplicación del paradigma IoT y sus tecnologías dentro de un entorno industrial permite eliminar las barreras de conectividad tanto a nivel vertical como horizontal. Esto posibilita por un lado la obtención de información de valor de múltiples fuentes, lo que permite analizarla en detalle para extraer nuevo conocimiento; por otro lado se mejora la comunicación entre diversos actores, mejorando la eficiencia de los procesos.

Por otra parte, además de en producción, existen también silos de información desde el punto de vista del ciclo de vida de los productos y otras etapas del ciclo de vida de fabricación (ILUSTRACIÓN 3). Las tecnologías de conectividad permiten comunicar todas estas etapas, conformando una visión holística y global de estos ciclos.

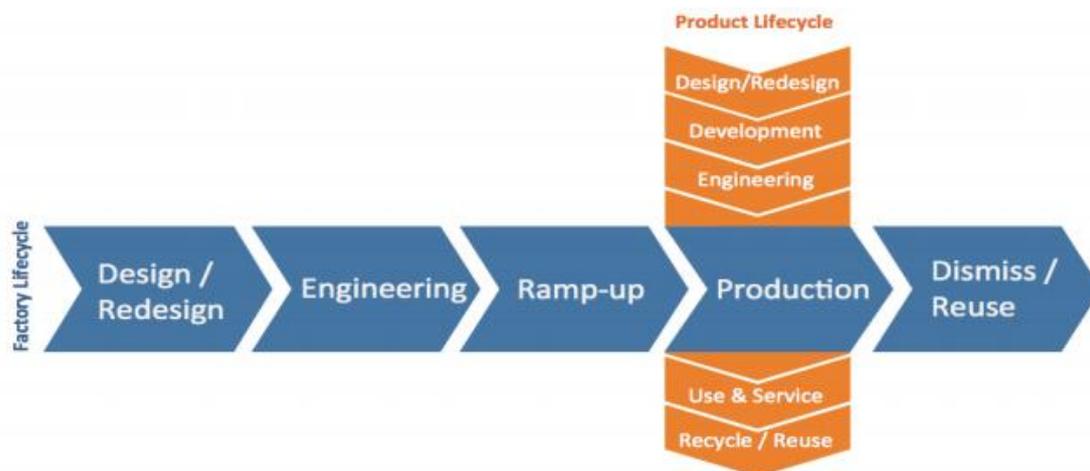


ILUSTRACIÓN 3 : CICLOS DE VIDA DEL PRODUCTO Y DE FABRICACIÓN

OBTENCIÓN DE DATOS PARA MEJORAS OPERATIVAS EN TIEMPO REAL

La introducción de dispositivos ciberfísicos y el paradigma IoT dentro del mundo de la fabricación industrial conllevará un crecimiento en los datos obtenidos de la maquinaria de producción, sensores, el entorno, operarios, etc. a través de la aplicación de tecnologías de conectividad en elementos que hasta ahora se encontraban aislados, como se ha mencionado anteriormente. Esta situación provoca un aumento en los datos obtenidos en tiempo real de todos estos elementos, lo que permite la aplicación de diversas técnicas de análisis de datos para alcanzar una mejora en los procesos operativos de la empresa. A continuación se mencionan algunas de ellas:

- **Mantenimiento predictivo.** La recopilación de datos del funcionamiento de la maquinaria de producción en tiempo real permite aplicar diversas técnicas de análisis de datos para la detección de anomalías en el comportamiento típico de dichas máquinas. Esto permite detectar con antelación posibles fallos, en contraposición a los métodos de mantenimiento reactivo (solución de problemas una vez que ya han ocurrido) o preventivo (realización de mantenimientos con carácter periódico para minimizar la probabilidad de un fallo). De esta forma se pueden planificar las paradas de producción en los momentos idóneos, minimizando los gastos y maximizando la productividad de la maquinaria.
- **Apoyo a la toma de decisiones.** Hasta el presente, las decisiones se tomaban en base a informes periódicos, datos de históricos almacenados a mano, datos de ERP, variables macroeconómicas, etc.; no obstante, la posibilidad de acceder a un mayor conjunto de datos digitalizados en tiempo real mejorará la toma de decisiones a través de técnicas de análisis de datos que permitan extraer valor adicional de los mismos y detectar situaciones que en el pasado no era posible.
- **Optimización de los procesos y los recursos.** Donde antes para realizar una optimización de procesos era necesario realizar una toma de medidas de tiempo para establecer la duración de un proceso y estimar los tiempos de operación, con la recopilación de datos en tiempo real se puede realizar una monitorización continua de dichos tiempos, detectando fácilmente posibles cuellos de botella al instante. Esto permite reaccionar inmediatamente a posibles problemas y facilita la

optimización de los procesos. Igualmente, estas herramientas facilitan también la optimización del uso de los recursos en producción, como por ejemplo las materias primas o la gestión de consumo energético de la planta y maquinaria.

- **Análisis sobre datos de calidad.** La aplicación de técnicas de análisis sobre los datos de calidad obtenidos durante la fabricación de un producto permite apoyar la detección de posibles problemas además de analizar cuáles son las causas que los provocan y en qué etapa de los procesos de fabricación ocurren.
- **Análisis sobre datos de la cadena de suministro.** La conectividad con la cadena de suministro permite gestionar de una manera más eficiente parámetros de la empresa como el inventario, optimizándolo a las necesidades de la producción en tiempo real. Por otro lado, también permite el intercambio de datos de trazabilidad entre las diversas etapas.

COMPORTAMIENTO AUTÓNOMO

El comportamiento autónomo, desde un punto de vista IoT, no debe confundirse con la automatización industrial de los procesos, aun cuando ambas persiguen un fin idéntico (la minimización de la intervención de un humano) y esta última puede apoyarse en el paradigma IoT para lograr un comportamiento más eficiente. Los recursos IoT pueden introducir un comportamiento autónomo a varios niveles:

- **Descubrimiento y autoconfiguración.** Donde antes era necesario realizar procesos de configuración complejos cuando era necesario introducir nuevos elementos en los procesos (p. ej. sensores nuevos), la introducción de nuevas herramientas IT en la planta de producción posibilita incluir nuevos mecanismos para que dichos elementos se comuniquen entre sí, anunciando sus servicios y hablando entre ellos.
- **Orquestación de servicios.** Con una visión de IoT implementado basándose en una orientación a servicios, cada uno de los objetos inteligentes son vistos como unidades que ejecutan tareas discretas cuando se le solicite y que los objetos ofrecen como un servicio. Los procesos de negocio o de producción se dividen en tareas que son ejecutadas por los objetos inteligentes, que de este modo deben trabajar de forma coordinada para completar un proceso. Un orquestador de servicios es un sistema que se encarga de la coordinación y disposición de múltiples servicios ofrecidos por los objetos inteligentes para formar un único servicio agregado que completa un proceso de negocio. Esto permite crear nuevos procesos de negocio de manera automática y en poco tiempo.

1.2.2 Limitaciones

ESTANDARIZACIÓN

Uno de los mayores retos que tendrá que afrontar el paradigma IoT en los próximos años es la necesidad de establecer un mecanismo de estandarización unificado en la medida de lo posible con el fin de facilitar la interacción de los diversos sistemas existentes en el mercado en la actualidad y en el futuro.

INTEROPERABILIDAD

Para poder intercomunicar el amplio abanico de tecnologías existentes dentro del ámbito de IoT, además de una estandarización a un nivel general, también es necesaria la definición de unos mecanismos adecuados de interoperabilidad. Según **GridWise**, organización americana establecida para promover la interoperabilidad entre las diversas entidades del sector eléctrico en los Estados Unidos, ésta debe tener las siguientes características¹⁷:

- Intercambio de información válida y procesable entre dos o más sistemas a través de las fronteras organizacionales.
- Entendimiento común de la información intercambiada.
- Acuerdo en la respuesta al intercambio de información.
- Requisitos de calidad de servicio: fiabilidad, fidelidad y seguridad.

Estos requisitos se pueden alcanzar a distintos niveles, como se muestra en la Figura 5. Tradicionalmente, el nivel técnico de interoperabilidad, que recoge conceptos como el establecimiento de un mecanismo de conectividad o la estructura de los mensajes a intercambiar entre los sistemas conectados, ha sido ampliamente tratado por diversos organismos como los recogidos en la ILUSTRACIÓN 4. No obstante, el aspecto semántico de interoperabilidad ha sido menos contemplado, convirtiéndose en otro reto de importancia para la Internet de las Cosas.

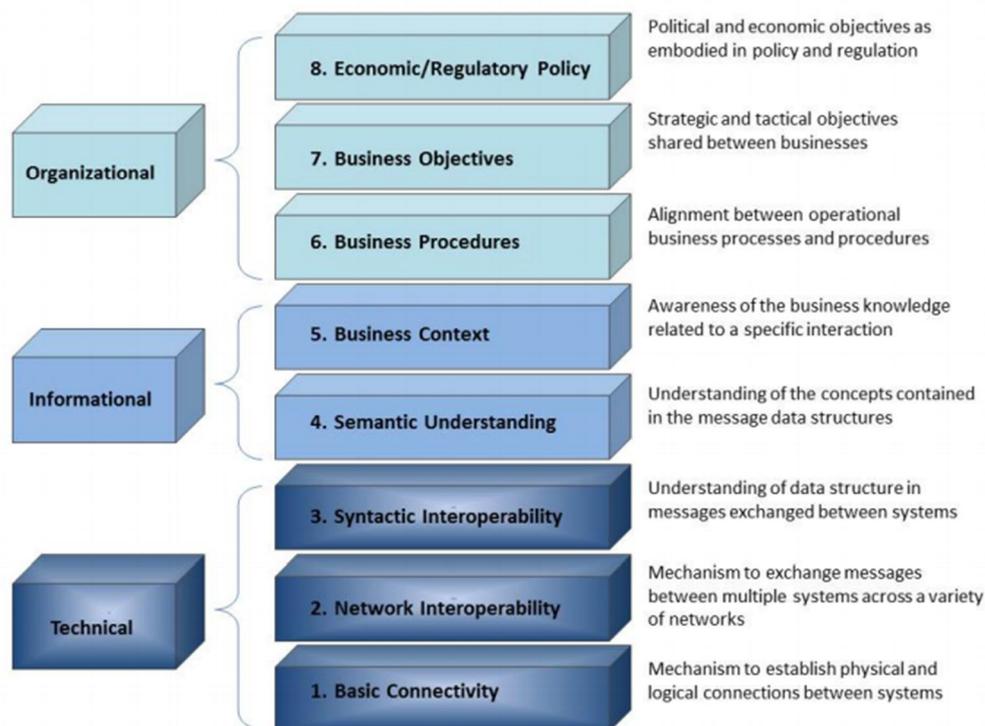


FIGURA 5: CATEGORÍAS DEL FRAMEWORK DE INTEROPERABILIDAD DE GRIDWISE. FUENTE: AIOTI

¹⁷ GridWise Interoperability Context-Setting Framework (March 2008), GridWise Architecture Council, online: www.gridwiseac.org/pdfs/

Según el **grupo de estandarización de AIOTI**, los siguientes puntos en lo relativo a interoperabilidad semántica no han sido todavía suficientemente desarrollados¹⁸:

- Técnicas para la formalización del significado de datos anotados y modelos de información.
- Fusión de datos semánticos, estrategias de alineamiento y emparejamiento.
- Modelos y representaciones formales para el enriquecimiento semántico de los datos.
- Patrones para unir datos estructurados y su representación semántica.
- Mediadores para permitir la integración de recursos de datos dispares.
- Mecanismos de gestión de la información para aproximaciones basadas en conocimiento.
- Descubrimiento semántico de aplicaciones y servicios.
- Investigación, desarrollo y validación de las nuevas tecnologías que surgen dentro de este campo.

En relación con la aplicación de IoT dentro de la Industria 4.0, los puntos anteriores son también de aplicación, cobrando especial relevancia la necesidad de adoptar modelos de datos que permitan que los diversos entes implicados puedan trabajar o descubrirse mutuamente con la información generada en las diversas capas del modelo de automatización. Este nivel de interoperabilidad podría alcanzarse a través de la implantación de tecnologías como AutomationML¹⁹.

SEGURIDAD Y PRIVACIDAD

Otro de los principales retos dentro del ámbito IoT es el de la seguridad y privacidad. Los cortos tiempos de desarrollo así como la rapidez en la innovación en este campo durante los últimos años han propiciado el descubrimiento y aprovechamiento de diversas **problemas de seguridad** en múltiples dispositivos IoT. Ejemplos de estas vulnerabilidades son la aparición en los últimos meses de diversas *botnets* para la realización de ataques de denegación de servicio como Mirai o Hajime. Estas *botnets* han sido específicamente creadas a partir de la introducción de troyanos en diversos dispositivos vulnerables conectados continuamente a Internet como cámaras web²⁰. Otros ejemplos de ataques importantes, ya centrados en infraestructuras de carácter industrial, son el virus Stuxnet²¹, que inició su infección a través de llaves USB para lograr acceso a los sistemas SCADA y PLCs situados en las centrales nucleares de Irán, u otro ataque realizado en el año 2011 a un sistema de tratamiento de aguas en Illinois²², mediante el que un grupo de *hackers* consiguió acceso a su sistema SCADA y manipuló el funcionamiento de una bomba de agua hasta inutilizarla.

¹⁸ AIOTI WG03, Report on IoT Semantic Interoperability, 2015. Online, http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?action=display&doc_id=11814

¹⁹ AutomationML, Online, <https://www.automationml.org/o.red.c/home.html>

²⁰ Online, <http://blogs.cisco.com/security/what-does-mirai-iot-botnets-mean-to-the-public-sector>

²¹ Online, <https://www.symantec.com/es/mx/page.jsp?id=stuxnet>

²² Online, <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2064283/Hackers-control-U-S-public-water-treatment-facilities.html>

Para evitar estas amenazas, el **Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos** propone tener en cuenta los siguientes seis puntos estratégicos²³:

- Incorporar seguridad desde la fase de diseño. El seguimiento de una política *security-by-design* en los productos minimiza las problemáticas ocurridas al estudiar la incorporación de mecanismos de protección una vez un producto está en el mercado, actividad complicada o imposible en muchos casos y en especial en el sector industrial.
- Promover la aplicación de actualizaciones de seguridad y gestión de vulnerabilidades. Uno de los objetivos de este punto en su aplicación en el sector industrial es terminar con el mantra “si funciona para qué cambiarlo” a través de la aplicación de actualizaciones en el *software* de los dispositivos desplegados para evitar vulnerabilidades.
- Aprovechar prácticas de seguridad con éxito en el pasado. No es necesario reinventar la rueda. En especial con la entrada cada vez mayor del mundo IT en el sector industrial, muchas prácticas llevadas a cabo con éxito en el pasado en diversos entornos pueden reaprovecharse. Otras será necesario adaptarlas a particularidades específicas.
- Priorizar las medidas de seguridad en función del impacto potencial. Esto implica la creación de modelos de riesgos y de posibles resultados ante amenazas.
- Promover la transparencia en la publicación de vulnerabilidades encontradas con el objetivo de realizar análisis de seguridad *end-to-end*.
- Conectar con precauciones y deliberadamente. Se debe analizar especialmente si siempre es necesario mantener una conexión continua para evitar posibles ataques o la utilización de dispositivos por terceros como ha ocurrido en el caso de las *botnets*.

Dentro del ámbito de los nuevos paradigmas de fabricación inteligente el establecimiento de unas políticas y **mecanismos adecuados de seguridad y privacidad** cobra una especial importancia debido al creciente número de actores implicados. La ilustración 6 representa esta situación. Donde previamente existían unas relaciones muy concretas y controladas entre los diversos entes (marcadas por las líneas de carácter continuo), en la Industria 4.0 aparecen una multitud de nuevas relaciones y entidades que se comunican entre sí, lo que obliga a crear nuevos componentes de seguridad y políticas.

²³ Departamento de Seguridad Nacional de los EE.UU., Strategic principles for securing the Internet of Things, 2016. Online, [https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Strategic Principles for Securing the Internet of Things-2016-1115-FINAL....pdf](https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Strategic_Principles_for_Securing_the_Internet_of_Things-2016-1115-FINAL....pdf)

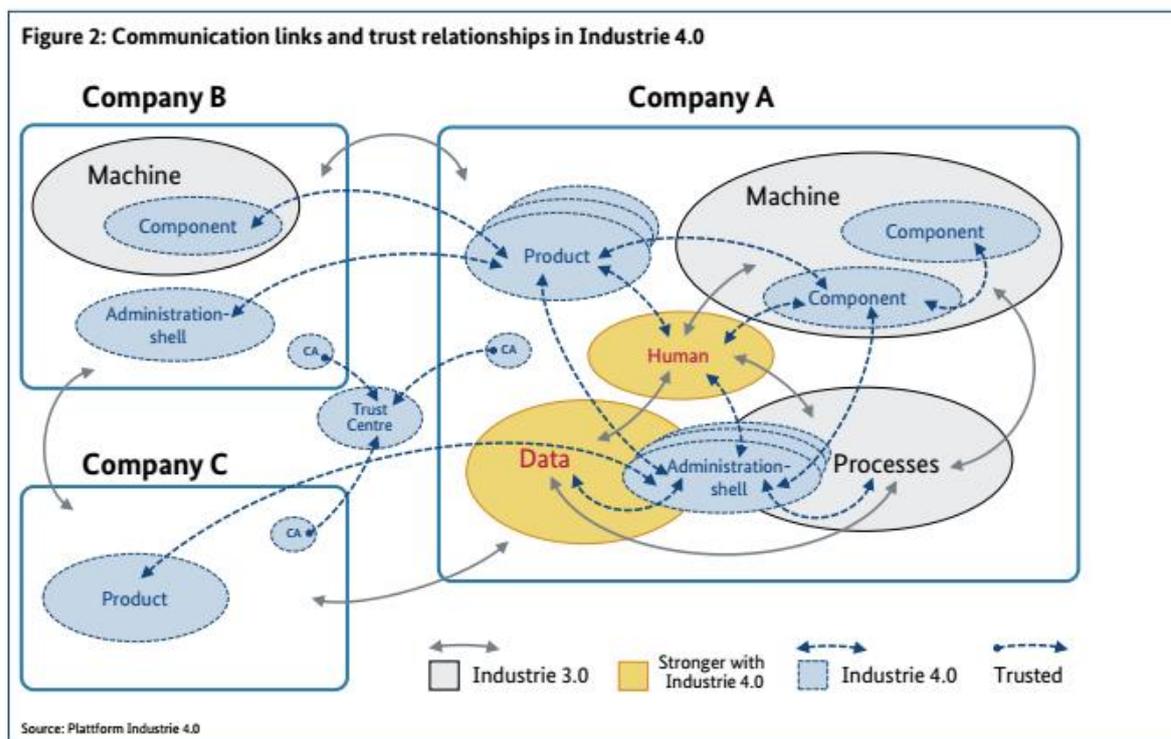


ILUSTRACIÓN 6: COMPARACIÓN ENTRE LAS RELACIONES DE CONFIANZA ACTUALMENTE Y EN LA INDUSTRIA 4.0.

FUENTE: PLATFORM INDUSTRIE 4.0

1.3 TENDENCIAS

1.3.1 De las redes de sensores a Internet de las Cosas

El desarrollo de las **tecnologías de sensórica y actuación** y el abaratamiento de estos dispositivos hace que cada vez más objetos físicos del mundo industrial cuenten con elementos que permiten monitorizar y controlar su estado.

Las **redes de sensores y actuadores inalámbricas** (*Wireless Sensor and Actuator Network: WSAN*) están constituidas por nodos de sensado autónomos distribuidos espacialmente con el propósito de ser capaces de comunicarse entre sí mediante tecnologías inalámbricas

La idea de Internet de las Cosas (IoT) se desarrolló en paralelo a las WSAN. En IoT a los llamados **“objetos inteligentes”** que constituyen las redes de sensores/actuadores inalámbricos se les otorga direcciones IP para que sean parte integral de Internet.

IoT es un concepto sobre el que se ha hablado mucho en los últimos tiempos y existen diferentes versiones sobre su significado y su alcance. Por ejemplo, en el desarrollo de la Recomendación UIT-T Y.2060 hubo un intenso debate sobre la definición de Internet de las Cosas: mientras algunos lo interpretaban como una especie de concepto otros entendían IoT como una tecnología; había también opiniones de que IoT debería ser considerada como una infraestructura para otros servicios TIC.

La evolución de las redes de sensores al paradigma de IoT requiere un cambio de enfoque a la hora de desarrollar e implantar soluciones. Aunque tecnológicamente las redes de sensores e IoT comparten gran parte de las tecnologías, IoT requiere que las soluciones desarrolladas no se diseñen como sistemas aislados, sino teniendo en cuenta la necesidad de que interactúen con otros sistemas. **IoT agrega la dimensión de “Any THING connection” al mundo de las redes de sensores**, como muestra la siguiente figura.

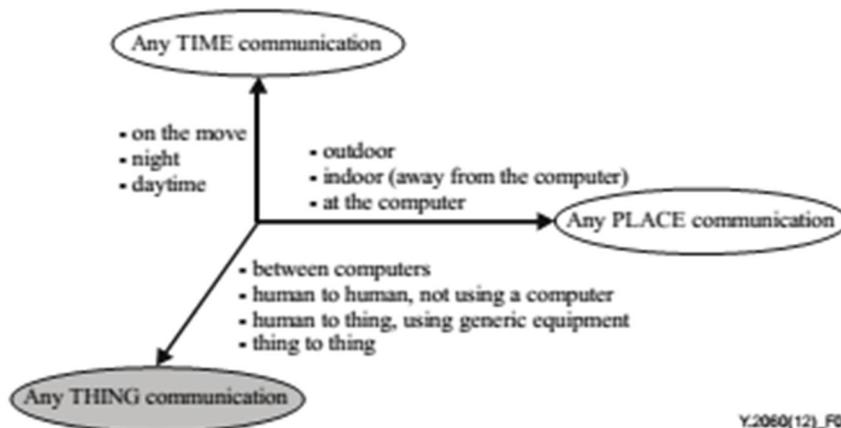


ILUSTRACIÓN 7: LA NUEVA DIMENSIÓN INTRODUCIDA EN IOT²⁴

Se espera que en IoT los “objetos inteligentes” se conviertan en elementos activos en los procesos industriales, interactuando y comunicándose entre sí y con el medio, sensando e intercambiando información del mundo “físico”, reaccionando de forma autónoma a eventos en el mundo “físico” y actuando sobre éste con o sin intervención humana.

La nueva dimensión introducida en IoT condiciona las decisiones tanto en el diseño de nuevas soluciones basadas en IoT como en su adquisición: **la interoperabilidad** se convierte en un elemento clave.

1.3.2 Plataformas y ecosistemas de complementadores

Cada vez más, la competición y la cooperación en el nuevo ecosistema TIC tiene lugar entre y dentro de las plataformas. En el desarrollo de las tecnologías de Internet de las Cosas **las denominadas “plataformas” van a ser un elemento crucial**. Es necesario que tanto los usuarios como los desarrolladores de soluciones basadas en IoT entiendan los principios de funcionamiento de las plataformas, sus drivers, sus fortalezas y sus debilidades, porque se convertirán en elementos claves para la toma de decisiones estratégicas y su impacto será cada vez mayor.

“Una plataforma TIC es un marco proporcionado por los propietarios de la plataforma para lanzar el software. Es un sistema con puntos de acceso y reglas bien definidos, sobre las cuales otras partes pueden construir aplicaciones o servicios”²⁵

²⁴ ITU-2026 - Overview of the Internet of things, ITU, 2012

²⁵ “Entry into platform-based markets”, Zhu, F. and M. Iansiti, 2012, Strategic Management Journal 33: 88-106

Ejemplos bien conocidos de plataformas son los sistemas operativos Microsoft Windows, Unix o Linux. En el sector móvil está Android de Google, iPhone de Apple, Blackberry de RIM o Symbian de Nokia.

Las plataformas son ecosistemas bilaterales (o multilaterales) en los que se crean interacciones entre dos o más grupos de “clientes” de la plataforma. El valor de una plataforma es función de su tamaño. Para que una plataforma tenga éxito el proveedor de la misma debe tener éxito tanto en la atracción de usuarios (consumidores) como en la atracción de “complementadores”, desarrolladores de aplicaciones y equipos complementarios.

En el crecimiento de una plataforma se produce un **efecto de red que opera en ambos lados del mercado y que se realimenta**: una gran base de usuarios alimenta una gran base de complementadores y viceversa. Cuanto mayor es el número de usuarios, mayor es su valor para nuevos usuarios. Por otro lado, cuanto mayor es el número de usuarios, mayor es el valor para los complementadores, de modo que la atracción de usuarios alimenta la atracción de complementadores. A su vez, cuanto mayor es el número de complementadores, mayor es la cantidad de aplicaciones complementarias disponibles en la plataforma y por tanto mayor es su valor para los usuarios.

Estos dos efectos de red crean además una barrera importante para la entrada de nuevos entrantes (otros desarrolladores de plataformas), y una fuerte ventaja para los operadores establecidos. Las plataformas también apoyan la creación de **ecosistemas de innovación**.

Los **proveedores de plataformas** están en una posición única, actuando de intermediarios entre los negocios que quieren vender y los consumidores. Recientes estudios económicos²⁶ muestran que las plataformas están creando la mayor cantidad de valor en el ecosistema digital.

Para los **complementadores** de una plataforma, su capacidad de capturar valor dependerá de su capacidad de competir dentro de la plataforma con otros complementadores (competencia intra-plataforma) y de la competencia de la propia plataforma con otras (competencia inter-plataforma).

Las plataformas pueden desarrollarse como **ecosistemas abiertos o cerrados**, pero cierto nivel de apertura es necesario para que los complementadores (desarrolladores) puedan interactuar con la plataforma. Otra característica es el **nivel de estandarización** de una plataforma: algunas se basan en estándares abiertos y otras no. En general la estandarización facilita la interoperabilidad con otras plataformas.

Los proveedores de plataformas deciden si su plataforma es compatible con otras y en qué grado (modelo abierto o cerrado). Esto tiene implicaciones para todo el ecosistema de la plataforma:

- Una plataforma más cerrada ofrece la perspectiva de mayor posición dominante en el mercado para el proveedor de la plataforma (aunque en general éste sea más pequeño).
- Para los complementadores un modelo más abierto significa una mayor libertad para desarrollar sus aplicaciones y para hacerlas complementarias con otras plataformas, accediendo a un número de usuarios mayor.

²⁶http://is.jrc.ec.europa.eu/pages/ISG/documents/BREUGEL-NewICTsectors_PlatformsforEuropeangrowth.pdf

- Para los usuarios una plataforma abierta significa una menor dependencia del proveedor de la plataforma y la posibilidad de migrar de plataforma con relativa sencillez (reduciendo el *vendor lock-in*).

La compatibilidad de la plataforma y el grado de competencia intra e inter plataforma son, por lo tanto, determinantes de la creación de valor total dentro de la plataforma y para determinar qué parte del ecosistema captura la mayor cantidad de este valor.

Siguiendo con el ejemplo, el iPhone de Apple es un buen ejemplo del poder de una plataforma tecnológica: esta plataforma y su ecosistema han tenido un enorme impacto en la industria de la telefonía móvil, moviendo el centro de esta industria de la UE a los EE.UU. y haciendo que el que era líder mundial hace unos años, Nokia, pase a ser un actor con un peso significativamente menor en el sector.

Tradicionalmente, Europa carece de los principales proveedores de plataformas tecnológicas, que capturan la mayor parte del valor del nuevo ecosistema de las TIC. Así, las principales plataformas de internet y de movilidad son principalmente de EEUU: Google, Apple, Microsoft, Amazon... China está haciendo importantes esfuerzos para desarrollar plataformas y ecosistemas propios.

Consciente de la importancia de las plataformas para su ecosistema industrial, Europa ha establecido que un elemento clave de la estrategia europea de digitalización²⁷ es el **“Liderazgo en la próxima generación de plataformas digitales abiertas e interoperables”**.

Aunque Europa tiene una debilidad en plataformas orientadas a consumo, está bien posicionada para el desarrollo de plataformas industriales y profesionales, tanto abiertas como propietarias. Para la Industria 4.0 hay diversas iniciativas a nivel europeo como RAMI, Fi-Ware, BEINCPPS, Virtual Fort Knox...

1.4 APLICACIONES ACTUALES

El paradigma IoT tiene aplicaciones en multitud de sectores en los que sea necesario aportar un mayor nivel de conectividad para proporcionar servicios de valor añadido que aporten **nuevas funcionalidades y posibilidades** a los usuarios finales. Tal y como se muestra en la Ilustración 8, dichas aplicaciones, o verticales, están soportadas por un gran abanico de compañías que aumenta cada vez más. Dichos verticales pueden clasificarse en varios grandes grupos y estos a su vez en otros menores:

- **Ámbito personal**
 - Wearables
 - Fitness
 - Salud
 - Entretenimiento
 - Familia
 - Deportes
 - Juguetes
 - Tercera edad

²⁷<https://ec.europa.eu/digital-single-market/digitising-european-industry>

- **Ámbito doméstico**
 - Automatización
 - Concentradores
 - Seguridad
 - Cocina
 - Sensorización
 - Robótica
 - Mascotas
 - Jardín
 - Localizadores

- **Vehículos**
 - Automóviles
 - Vehículo autónomo
 - UAVs
 - Espacio
 - Bicicletas/Motocicletas

- **Empresa**
 - Salud
 - Retail
 - Pagos
 - Oficina inteligente
 - Agricultura
 - Infraestructura

- **Industrial**
 - Maquinaria
 - Energía
 - Cadena de suministro
 - Robótica
 - Wearables industriales

Estos sectores verticales hacen uso también de diversas soluciones horizontales que proporcionan servicios comunes como pueden ser conectividad, seguridad, interfaces o análisis de datos. Estas soluciones horizontales, a su vez, hacen uso de un conjunto de bloques básicos, que se desarrollarán en la sección 2.

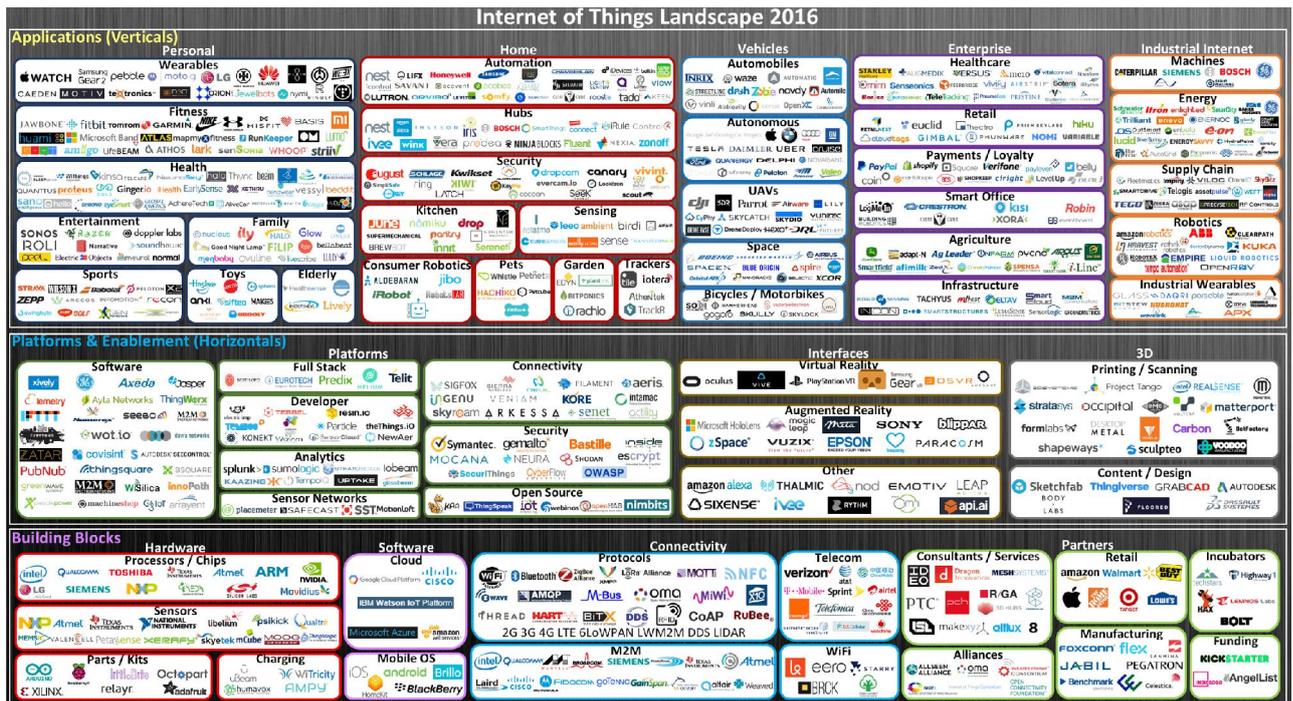


ILUSTRACIÓN 8: APLICACIONES DE IOT Y ENTIDADES IMPLICADAS. FUENTE: FIRSTMARK

2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA

2.1 TECNOLOGÍAS CLAVE Y HABILITADORAS

Dentro de esta sección se recogen las principales **tecnologías habilitadoras** del paradigma IoT, tales como los métodos de conectividad existentes, sistemas operativos así como otro tipo de tecnologías como sensores o actuadores. Por otro lado, se mencionan también las **tecnologías clave** con una mayor relación e importancia para el desarrollo de servicios sobre soluciones IoT, como pueden ser los servicios en la nube o los modelos Big Data y de análisis de datos.

2.1.1 Conectividad

Como se ha comentado en secciones anteriores, una de las principales ventajas aportadas por el paradigma IoT es el aumento de la conectividad en áreas que previamente se encontraban aisladas y, o bien no disponían de ningún tipo conexión o si disponían de ella no tenían acceso a redes externas o Internet. Para ello, existen multitud de **protocolos de comunicaciones** a diversos niveles que permiten aportar esta conectividad, tal y como se refleja en la Ilustración 9. En esta sección se mencionan los protocolos de comunicaciones más relevantes para las aplicaciones IoT industriales.

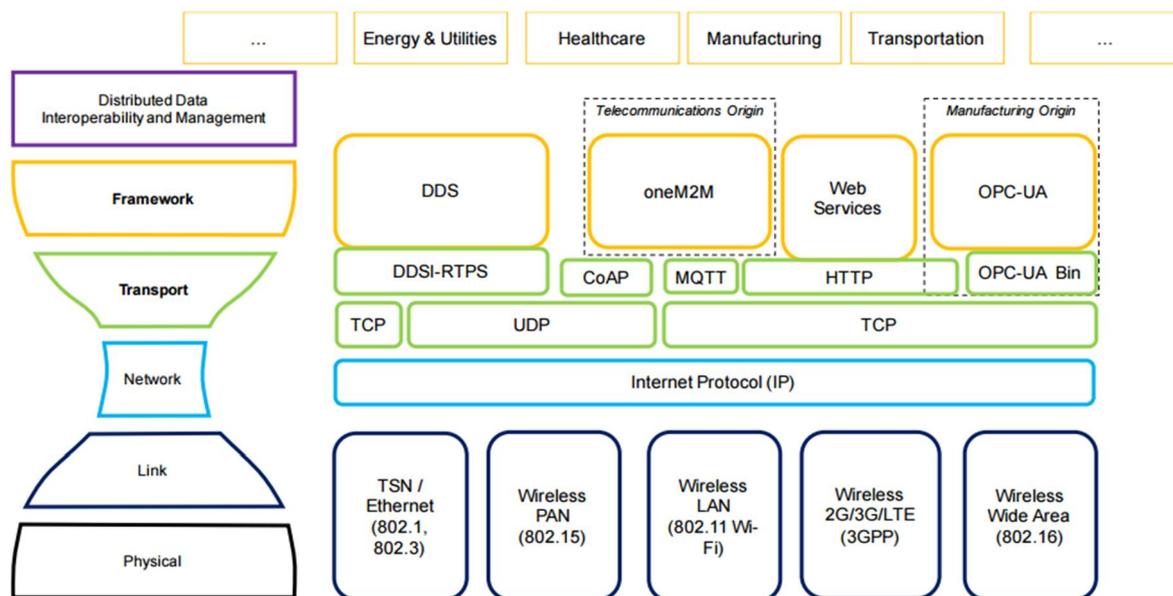


ILUSTRACIÓN 9 : ESTÁNDARES DE CONECTIVIDAD PARA IIOT. FUENTE: INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM

BUSES DE CAMPO

Los buses de campo son un conjunto de tecnologías de comunicaciones empleadas en el ámbito industrial para los procesos con necesidades de tiempo real y para el control distribuido de diversos elementos en los mismos. Típicamente, estos protocolos se emplean para conectar dos niveles y por tanto se pueden dividir

en dos tipos, aun cuando la mayor parte de las tecnologías existentes no pueden clasificarse exclusivamente como de uno de estos grupos:

- **Buses de dispositivo**, los cuales se encargan de las comunicaciones entre sensores y actuadores y de estos con los PLCs.
- **Buses de campo** que se emplean para la conexión entre PLCs y PCs.

Tradicionalmente, los buses de campo se han caracterizado por definir cada uno sus propias características para el envío de datos; no obstante, en los últimos años ha cobrado gran importancia la utilización de tecnologías basadas en el estándar de comunicaciones Ethernet. Por otro lado, la tecnología de buses de campo se encuentra estandarizada bajo la norma IEC 61158, aunque existen múltiples variantes con diversos orígenes y características. La siguiente tabla recoge algunos de los buses de campo más importantes.

BUS DE CAMPO	LUGAR DE ORIGEN	AÑO DE INTRODUCCIÓN	ESTÁNDAR
I2C	Holanda	1981	N/A
CAN	Alemania	1978	ISO 11898
CC-Link	Japón	1996	Abierto
DeviceNet	Estados Unidos	1994	EN 50325-2
EtherCAT	Alemania	2003	IEC 61158
EtherNet/IP	Estados Unidos	1990	IEEE 802.3
Hart	Estados Unidos	1986	Abierto
Modbus	Estados Unidos	1979	Abierto
PROFIBUS	Alemania	1989	EN 50170
PROFINET	Alemania	2003	IEC 61158

TABLA 1 : PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE BUS DE CAMPO

Cabe destacar también cómo en los últimos años también han cobrado importancia para esta aplicación los **estándares de comunicación inalámbricos**. Ejemplos destacables pueden ser Wireless HART²⁸ o ISA100.11a²⁹.

²⁸ Wireless HART. Online: http://en.hartcomm.org/hcp/tech/wihart/wireless_overview.html

²⁹ ISA 100. Online: <https://www.isa.org/isa100/>

PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

A nivel de protocolos de transporte las opciones empleadas son múltiples y variadas, por lo que únicamente se comentarán en este apartado aquellas más comunes y de mayor utilidad en el ámbito IIoT. Los protocolos de la pila IP como **UDP**³⁰ (no orientado a conexión y con entrega de datagramas *best-effort*) y **TCP**³¹ (orientado a conexión y con entrega fiable y ordenada) se emplean en diversos casos de uso aunque se debe tener en cuenta las diferencias de latencia y *jitter* que aporta cada uno, por lo que no podrán ser aplicados en cualquier escenario (p. ej. TCP no es especialmente adecuado para tareas de alta prioridad con necesidades de baja latencia, pero sí para aquellas tareas donde la latencia no sea importante pero sí la fiabilidad). **CoAP (Constrained Application Protocol)**³² es también un protocolo ligero de características similares a HTTP que proporciona interfaces REST para el acceso a los recursos IoT. Finalmente, cabe mencionar también el protocolo MQTT³³, basado en un modelo de publicación-suscripción apoyado a través de un *broker* sobre el protocolo TCP y que garantiza diversos niveles de QoS para la entrega de mensajes.

PROTOCOLOS DE NIVEL DE APLICACIÓN

OPC-UA

OPC-UA, de OPC **Unified Architecture**, es un protocolo y estándar de comunicaciones especialmente diseñado para su aplicación en entornos industriales. Está soportado por la OPC Foundation³⁴, formada por un conjunto importante de compañías del sector industrial, y es una evolución del extendido protocolo OPC. Dicho protocolo está basado en las tecnologías OLE y DCOM, muy asociadas a Microsoft Windows, lo que limita su aplicación y ocasiona problemas en despliegues con clientes distribuidos, aspecto que propició el desarrollo de la nueva versión del protocolo, OPC-UA.

El principal objetivo de este protocolo es proporcionar interoperabilidad en el acceso a los dispositivos industriales. Donde antes eran necesarios drivers y conexiones específicas para que, por ejemplo, un sistema HMI se comunicase con dispositivos de varios fabricantes, OPC-UA crea una interfaz única basada en servicios que abstrae la tecnología subyacente a las aplicaciones de alto nivel. Por otro lado, OPC-UA añade también diversos mecanismos de seguridad como cifrado o autenticación.

³⁰ RFC 768, User Datagram Protocol. Online: <https://tools.ietf.org/html/rfc768>

³¹ RFC 793, Transport Control Protocol. Online: <https://tools.ietf.org/html/rfc793>

³² RFC 7252, Constrained Application Protocol. Online: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>

³³ MQTT. Online: <http://mqtt.org/>

³⁴ OPC Foundation, Online: <https://opcfoundation.org/>

DDS

DDS es un *middleware* para la distribución de datos de manera distribuida basado en un modelo de publicación/suscripción sin la intervención de un *broker*. Está gestionado por el **Object Management Group (OMG)** y se emplea sobre todo para la conexión de componentes en tiempo real a través de un espacio de datos compartido o bus lógico que los componentes emplean para comunicarse, sin hacerlo nunca de manera directa entre ellos.

Como **protocolo de transporte** DDS emplea DDS-RTPS (Real-Time Publish-Subscribe), protocolo independiente de otros subyacentes como puede ser UDP; típicamente el utilizado en las implementaciones DDS aún cuando otros como TCP también se pueden emplear. Por otro lado, DDS proporciona también mecanismos de calidad de servicio (QoS) para la entrega de información, descubrimiento, multicast y otras funcionalidades. Se ha empleado tradicionalmente en aplicaciones críticas como militares, aeronáuticas o médicas.

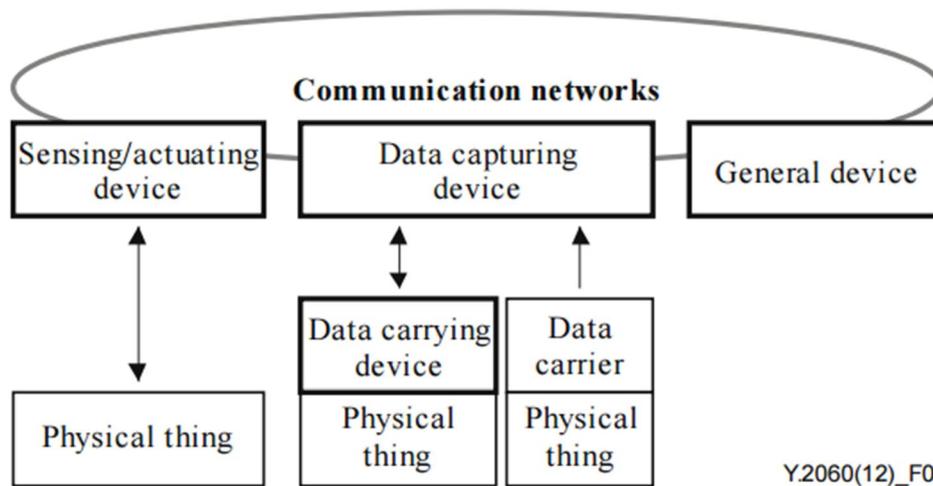
2.1.2 Dispositivos IoT

Según la **ITU-T** en su recomendación ITU-T Y.2060³⁵, un dispositivo es “*una pieza de equipo con capacidades de comunicación obligatorias y opcionales de sensorización, actuación, captura de datos, almacenamiento de datos y procesamiento de datos. Los dispositivos recopilan diversos tipos de información y la proveen a las redes de información y comunicaciones para un procesamiento posterior. Algunos dispositivos también ejecutan operaciones basadas en la información recibida por parte de las redes de comunicaciones e información.*”

Estos dispositivos pueden ser de distintos tipos, según se muestra en la Figura 1010:

- **Dispositivo de transporte de datos.** Aquel que está conectado a un objeto físico para incorporarlo de manera indirecta a las redes de datos.
- **Dispositivo de captura de datos.** Aquel que puede interactuar con los objetos físicos. Puede hacerlo de manera directa o a través de otro dispositivo.
- **Dispositivo de sensorización y actuación.** Aquel que puede detectar información del objeto físico y transformarla a una señal eléctrica. De igual manera, también puede realizar el proceso inverso, convirtiendo una señal eléctrica en operaciones sobre el objeto físico.
- **Dispositivo genérico.** Dispositivo con capacidades de procesamiento y comunicaciones incorporadas.

³⁵ Recomendación ITU-T Y.2060, ITU, 2012, <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/es>



Y.2060(12)_F03

FIGURA 10 : TIPOS DE DISPOSITIVOS. FUENTE: ITU-T

Por otro lado, la ITU-T define también en esta norma un modelo de referencia IoT, representado en la Ilustración 11.

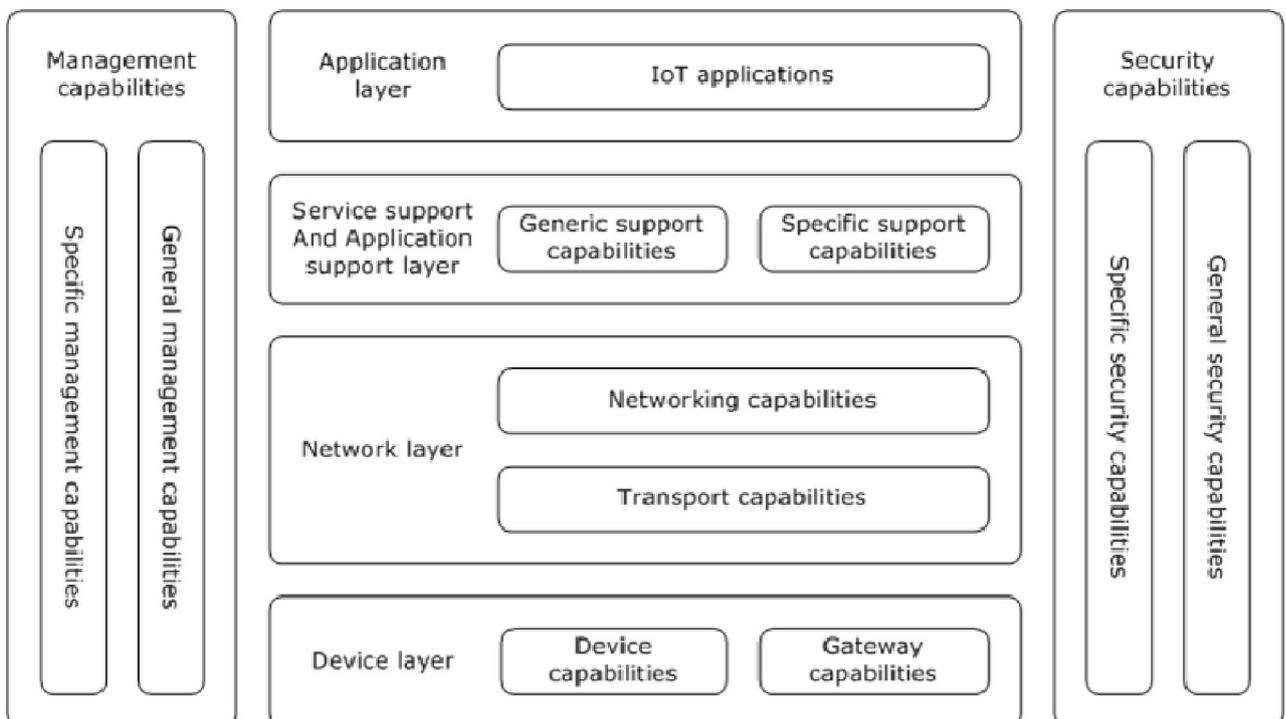


FIGURA 11 : MODELO DE REFERENCIA IOT DE LA ITU-T. FUENTE: ITU-T

La recomendación ITU-T Y.2060 establece las capacidades para cada uno de esos bloques, que permiten el desarrollo de soluciones IoT:

- La **capa de dispositivo** consta de:
 - Capacidades de dispositivo: en la que se establece el grado de interacción del dispositivo con la red de comunicaciones, pudiendo hacerse de forma directa, indirecta (a través de una pasarela de comunicación), con capacidad de creación de redes ad-hoc en algunas circunstancias.
 - Capacidades de pasarela, en la que se encuentran capacidades para permitir al dispositivo conectarse mediante diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas, o para la conversión de protocolos.
- La **capa de red** ofrece:
 - Capacidades de red: que ofrece funciones para el control de la conectividad en la red, como funciones de control de acceso y recursos de transporte, autenticación o autorización entre otras.
 - Capacidades de transporte: suministrando conectividad para la transmisión de información entre los dispositivos IoT y las capas superiores.
- La **capa de soporte de servicios y aplicaciones** consta de:
 - Capacidades de soporte genéricas: capacidades comunes a utilizar por las aplicaciones IoT como procesamiento o almacenamiento de datos.
 - Capacidades de soporte específicas para atender las necesidades particulares las aplicaciones.
- La **capa de aplicación** contiene las aplicaciones IoT.
- **Capacidades de gestión**, que se dividen en:
 - Capacidades de gestión genéricas:
 - Gestión de dispositivos, como activación y desactivación de dispositivos remotos, diagnóstico, actualización del firmware y/o del software, gestión del estado de trabajo del dispositivo.
 - Gestión de la topología de red local.
 - Gestión del tráfico y la congestión.
 - Capacidades de gestión específicas, que están estrechamente relacionadas con los requisitos particulares de la aplicación.
- **Capacidades de seguridad**, que de nuevo se dividen en:
 - Capacidades de gestión de seguridad genéricas:
 - En la capa de aplicación: autorización, autenticación, confidencialidad de datos de aplicación y protección de la integridad, protección de la privacidad, auditorías de seguridad y antivirus.
 - En la capa de red: autorización, autenticación, confidencialidad de datos de señalización y de datos de uso, y protección de la integridad de señalización.
 - En la capa de dispositivo: autenticación, autorización, validación de la integridad del dispositivo, control de acceso, confidencialidad de datos y protección de la integridad.
 - Capacidades de gestión de seguridad específicas, dependientes de las particularidades y requisitos de la aplicación.

2.1.3 Sistemas operativos y su aplicación en IoT

Un **sistema operativo** es aquel software que se encarga de gestionar los diversos recursos de un ordenador, tanto a nivel hardware (p.ej. gestionar el acceso a disco) como a nivel software (p.ej. ejecutar aplicaciones). En el mundo de los dispositivos empotrados tradicionalmente no han existido sistemas operativos al no existir la necesidad de ejecutar varias aplicaciones, accediendo directamente a las funciones hardware desde el código de los programas, almacenados en memorias no volátiles. La aparición de las nuevas tecnologías IoT sin embargo ha provocado la necesidad de contemplar nuevos casos de uso para los que la utilización de un sistema operativo sobre recursos limitados como los existentes en un dispositivo IoT es necesaria. Para ello, han aparecido diversos sistemas operativos, entre los cuales se recogen a continuación algunos ejemplos:

- **TinyOS**³⁶ es un sistema operativo basado en eventos diseñado para su uso en sistemas empotrados de bajo consumo. Implementa un núcleo de tipo monolítico y está escrito en un lenguaje similar a C llamado nesC.
- **Contiki OS**³⁷ es también un sistema operativo para dispositivos empotrados basado en eventos y que soporta la pila estándar IPv6 y diversos protocolos relacionados como 6LoWPAN o CoAP. En este caso, el sistema operativo está construido a partir de diversos módulos para la gestión de dispositivos, red, etc.
- **RIOT**³⁸ en contraste con los sistemas anteriores que tienen un planificador periódico basado en eventos dispone de un planificador que busca maximizar el tiempo que el sistema se encuentra dormido para minimizar el consumo. Al igual que Contiki también es un sistema operativo modular y dispone de un soporte completo para la pila de comunicaciones IPv6. No obstante, al contrario que Contiki, que sólo tiene un soporte parcial de funcionalidades en tiempo real, RIOT tiene soporte completo para tiempo real.
- **FreeRTOS**³⁹ es otro sistema operativo para microcontroladores y pequeños procesadores completamente diseñado para operaciones en tiempo real.
- **Android Things**⁴⁰ es la apuesta de Google para llevar su sistema operativo Android de los dispositivos móviles a los dispositivos IoT. Todavía se encuentra en fase de desarrollo y solamente se puede acceder a una versión para desarrolladores soportada por ciertos tipos de hardware.

2.1.4 Cloud

El **Cloud Computing**, tecnología en pleno auge en la actualidad, supone un cambio de paradigma en la computación, ofreciendo la posibilidad de disponer de recursos dinámicamente escalables situados en la llamada nube (una metáfora de Internet), lo que permite que el usuario contrate recursos según los

³⁶ TinyOS. Online: http://tinynos.stanford.edu/tinynos-wiki/index.php/TinyOS_Documentation_Wiki

³⁷ Contiki OS. Online: <http://www.contiki-os.org/>

³⁸ RIOT OS. Online: <https://riot-os.org/>

³⁹ FreeRTOS. Online: <http://www.freertos.org/>

⁴⁰ Android Things. Online: <https://developer.android.com/things/index.html>

necesita, gestionándose éstos de forma transparente a éste por parte de los proveedores de servicio, suponiéndole al mismo una comodidad y un ahorro.

Cuando estos recursos son puramente de computación, ofrecidos mediante virtualización, o de almacenamiento, nos encontramos ante lo que se conoce como **Infraestructura como Servicio (IaaS)**. En este caso los usuarios pueden configurar en estos recursos las aplicaciones o plataformas que deseen emplear. Se trata de un modelo que supone un ahorro para los usuarios que no desean comprar equipamiento IT como servidores, equipos de red, fuentes de alimentación, etc. Un ejemplo de este servicio podría ser Amazon EC2⁴¹.

Por otra parte, también se puede ofrecer una **Plataforma como Servicio (PaaS)**, que permite el despliegue de aplicaciones sobre la misma y virtualiza a la vez los recursos hardware necesarios para ello, como puede ser el caso de Google App Engine⁴². Este tipo de modelo de nube se encuentra principalmente orientado a desarrolladores ya que dispone de todas las utilidades necesarias para la creación y despliegue de servicios y aplicaciones web.

Finalmente, también se puede posibilitar el acceso a determinadas aplicaciones finales, que se ejecutan en la nube, y que permiten ofrecer **Software como Servicio (SaaS)** a través de Internet, de forma que no es necesario instalarlo y ejecutarlo en la máquina del usuario. Como ejemplo, el paquete de ofimática ofrecido en Google Docs⁴³. En este modelo el proveedor se encarga completamente del mantenimiento, soporte y actualizaciones sobre sus aplicaciones, ofreciéndolas a los clientes bajo una licencia.

En cuanto al despliegue, se pueden considerar tres tipos de **modelos de despliegue**: público, privado e híbrido. Las **nubes públicas** son el modelo más conocido, ofreciéndose por parte de un proveedor que vende servicios al público general y que por tanto implican la compartición de recursos entre varios clientes. Como contraposición, se encuentran las **nubes privadas**, cuyos servicios se ofrecen a una organización determinada, y pueden ser gestionadas por ella misma o un tercero. Suponen un menor riesgo en cuanto a un posible filtrado de datos confidenciales. Finalmente, se pueden mencionar también las **nubes híbridas**, que se consideran una combinación de los modelos anteriores y con las que aquellos clientes que ya disponen de una infraestructura propia buscan beneficiarse también de algunas de las características principales de los modelos de despliegue públicos.

Tradicionalmente, las aplicaciones y servicios web se han desarrollado de forma monolítica, aglutinando funcionalidades y servicios en un único bloque. Esta aproximación es simple y sencilla de manejar para aplicaciones con baja-media demanda que pueden hacer uso de múltiples instancias y un balanceo de carga para satisfacer los requisitos de los clientes. En un mundo con infinidad de dispositivos IoT que se comuniquen con servicios en la nube es necesario disponer de mecanismos que aporten una mayor flexibilidad. Las **nuevas arquitecturas de microservicios** reemplazan a la visión monolítica tradicional a través de la utilización de un sistema distribuido de servicios ligeros, especializados e independientes que utilizan diversos protocolos para comunicarse entre sí. Esta independencia entre componentes o servicios

⁴¹ Amazon EC2, Online: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>

⁴² Google App Engine, Online: <https://cloud.google.com/appengine/docs/>

⁴³ Google Docs, Online: <https://www.google.es/intl/es/docs/about/>

facilita el despliegue y la escalabilidad de las aplicaciones, además del desarrollo de dichos componentes, que pueden ser realizados de manera independiente. Actualmente, uno de los mecanismos más empleados para llevar a cabo este tipo de arquitectura es a través de **contenedores Docker**⁴⁴, cuyo ecosistema se puede ver representado en la Ilustración 12.

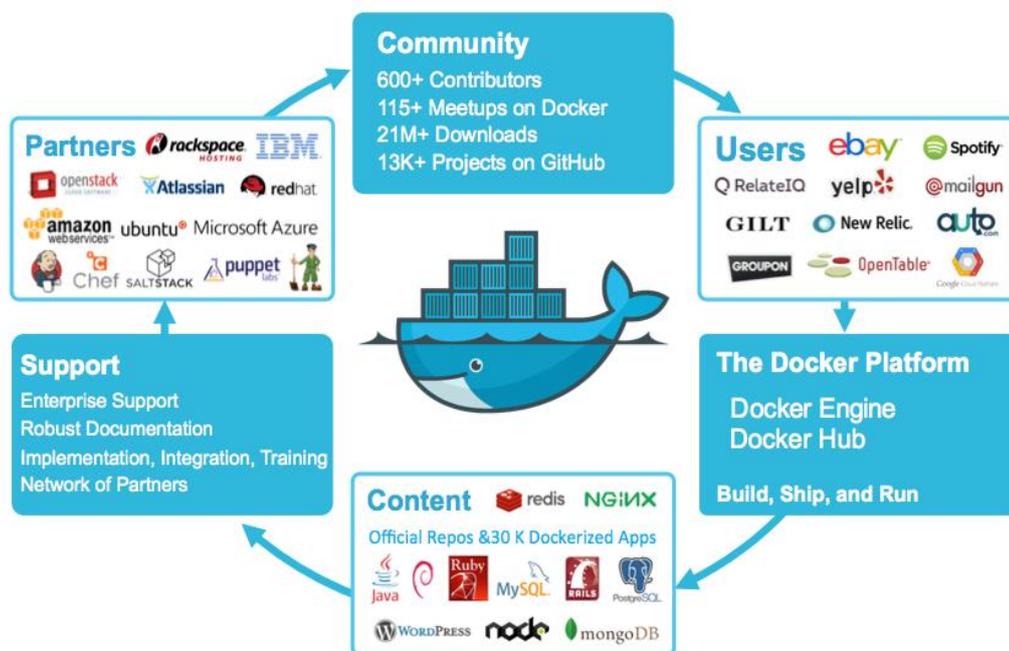


ILUSTRACIÓN 12 : ECOSISTEMA DE LA PLATAFORMA DOCKER

2.1.5 Big Data y análisis de datos

Aunque no se ha popularizado hasta años más tarde, el término “*big data*” apareció ya en el año 1997 en un artículo de científicos de la NASA que se encontraron con la problemática de visualizar un conjunto grande de datos debido a las limitaciones de memoria principal y de disco local, que no permitían almacenar al mismo tiempo el conjunto de datos a analizar debido a su tamaño⁴⁵. Por este motivo, y el propio término, se tiende en multitud de ocasiones a hablar de Big Data únicamente como un **conjunto de datos de gran volumen** sobre el que se realizan ciertas operaciones. Más aún debido a la cantidad ingente de información generada en la actualidad de múltiples fuentes como las redes sociales o los dispositivos IoT. No obstante, además del volumen de dichos datos, ha de tenerse en cuenta también la velocidad con la que estos deben procesarse. Una infraestructura para ser considerada big data debe de tener igualmente una **velocidad** adecuada para procesar los grandes volúmenes de información ingeridos a una tasa que permita obtener

⁴⁴ Docker, Online: <https://www.docker.com/>

⁴⁵Michael Cox and David Ellsworth. 1997. Application-controlled demand paging for out-of-core visualization. In Proceedings of the 8th conference on Visualization '97 (VIS '97), Roni Yagel and Hans Hagen (Eds.). IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, 235-ff..

resultados sobre las operaciones realizadas en instantes precisos. Además, también se ha de tener en cuenta la **variedad** de dichos datos.

Tradicionalmente se han almacenado grandes volúmenes de información en bases de datos relacionales de forma estructurada, en tablas con unos formatos definidos. Sin embargo, la mayor parte de los datos generados actualmente son de tipo no estructurado, esto es, que no se pueden introducir fácilmente en tablas, debido a la inexistencia de un modelo de datos para ello, como se venía haciendo hasta este momento. Estas tres variables (volumen, velocidad y variedad, Ilustración 13) son las que definen un sistema *big data* y lo que se llaman sus tres Vs. Diversos autores añaden otras dos variables más como la **veracidad de los datos** y el **valor** de los mismos.

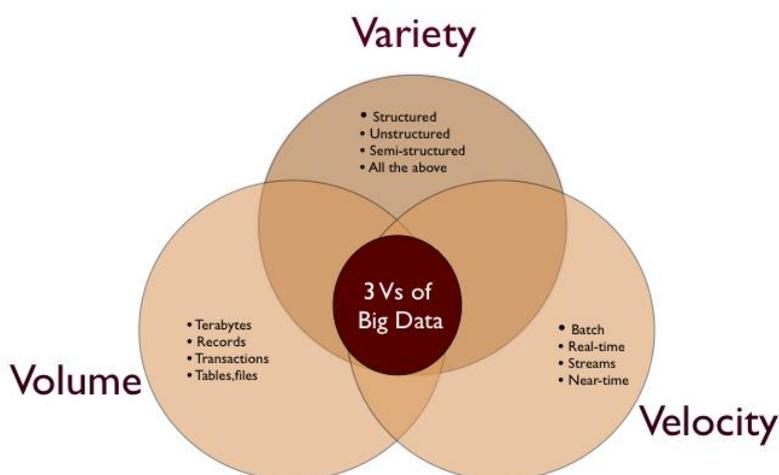


ILUSTRACIÓN 13 : LAS TRES VS DEL BIG DATA

La definición de Big Data dada anteriormente y sus variables encaja de manera directa con el **paradigma IoT**. Por un lado, la dotación de capacidades de conectividad a multitud de objetos que antes no la tenían propicia que exista un volumen de datos ingente que deberá ser recogido para su análisis. Por otro lado, muchas de las aplicaciones en las que se usan dispositivos IoT, como puede ser el caso de su aplicación en casos de uso de fabricación industrial, necesitan características de tiempo real, por lo que la variable de velocidad también es aplicable. Finalmente, destacar también la variedad de tipos de datos que se pueden recoger, que pueden ser tanto de tipo estructurado como no estructurado. En definitiva, puede verse el completo encaje entre los paradigmas IoT y Big data. La recolección de información de los dispositivos IoT, así como las arquitecturas y modelos de conectividad y diversas innovaciones planteadas no tienen sentido sin realizar un análisis posterior de la misma para proporcionar un valor añadido a los usuarios.

2.2 ARQUITECTURAS IoT

La existencia de multitud de tecnologías a diversos niveles dentro del paradigma IoT ha obligado a la creación de arquitecturas para su organización y la formalización de las interacciones entre las mismas.

Existen múltiples versiones, dependiendo del organismo de estandarización o entidad encargada de su creación.

En esta sección se recogen en primer lugar algunos patrones típicos de arquitecturas, seguido de las principales arquitecturas de referencia más relevantes tanto a nivel general de IoT como desde el punto de vista de IoT aplicado al sector industrial.

2.2.1 Patrones de arquitectura

Según la International Electrotechnical Commission (IEC) se pueden encontrar 6 principales patrones empleados para la creación de arquitecturas IoT de manera directa o combinada⁴⁶:

Arquitectura de tres niveles

La arquitectura de tres niveles se compone de las etapas de borde, plataforma y empresa. En la primera se sitúan los dispositivos que recopilan información de sensores y realizan acciones sobre actuadores, además de los gateways empleados para recopilar esta información para llevarla a capas superiores. En otras palabras, este nivel se encarga de proporcionar el acceso a los datos. El nivel de plataforma es aquel en el que se encuentran recogidos los diversos servicios empleados para transformar y analizar la información, como pueden ser algoritmos para la detección de patrones o anomalías, métodos de almacenamiento y modelado de la información, etc. Por último, se encuentra el nivel de empresa, que es el que hace uso finalmente de toda esta información a través de interfaces de usuario, servicios o aplicaciones específicas. La transmisión de los datos entre los niveles de plataforma y empresa se realiza a través de redes de servicio. En la Ilustración 14 se recoge un ejemplo de este tipo de arquitectura.

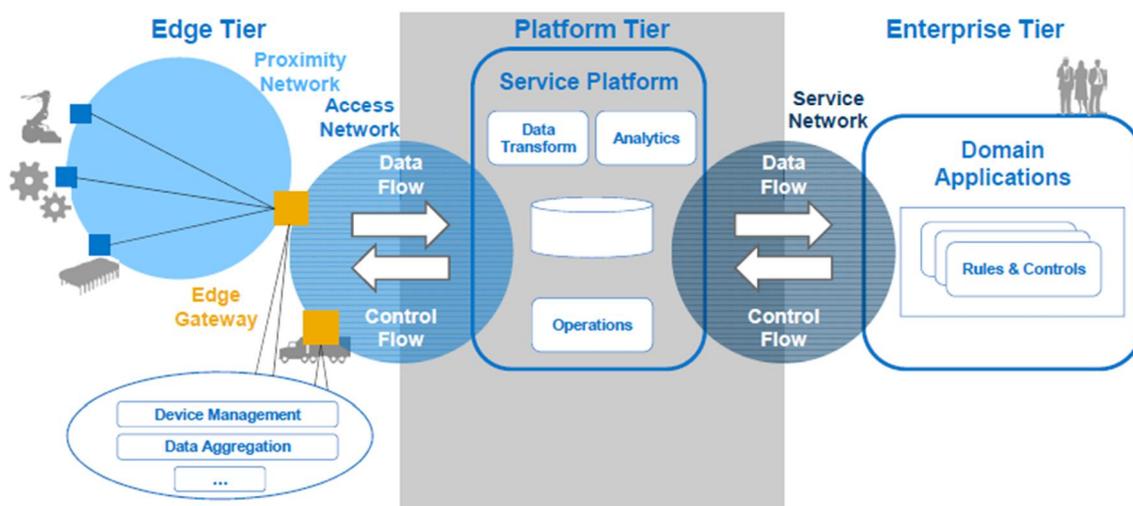


ILUSTRACIÓN 14 : ARQUITECTURA DE 3 NIVELES. FUENTE: IEC

⁴⁶ IEC, IoT 2020: Smart and secure IoT platform, 2016, <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-IoT2020-LR.pdf>

Conectividad y gestión a través de Gateway

Este patrón consiste en la existencia de un dispositivo gateway único que centraliza el acceso a los dispositivos localizados en una red de área local, además de concentrar la información proveniente de los mismos. Es el nexo de unión entre las redes WAN y LAN y como tal además de los mecanismos para el acceso a la información proporciona también funciones de gestión. La Ilustración 15 representa este tipo de arquitectura.

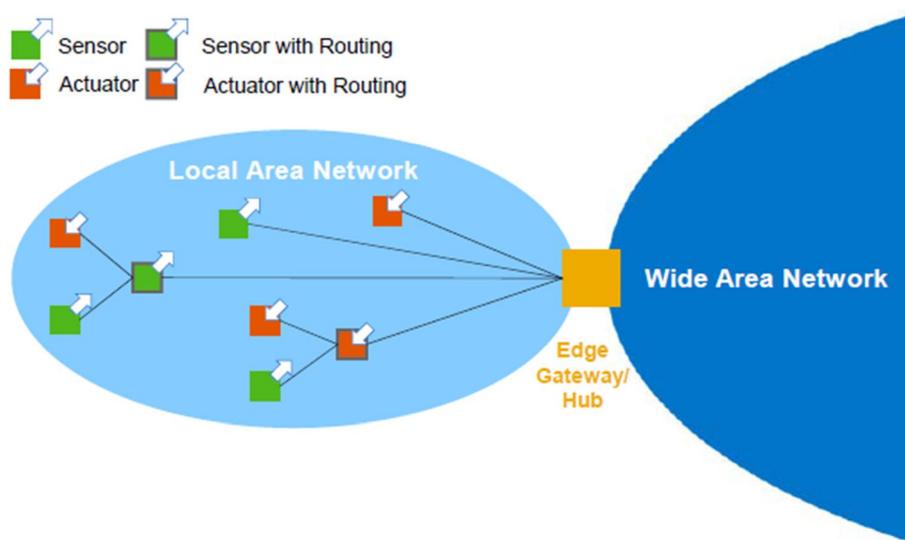


FIGURA 15 : ARQUITECTURA DE CONECTIVIDAD A TRAVÉS DE GATEWAY. FUENTE: IEC

Edge-to-Cloud

En contraste con el modelo anterior, en este caso no existe una gestión centralizada de la conectividad de los dispositivos con la red WAN ya que cada uno dispone de su propio medio directo de acceso a dicha red, por ejemplo a través de conexión 3G, 4G o LTE.

Almacenamiento de datos multinivel

Se trata de una arquitectura de datos orientada a la gestión de los mismos en diversos niveles con el fin de optimizar el acceso a los mismos así como las tareas de procesamiento necesarias. Para ello, se organizan diversos niveles de almacenamiento de la información, más cercanos o lejanos a los dispositivos, según las necesidades detectadas. Por ejemplo, cierta información de procesamiento de los sensores puede ser solamente necesaria a ese nivel, por lo que no será necesaria transmitirla a capas superiores, donde simplemente se podría almacenar un resumen de dichos datos.

Análisis de datos distribuido

Consiste en un modelo similar al anterior pero orientado al procesamiento de los datos en lugar de a su almacenamiento. Puede ser de interés realizar un primer análisis sobre los datos en niveles inferiores pero si es necesario proporcionar un análisis más detallado con necesidades de procesamiento superiores a las de los dispositivos de campo habrá que delegar esta responsabilidad en niveles superiores en los que se encuentren los centros de datos.

Arquitectura Lambda

No se trata de un modelo de arquitectura definido inicialmente para un escenario IoT, sino para el procesamiento de datos aunque es en este aspecto donde radica su relación con IoT, una fuente importante de gran cantidad de datos. La arquitectura Lambda se compone de dos mecanismos independientes para el procesamiento de flujos de datos. Por un lado aquel empleado para los flujos por lotes con alta latencia y por otro lado aquel orientado al procesamiento de flujos en tiempo real, en los que es necesaria una latencia mínima. En la Ilustración 16 se muestra este paradigma. Este modelo se considera especialmente relevante para IoT ya que puede existir la necesidad de realizar análisis en tiempo real sobre datos proporcionados por cientos o miles de dispositivos simultáneamente. Igualmente, también puede ser necesario realizar análisis sobre otros tipos de datos, como por ejemplo históricos.

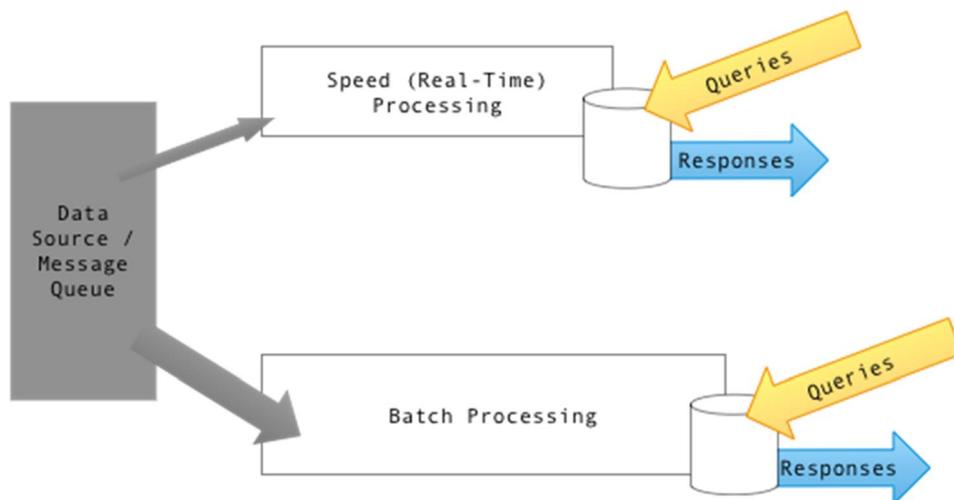


FIGURA 16 : ARQUITECTURA LAMBDA

A continuación se recogen algunos de los modelos de arquitectura de referencia para IoT más relevantes e importantes en la actualidad.

2.2.2 IoT-A

IoT-A o **Internet of Things Architecture**⁴⁷ es un proyecto europeo financiado dentro del Séptimo Programa Marco (FP7) de la Comisión Europea finalizado en el año 2013. El principal objetivo de dicho proyecto era el establecimiento a nivel europeo de un modelo y arquitectura de referencia para IoT y de las herramientas o guías adecuadas para a partir del mismo llegar a una arquitectura concreta adaptada al campo de aplicación en concreto en el que se desea aplicar.

Según el documento final generado en el proyecto⁴⁸, en primer lugar, previamente a la creación de la arquitectura final es necesario conocer correctamente el dominio en concreto en el que se desea emplear. Para ello, desde el proyecto IoT-A se establece como primer requisito la creación de un modelo de referencia que permita establecer los conceptos relevantes de un dominio y las relaciones existentes entre ellos. Esta información se emplea junto al modelo de arquitectura de referencia creado en el proyecto, formado por varias vistas y perspectivas, para llegar a dicha arquitectura a través de una serie de pasos que el arquitecto o diseñador de la misma debería seguir. Un resumen de este proceso puede verse en la Ilustración 17.

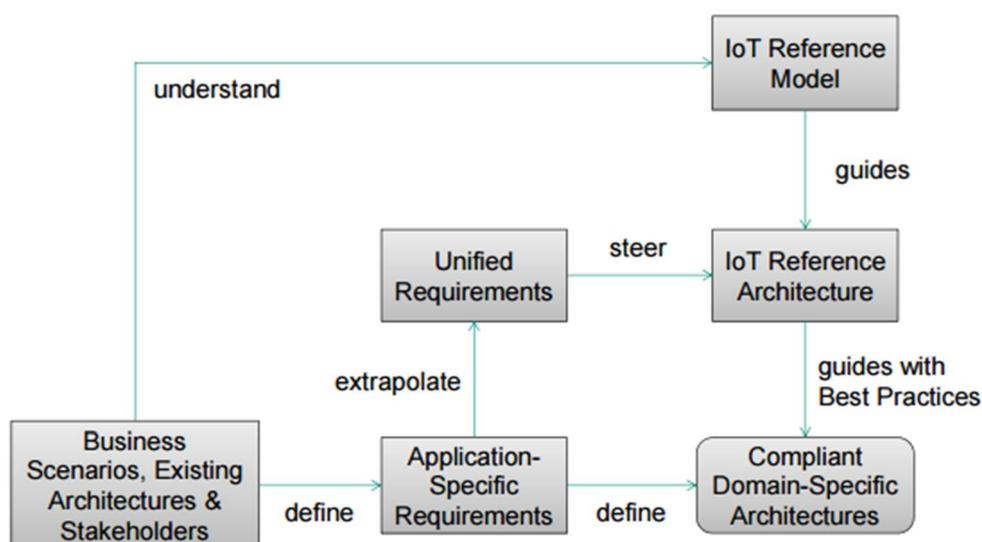


ILUSTRACIÓN 17 : PROCESO RESUMIDO PARA LA CREACIÓN DE ARQUITECTURAS IOT. FUENTE: IOT-A

El modelo de referencia IoT se considera que está formado por diversos submodelos que interactúan entre sí. Dichos submodelos son los siguientes:

- **Modelo de dominio.** Define aquellos conceptos que son pertinentes al área de interés en la que se quiere emplear la arquitectura objetivo. Estos conceptos se caracterizan a partir de una serie de

⁴⁷ Proyecto IoT-A, Online, <http://www.meet-iot.eu/iot-a.html>

⁴⁸ IoT-A, Deliverable D1.5 – Final architectural reference model for the IoT v3.0, Online, http://www.meet-iot.eu/deliverables-IOTA/D1_5.pdf

atributos y relaciones y se crea un léxico común para comprender adecuadamente el dominio de aplicación.

- **Modelo de información.** Este modelo define cómo se estructura la información en los sistemas IoT y, en términos de IoT-A, de las entidades virtuales (representaciones virtuales de entidades físicas reales). Se considera dentro de esta definición la descripción de los servicios, atributos, valores que pueden existir para ellos y metadatos.
- **Modelo funcional.** Este modelo se encarga de definir las funcionalidades que se pueden emplear para configurar un sistema IoT. Se compone de siete funcionalidades de carácter longitudinal (aplicación, organización de servicios, gestión de procesos IoT, entidad virtual, servicio IoT y dispositivo) y dos funcionalidades de carácter transversal que son necesarias para la mayor parte de las anteriores (seguridad y gestión). La ILUSTRACIÓN 18 muestra este modelo con la organización de estas funcionalidades y algunas responsabilidades asociadas a cada una de ellas.
- **Modelo de comunicaciones.** El modelo de comunicaciones se encarga de definir la forma en que los diversos elementos intercambian información de manera interoperable. Se definen las interacciones entre usuarios, recursos, dispositivos y otros elementos para las diversas capas OSI existentes y se definen los elementos necesarios para ello.
- **Modelo de seguridad, privacidad y confianza.** De manera general este modelo se encarga de definir la arquitectura de seguridad y los principales problemas que podrían surgir a este nivel. A través de este modelo es necesario realizar un análisis de riesgos y cómo mitigarlos, definir correctamente las atribuciones de cada entidad, cómo se ha de proteger la información y cómo garantizar la fiabilidad general de los sistemas IoT, entre otros aspectos.

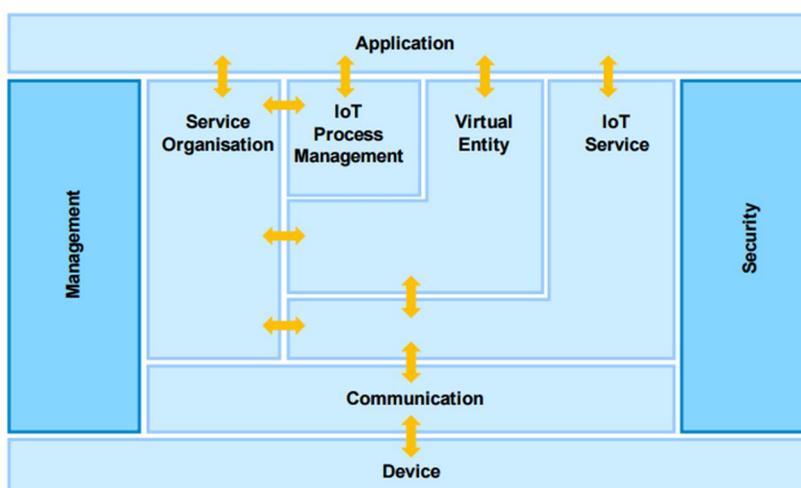


ILUSTRACIÓN 18 : MODELO FUNCIONAL DE IOT-A. FUENTE: IOT-A

Para la definición de la arquitectura de referencia, el consorcio del proyecto IoT-A se basó en la literatura de ingeniería de software empleando un *framework* basado en vistas y perspectivas de arquitectura⁴⁹. Las **vistas de arquitectura** son aquellos artefactos que definen los conceptos que componen la estructura de la

⁴⁹ Rozanski, Nick y Woods, Eoin. “Software Systems Architecture – Working with Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives”, Addison Wesley, 2011

arquitectura, se pueden tratar de manera aislada y representan las necesidades, intereses y preocupaciones de los actores implicados en la arquitectura. Las vistas de arquitectura pueden ser múltiples y variadas y por ello la arquitectura de referencia IoT-A solamente incluye algunas de ellas de manera lo más genérica posible y definiendo interacciones de alto nivel. Las vistas consideradas son las siguientes:

- **Vista funcional.** La vista funcional parte del modelo funcional y de los requisitos unificados que deberán clasificarse en diversos grupos de funcionalidades. Los componentes de funcionalidades genéricos contemplados dentro de la arquitectura de referencia pueden verse representados en la Ilustración 19 con la excepción de los de aplicación y dispositivo, que se consideran fuera del alcance de la arquitectura de referencia. Cada uno de ellos se encuentra detallado extensamente en la definición de dicha arquitectura.
- **Vista de información.** La vista de información se basa en el modelo de información y proporciona más detalles acerca de cómo se han de definir, representar, gestionar, estructurar, almacenar e intercambiar los datos, tanto aquella información que es de carácter estático como la que fluye a través de diversas entidades.
- **Vista de despliegue y operación.** Una vez que se han definido los diversos servicios, cómo estos han de interactuar y qué funcionalidades tendrán, es necesario definir qué tecnologías, dispositivos e infraestructura serán necesarios para ello, lo cual es responsabilidad de esta vista.

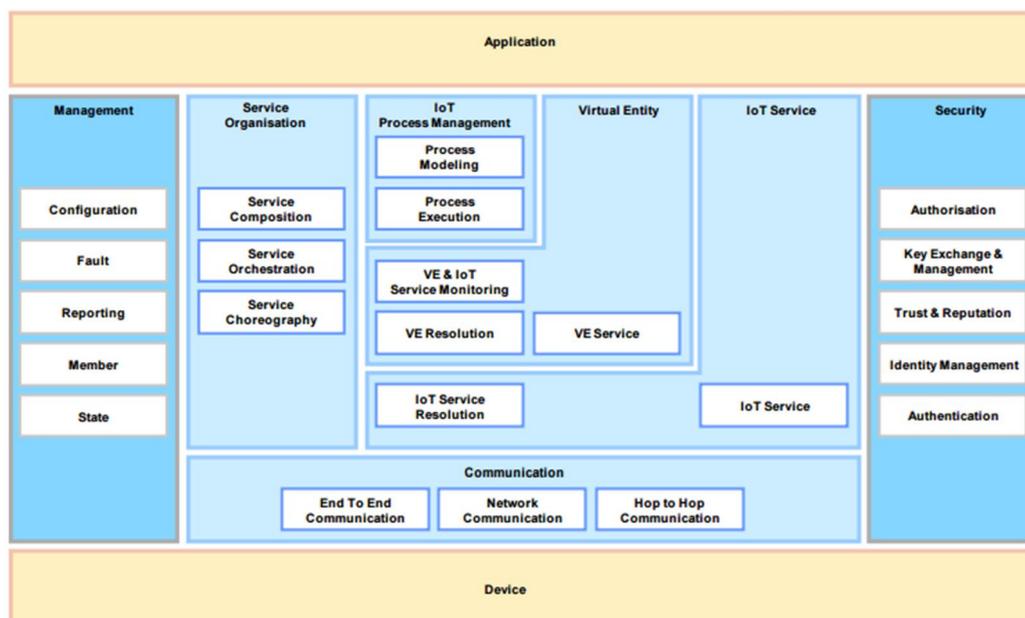


ILUSTRACIÓN 19 : VISTA FUNCIONAL Y COMPONENTES DE FUNCIONALIDAD. FUENTE: IOT-A

Según la definición considerada dentro de IoT-A⁵⁰, una perspectiva es una “colección de actividades, tácticas y guías que se emplean para asegurar que un sistema exhibe un conjunto particular de propiedades de calidad que deben ser consideradas en diversas vistas de la arquitectura del sistema”. Las perspectivas de la arquitectura de referencia consideradas dentro de IoT-A son las siguientes:

- **Evolución e interoperabilidad**
- **Rendimiento y escalabilidad**
- **Confianza, seguridad y privacidad**
- **Disponibilidad y resiliencia**

Finalmente, cabe mencionar también que la arquitectura de referencia de IoT-A proporciona una amplia lista de guías de trabajo y recomendaciones acerca de todos los puntos que se han de tener en cuenta a la hora de definir una arquitectura para un sistema IoT.

2.2.3 AIOTI

La **Alianza para la Innovación en Internet de las Cosas** (*Alliance for Internet of Things Innovation*, AIOTI) fue iniciada en el año 2015 por la Comisión Europea como un medio a través del que consensuar, potenciar y dinamizar las actividades europeas en IoT a través de la participación de diversos actores (grandes compañías, PyMES, centros de investigación, universidades, organismos públicos, etc.) partiendo de la experiencia del IERC⁵¹. Para ello, se crearon diversos grupos de trabajo concretos con la finalidad de generar una serie de recomendaciones para la implantación de IoT en sus ámbitos (agricultura, movilidad, *smart cities*...), además de grupos transversales que cubren todos los casos de aplicación. Dentro de ellos, el grupo de trabajo en estandarización ha realizado un trabajo de recopilación de información mediante el que se ha generado una arquitectura de alto nivel IoT, intentando contemplar en la medida de lo posible los componentes ya existentes en los modelos de referencia de otros organismos de estandarización y asociaciones⁵².

La principal recomendación de este grupo de trabajo para el diseño de arquitecturas IoT es que se utilice como base el estándar ISO/IEC/IEEE 42010 que especifica una serie de requisitos que han de cumplir las arquitecturas de sistemas software, vistas que han de contemplar, lenguajes de descripción, etc. Dicho estándar define una serie de modelos para construir una arquitectura (dominio, comunicaciones, funcional, información, integridad y de entidades físicas) de los cuales el **modelo de AIOTI** únicamente se centra en el de dominio (descripción de entidades y sus relaciones) y en el funcional (descripción de funciones e interfaces).

⁵⁰ Rozanski, Nick y Wodds, Eoin, “Applying Viewpoints and Views to Software Architecture”, Online, http://www.viewpoints-and-perspectives.info/vpandp/wp-content/themes/secondedition/doc/VPandV_WhitePaper.pdf

⁵¹ IERC. Online: <http://www.internet-of-things-research.eu/>

⁵² AIOTI WG03, Report on IoT High Level Architecture, 2015. Online, http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?action=display&doc_id=11812

- Modelo de dominio.** Se deriva del modelo funcional de IoT-A mencionado previamente en este documento. De manera general y a alto nivel, el usuario interactúa con un servicio IoT asociado a una entidad virtual que interactúa con una “Cosa” a través de un dispositivo, tal y como se puede observar en la Ilustración 20.

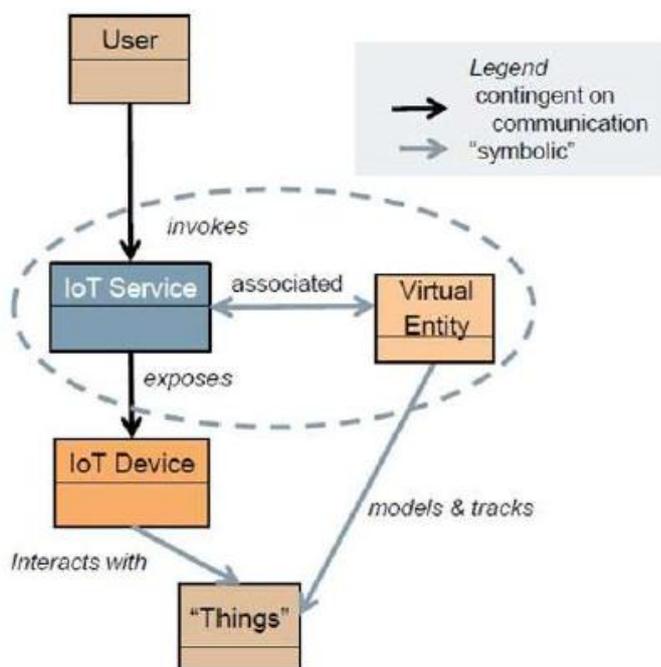


ILUSTRACIÓN 20 : MODELO DE DOMINIO AIOTI. FUENTE: AIOTI

- Modelo funcional.** El modelo funcional de AIOTI se compone de tres capas: aplicación, IoT, en la que se recogen funciones específicas de IoT como el descubrimiento, almacenamiento, semántica, seguridad, etc., y red, en la que se incluyen tanto los servicios del plano de datos como los servicios del plano de control. Como se representa en la ilustración 21, dentro de estas capas se pueden encontrar las siguientes funciones:
 - Entidad de aplicación.** Implementa las funcionalidades propias de una aplicación y puede encontrarse tanto en dispositivos como en *gateways* o servidores.
 - Entidad IoT.** Entidad que a través de una interfaz o API proporciona a una entidad de la capa de aplicación una serie de funcionalidades IoT y que, a través de otras interfaces, hacen uso de las redes de comunicaciones.
 - Redes.** Pueden ser de diversos tipos (PAN, LAN, WAN, etc.).

Por otro lado, las **interfaces** que se contemplan entre las diversas entidades y capas son las siguientes, haciendo uso de la numeración reflejada en la Ilustración 21:

1. Datos intercambiados entre entidades de aplicación. Algunos ejemplos pueden ser información de autenticación y autorización, comandos, etc.

2. Acceso a los servicios de la entidad IoT como suscripción a eventos, descubrimiento de recursos, etc.
3. Envío y recepción de datos a través de las redes
4. Interfaz para el acceso a los servicios del plano de control
5. Interfaces de comunicación entre entidades IoT para el uso de servicios o solicitarlos a otras entidades. Por ejemplo en un sistema de descubrimiento de servicios un servicio podría realizar una búsqueda de algún tipo de servicio que resolviera alguna operación solicitada.

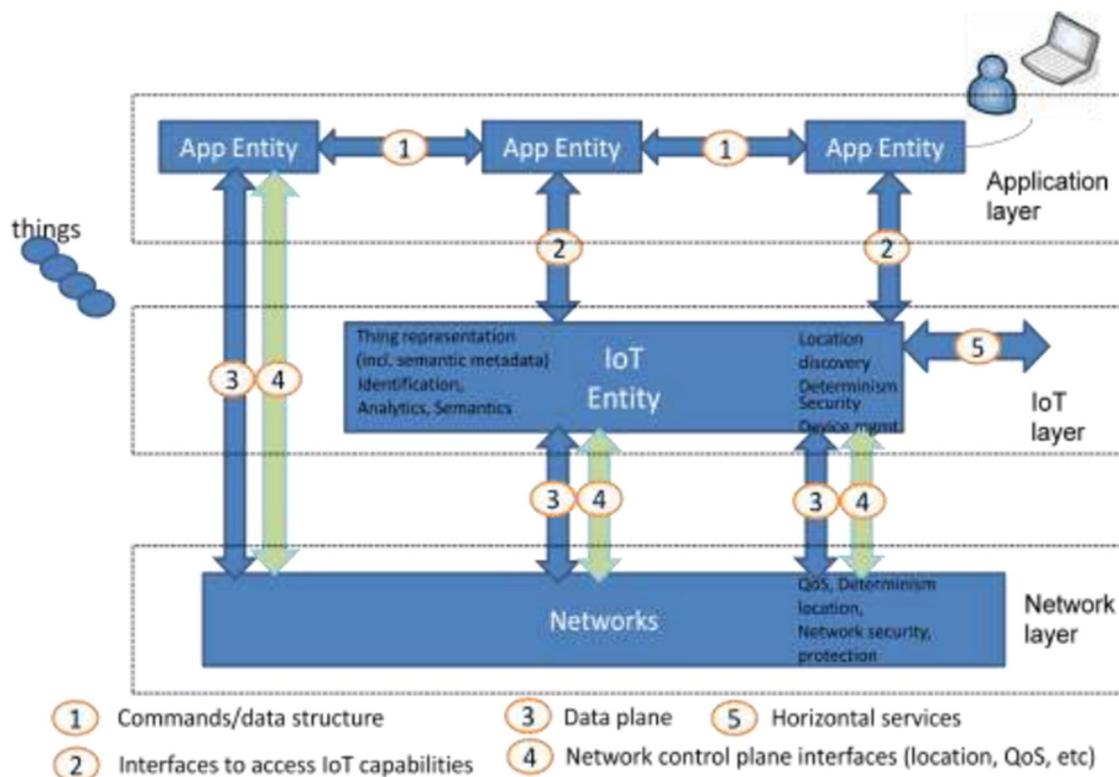


ILUSTRACIÓN 21 : MODELO DE ARQUITECTURA IOT DE ALTO NIVEL PLANTEADO POR AIOTI. FUENTE: AIOTI

2.2.4 RAMI 4.0

El **modelo de arquitectura de referencia para la Industria 4.0** (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*, RAMI) es la propuesta de la plataforma alemana para el desarrollo de la Industria 4.0⁵³ para establecer una arquitectura de referencia acerca de este paradigma en el ámbito industrial. Este modelo de arquitectura pretende tener en cuenta no sólo la presencia de los productos como una fuente más de información para los procesos productivos sino también la integración vertical de los diversos componentes localizados dentro de una planta de producción, los procesos de ingeniería y la información generada por ellos (técnica, de diseño, económica...) o la integración horizontal a través de los procesos de valor.

⁵³ <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>

El modelo RAMI, representado a alto nivel en la Ilustración 22, se basa en el estándar IEC 62264 para la definición de niveles, añadiendo en la parte inferior al producto y en la parte superior al mundo conectado. En el eje horizontal, a la izquierda, se representa el ciclo de vida de los productos y en el eje vertical se representa la estructura en capas desde el punto de vista TI de los componentes de Industria 4.0.

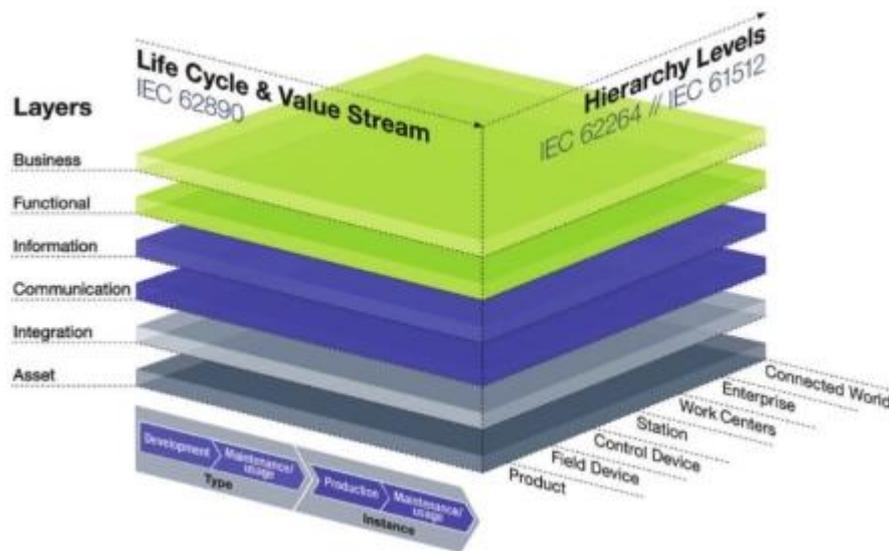


ILUSTRACIÓN 22 : MODELO DE ARQUITECTURA RAMI. FUENTE: PLATFORM INDUSTRIE 4.0

Para la **división en capas** en el eje vertical se tomó como referencia y se expandió el trabajo realizado para el modelo de arquitectura de Smart Grid (*Smart Grid Architecture Model, SGAM*)⁵⁴. Los componentes en el eje vertical y los aspectos considerados por cada uno de ellos son los siguientes:

- **Capa de negocio.** Dentro de esta capa se consideran todos los aspectos relativos a modelos de negocio y su relación con los procesos, marcos legales y regulatorios, modelado de reglas de negocio y orquestación de servicios de la capa funcional, entre otros. Cabe destacar que este nivel no se corresponde con las funciones de un ERP.
- **Capa funcional.** Esta capa se encarga de la integración en el nivel horizontal (cadena de valor), de los accesos remotos y de proporcionar los entornos de ejecución para servicios o reglas empleados por los procesos de negocio, aplicaciones y otras características técnicas.
- **Capa de información.** El objetivo de esta capa es proporcionar a la capa funcional datos estructurados, además de asegurar la integridad de los datos y la integración de la información, proporcionando el entorno de ejecución para el preprocesado de datos y eventos con el fin de obtener nueva información o generar nuevos eventos.
- **Capa de comunicaciones.** Capa con un modelo de datos único y comunicaciones estandarizadas que además proporciona servicios para interactuar con la capa de integración.

⁵⁴ CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, Smart Grid Reference Architecture, 2012. Online:

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf

- **Capa de integración.** Esta capa se encarga de la generación de eventos virtuales a partir de la información de los activos, que generan activos reales. Por otro lado provee la información de los activos que puede ser procesada por máquinas y en ella también se encuentran todos los elementos conectados con TI como sensores, sistemas HMI, lectores RFID, etc.
- **Capa de activos.** En ella se representan todos los activos físicos como maquinaria, materias primas utilizadas en los procesos de fabricación, productos y también seres humanos.

Como se ha mencionado previamente, en el eje horizontal se representa el **ciclo de vida de producto**, tomado del *draft* del estándar IEC 62890. Se consideran dos etapas dentro del mismo:

- **Tipo.** Comprende el ciclo de vida desde el diseño del prototipo hasta su producción y testeo.
- **Instancia.** Una vez que el tipo ha sido validado se inicia la producción en serie del producto. La realimentación de los usuarios de los productos puede recaer en la primera etapa.

Finalmente, en el eje restante se recogen los niveles jerárquicos de los sistemas de una planta de producción derivados de los estándares IEC 62264 e IEC 61512 con los que se intenta cubrir de manera más uniforme posible diversas funcionalidades. No obstante, estos estándares se centran principalmente en aspectos relativos a la maquinaria y a la fábrica en sí, mientras que desde la Plataforma Industria 4.0 se considera que los productos también forman parte importante de esta jerarquía, por lo que se consideran como un nuevo nivel en la parte inferior del mencionado esquema. Igualmente, estos estándares solamente representan los niveles jerárquicos dentro de una única planta de producción, por lo que se ha añadido también en el nivel superior el de “mundo conectado”, al tener que considerarse también las relaciones entre diversas fábricas, proveedores, clientes u otros actores externos. En la Ilustración 23 se referencian de manera detallada dichos niveles así como los componentes generales que conforman cada uno de ellos.

Por último, se debe mencionar que se ha contemplado la estandarización del modelo de referencia RAMI a través de la norma DIN SPEC 91345.

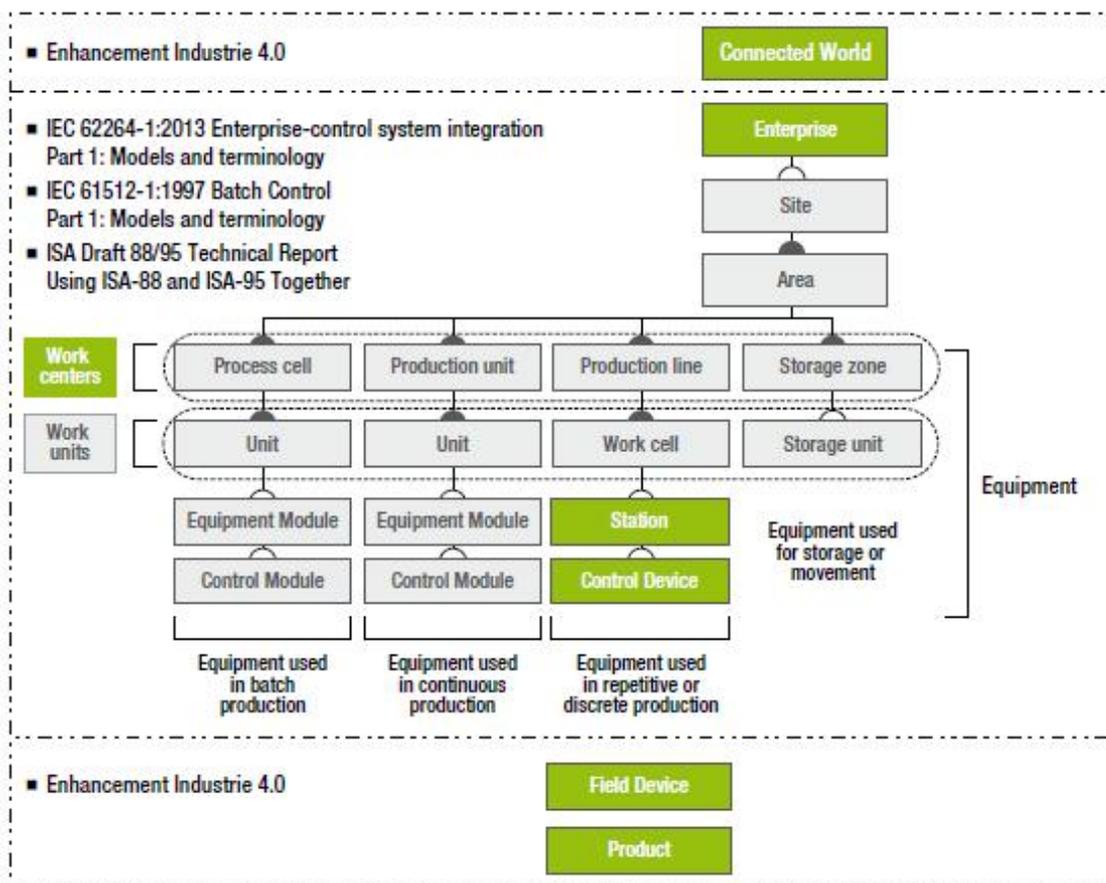


ILUSTRACIÓN 23 : JERARQUÍA DE NIVELES EN FÁBRICA. FUENTE: PLATFORM INDUSTRIE 4.0

MODELO DE REFERENCIA DE COMPONENTE DE INDUSTRIA 4.0

Según la Plataforma Industria 4.0, un **componente** es “un objeto en el mundo físico o de la información con un rol particular en el entorno de sus sistemas. Un componente puede ser, por ejemplo, una tubería, un módulo de un PLC, una lámpara, una válvula o una unidad de accionamiento inteligente. Lo más importante es que se considera como una unidad con una relación con el rol (función) que deberá desempeñar o ya lo hace dentro de un sistema”. Un componente de Industria 4.0 es un tipo especial de componente con unos requisitos y características adicionales. De manera general, por un lado se establece como requisito que dichos componentes y sus contenidos han de seguir un modelo semántico común y disponer de propiedades comunes con independencia del nivel en el que se localicen. Por otro lado, también se deberá permitir la comunicación directa entre componentes, aunque se encuentren en distintos niveles jerárquicos.

De manera más concreta, un componente de Industria 4.0 deberá disponer de las siguientes **características**:

- **Ser identificable.** En este caso se debe diferenciar entre el direccionamiento del componente de Industria 4.0 en sí del que ya pudiera existir para los objetos que lo componen.

- **Capacidad de comunicación conforme al estándar Industria 4.0.** Se plantea una arquitectura orientada a servicios para la que se está contemplando la utilización de OPC-UA como protocolo de comunicaciones y para la definición de los servicios.
- **Disponer de estados y servicios conforme al estándar Industria 4.0.** Al poder ejecutarse una variedad importante de operaciones dependiendo del entorno en el que estén desplegados los componentes, estos deben de ser capaces de soportar protocolos y aplicaciones de manera opcional para ello.
- **Tener una descripción virtual.** Todo componente tendrá un reflejo virtual en el que se recogen aspectos como sus características, relaciones con otros componentes, datos históricos, etc.
- **Disponer de una semántica común.** Para el intercambio de datos entre varios componentes estos deberán hablar un lenguaje común.
- **Seguridad y protección.** Los componentes deberán en todo momento crearse con la metodología *security-by-design* en mente además de tener en cuenta las necesidades de protección (*safety*) para dicho elemento ya que tendrán un impacto sobre el funcionamiento del componente.
- **Calidad de servicio.** El componente de Industria 4.0 tendrá que tener en cuenta el entorno en el que se localiza y sus necesidades específicas para el establecimiento de políticas de calidad de servicio. Se consideran dentro de esta categoría aspectos como la robustez necesaria en las comunicaciones, necesidades de tiempo real o sincronización entre elementos.
- **Estado.** El acceso al estado del componente debe de estar disponible en todo momento para aquella entidad que se quiera suscribir al mismo con el objetivo de hacer tareas de gestión u organizar flujos de trabajo.
- **Capacidad de composición.** Varios componentes de Industria 4.0 deberían ser posibles de combinar en uno solo de manera modular.

Como se representa en la Ilustración 24, un componente de Industria 4.0 está **formado a partir de varios elementos**:

- **Objetos.** Se trata de una entidad que al menos tiene capacidades de comunicación de manera pasiva y que puede representar conceptos tan variados como una máquina completa de producción, un elemento en concreto de una máquina (por ejemplo un sensor en concreto o un cuadro de mando) o también un *software* determinado.
- **Administration shell.** Un objeto no puede ser considerado un componente de Industria 4.0 sin la presencia del *administration shell*. Dentro de este elemento se incluyen la representación virtual de los objetos y los mecanismos de acceso a esta información. Cabe destacar que este elemento puede localizarse físicamente junto a los objetos o embebido en ellos pero también distribuido a través de diversos sistemas TI (por ejemplo en la nube). En la web de la Plataforma Industria 4.0 pueden encontrarse varios documentos de trabajo en los que se especifica con más detalle este elemento⁵⁵⁶.

⁵⁵ Platform Industrie 4.0, Structure of the Administration Shell, 2016. Online: <http://www.plattform-i40.de/i40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/structure-of-the-administration-shell.html>

⁵⁶ Platform Industrie 4.0, Network base communications for Industrie 4.0: Proposal for an Administration Shell, 2016. Online: <http://www.plattform-i40.de/i40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/network-based-communication-for-i40-it-summit.html>

- **Manifiesto.** El manifiesto es uno de los elementos del *administration shell* en el que se incluye un directorio de los datos de la representación virtual del objeto además de información relacionada con etapas de su ciclo de vida como manuales o datos CAD.
- **Gestor de recursos.** Es el elemento encargado de proporcionar el acceso e interfaces necesarias a los datos y funciones disponibles dentro del *administration shell*.

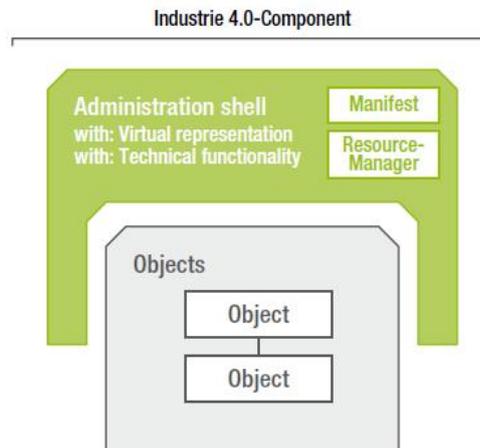


ILUSTRACIÓN 24 : COMPONENTE DE INDUSTRIA 4.0. FUENTE: PLATFORM INDUSTRIE 4.0

Finalmente, en la Ilustración 25 puede verse una representación de un componente formado a partir de varios objetos combinados y la información que puede contenerse dentro del *administration shell*.

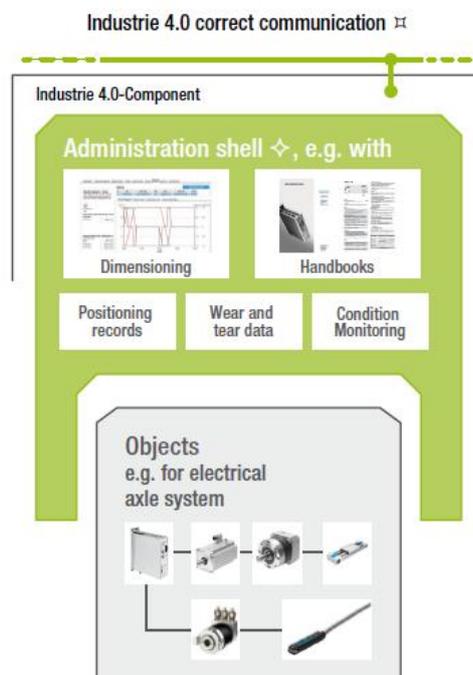


ILUSTRACIÓN 25 : EJEMPLO DE INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL ADMINISTRATION SHELL. FUENTE: PLATFORM INDUSTRIE 4.0

2.2.5 IIRA

El **Industrial Internet Consortium (IIC)**⁵⁷, organismo derivado del OMG y fundado por diversas multinacionales norteamericanas como AT&T, Cisco o General Electric, ha publicado también su propio modelo de arquitectura de referencia (*Industrial Internet Reference Architecture, IIRA*)⁵⁸. De manera similar al trabajo realizado dentro del proyecto IoT-A, el IIC proporciona una plantilla a partir de la que diseñar una arquitectura para una aplicación IIoT. En este caso, al igual que para la arquitectura de alto nivel creada por AIOTI, se utiliza como base de dicho modelo de referencia el estándar ISO/IEC/IEEE 42010.

De manera análoga a las arquitecturas de referencia desarrolladas previamente en este documento, la IIRA también organiza su estructura en varias vistas apiladas verticalmente, representando en uno de los ejes horizontales las diversas etapas del ciclo de vida de proceso y en el otro los sectores de aplicación industrial. Este modelo se ve reflejado en la Ilustración 26.

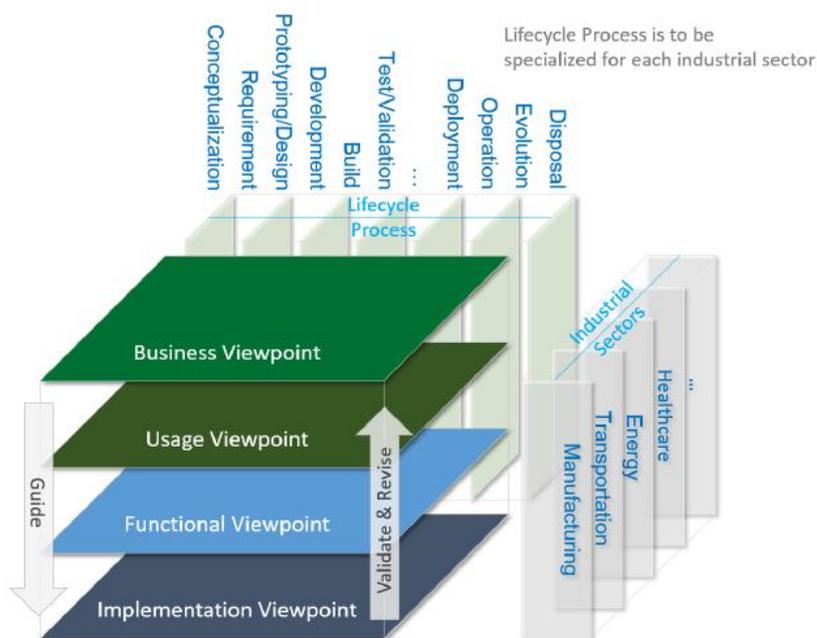


ILUSTRACIÓN 26 : RELACIONES ENTRE VISTAS, SECTORES DE APLICACIÓN Y CICLOS DE VIDA DE PROCESO. FUENTE: IIC

Las vistas contempladas dentro de la IIRA son las siguientes:

- **Vista de negocio.** Encargada de la identificación de todos los aspectos relacionados con los principales *stakeholders*, su visión, el valor que estos obtendrán y también de la definición de las principales capacidades del sistema IIoT para cumplir con los objetivos de negocio.

⁵⁷ <http://www.iiconsortium.org/>

⁵⁸ Industrial Internet Consortium, The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture, 2017. Online: https://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf

- Vista de utilización.** El objetivo de esta vista es el de llevar a cabo aquellas capacidades de negocio identificadas en la vista anterior. Las actividades de esta vista se representan como secuencias de operaciones para alcanzar un objetivo. Según el documento de especificación, dichas secuencias se denominan actividades y están formadas por tareas (algunos ejemplos de tareas pueden ser por ejemplo peticiones de autenticación o la ejecución de tests). Cada una de estas tareas está compuesta por un rol (por ejemplo administrador o agente de seguridad), un mapa funcional, que indica la relación de dicha tarea con los diversos componentes funcionales, y un mapa de implementación, que detalla aquellos elementos necesarios para implementar dicha tarea. La ILUSTRACIÓN 27 refleja estos conceptos y las relaciones existentes entre ellos.

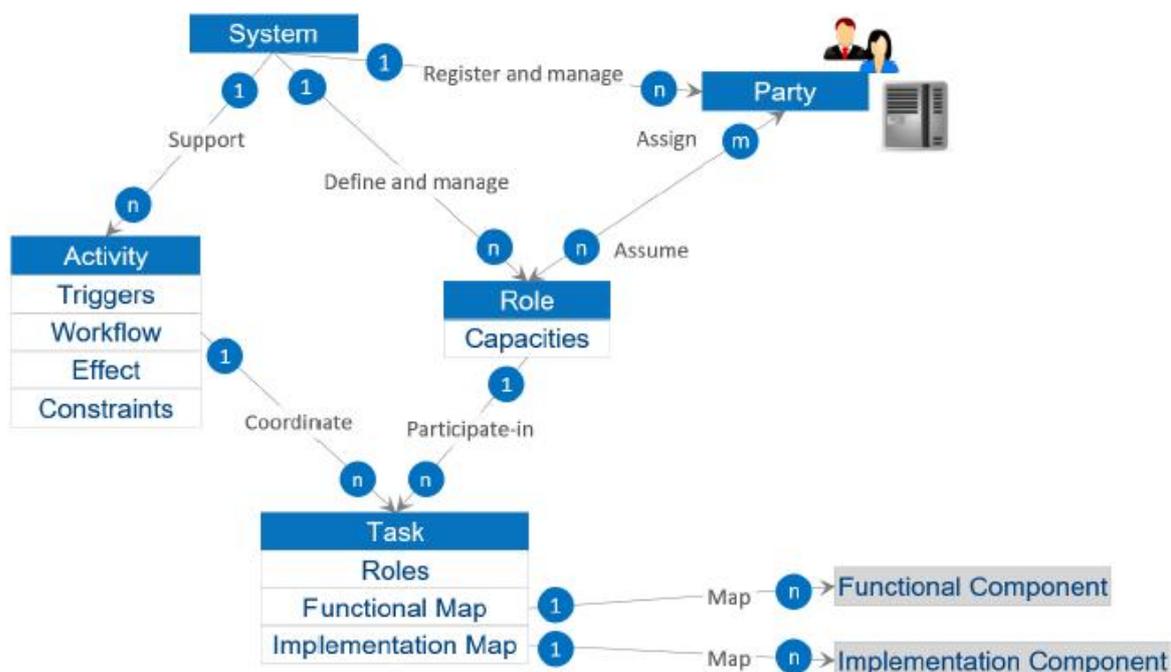


ILUSTRACIÓN 27 : PRINCIPALES CONCEPTOS DE LA VISTA DE UTILIZACIÓN Y SUS RELACIONES. FUENTE: IIC

- Vista funcional.** Se centra en las diversas funciones del sistema IIoT y cómo se encuentran relacionadas entre sí. Define por tanto las interfaces para ello así como las interacciones que se producen. La vista funcional se descompone en cinco dominios, cada uno de ellos con una funcionalidad concreta. La Ilustración 28 recoge estos dominios y las relaciones entre los mismos. Dichos dominios son los siguientes:
 - Dominio de control.** Dentro del mismo se recogen todas las funciones realizadas por parte de los sistemas industriales de control. Es por tanto una funcionalidad en la que es de vital importancia la fiabilidad y la latencia ya que es el dominio encargado de unir las interacciones entre sensorización y actuación, aspectos con restricciones temporales rígidas en un entorno industrial.
 - Dominio de operaciones.** Este dominio tiene la función de proporcionar el aprovisionamiento, gestión, monitorización y optimización de los sistemas contenidos

dentro del dominio de control. Se incluyen dentro de este dominio las capacidades de automatización y de análisis de datos de carácter general.

- **Dominio de información.** El objetivo de los sistemas contenidos dentro de este dominio es la recopilación de información del resto de dominios para modelarla, transformarla o almacenarla, entre otras operaciones. Las funciones de este dominio tienen como objetivo la extracción de un mayor conocimiento acerca de los datos manejados en los procesos industriales, además de servir de ayuda para la toma de decisiones o para la optimización de los propios procesos u otras actividades como el uso de recursos.
- **Dominio de aplicación.** Contiene aquellas funciones para la implementación de la lógica de aplicación. Se incluyen en él reglas y lógica específica para la implementación de los casos de uso que se consideran en la arquitectura, además de las APIs e interfaces de usuario necesarias para los mismos.
- **Dominio de negocio.** Dentro de este dominio se incluyen aquellas funciones que proporcionan una integración sobre diversas herramientas de negocio, como los sistemas CRM, ERP o PLM.

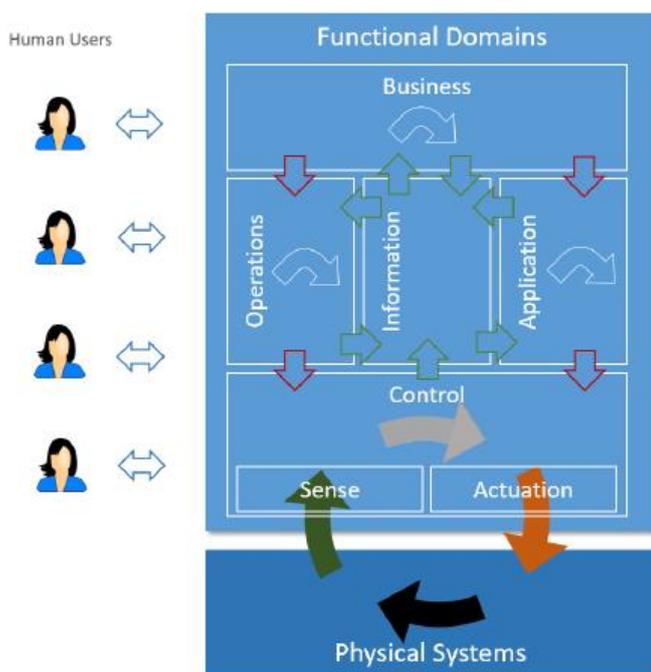


ILUSTRACIÓN 28 : DOMINIOS FUNCIONALES. FUENTE: IIC

- **Vista de implementación.** El objetivo de esta vista es establecer la representación técnica del sistema IIoT y las tecnologías que se usan en él. Se encarga por tanto de definir la arquitectura general del sistema desde un punto de vista técnico decidiendo, por ejemplo, qué patrón de arquitectura deberá implementar el sistema. En la Ilustración 29 se muestra por ejemplo el mapeo de los diversos dominios funcionales mencionados anteriormente dentro de un patrón de arquitectura de tres niveles. Otros patrones como el basado en *gateway* o en buses de datos también se contemplan en la especificación de la IIRA.

Finalmente, cabe destacar la existencia de contactos entre el IIC y la plataforma de Industria 4.0 para buscar sinergias y homogeneizar los planteamientos en la medida de lo posible para llegar a un modelo común.

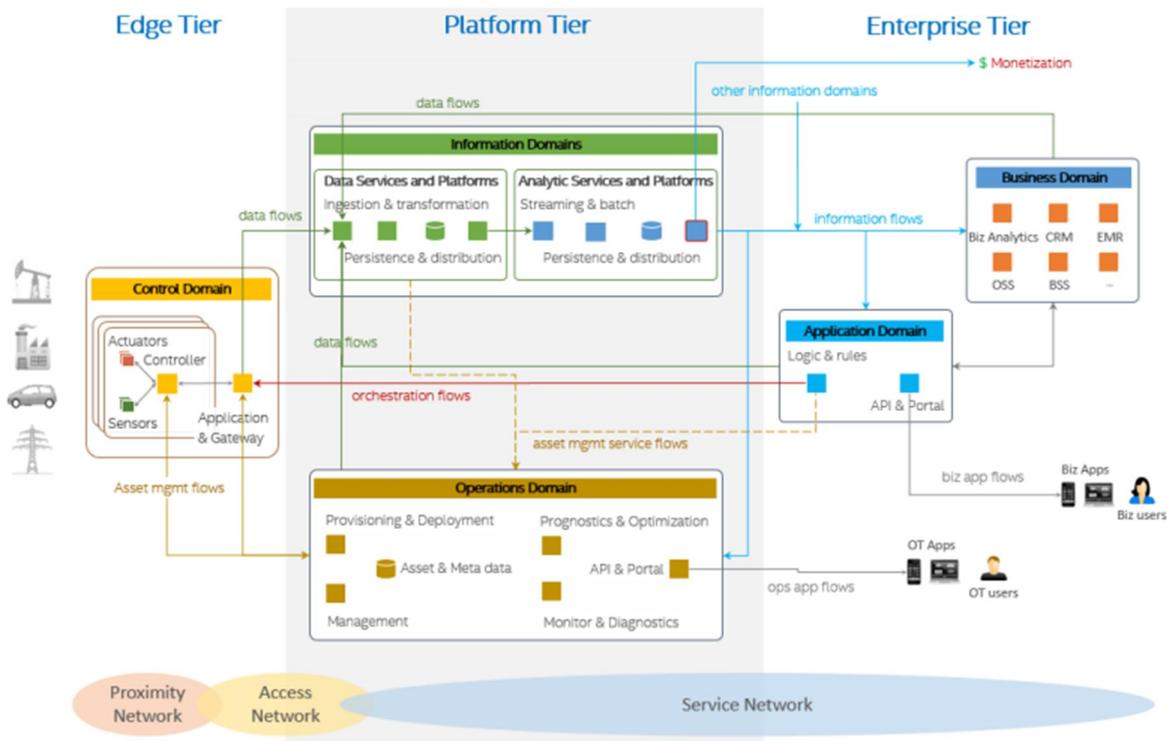


ILUSTRACIÓN 29 : ARQUITECTURA DE TRES NIVELES Y MAPEO DE DOMINIOS FUNCIONALES DE LA IIRA. FUENTE: IIC

2.3 CADENA DE VALOR DE IOT

El ecosistema IoT está integrado por diversos actores, cada uno de los cuales desempeña una función diferente, aunque son posibles muchos más. La Ilustración 30 es una posible representación de la cadena de valor de IoT. Como se ve en la figura, la cadena de valor es amplia, extremadamente compleja y abarca muchas industrias, incluyendo los fabricantes de dispositivos, proveedores de automatización industrial, operadores de red, desarrolladores de software, seguridad e integradores de sistemas.

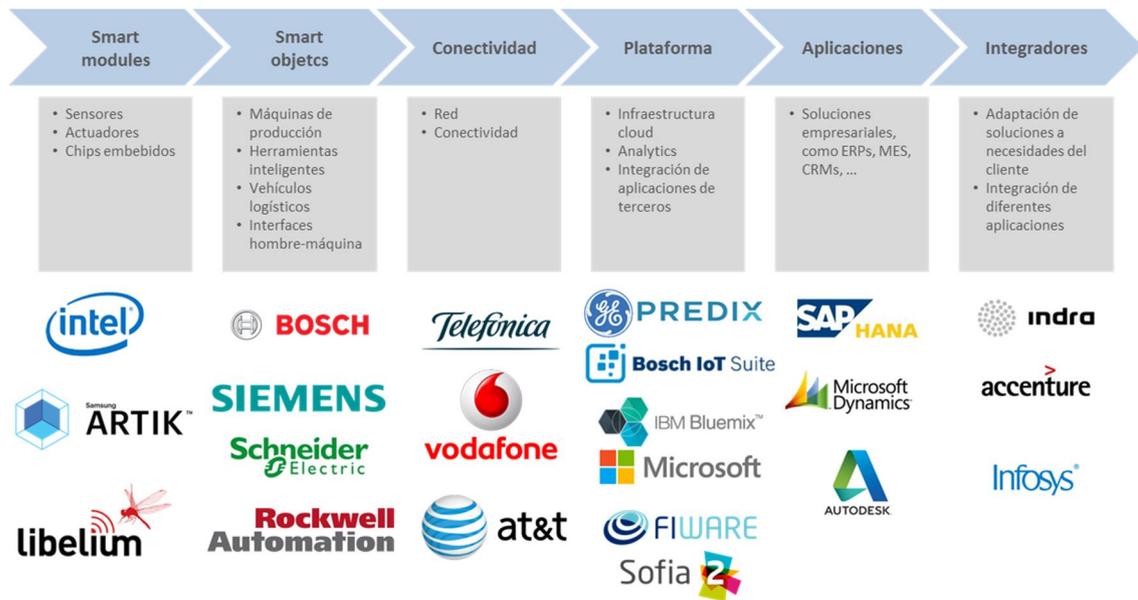


ILUSTRACIÓN 30 : CADENA DE VALOR IOT

- **Smart Modules:** esta capa cubre las empresas fabricantes de sensores y actuadores y dispositivos relacionados con sensores que se utilizan para capturar datos del entorno físico. Los vendedores de semiconductores se encuentran entre los principales proveedores de tecnologías de sensores IoT, que luego son utilizadas por otros para construir dispositivos IoT de consumo, comerciales e industriales. Esta capa también cubre las plataformas que se utilizan para especificar, diseñar y construir dispositivos IoT.
- **Smart Objects:** empresas que fabrican dispositivos, equipos, maquinaria que cuenta con sensores y actuadores para interactuar con el equipo, con inteligencia y con capacidad de comunicación.
- **Conectividad:** empresas que ofrecen servicios que transportan datos de sensores / dispositivos a sistemas de recopilación y análisis. Los proveedores de servicios de comunicaciones, además de ofrecer una capa de transporte, están tratando de convertirse en jugadores que aporten un valor añadido mayor en el entorno IoT, ofreciendo análisis y buscando otras formas de monetizar su posición en la cadena de valor.
- **Plataforma:** proveedores de plataformas de IoT, que entre otras ofrecen capacidades de gestión de dispositivos, infraestructura para almacenamiento y procesamiento de datos, herramientas de analítica de datos, etc.
- **Aplicaciones:** como el ERP, el MES, el CRM, el sistema de facturación y otras aplicaciones de gestión empresarial. IoT crea un entorno en el que estas soluciones pueden aportar un valor mucho mayor a través de los datos recopilados de IoT.
- **Integradores:** empresas que utilizando Smart Objects, plataformas de IoT y aplicaciones de otros fabricantes las integran para dar una solución específica para un cliente.

Esta representación es una simplificación de la cadena de valor de IoT y en la figura se muestran algunos ejemplos de empresas que se pueden encuadrar en alguno de los bloques de la cadena de valor. En realidad muchos de los actores no se encuadran dentro de uno de los bloques establecidos. En la sección “Big players” se puede comprobar cómo muchos de los grandes agentes de IoT ocupan diferentes posiciones en la cadena de valor, intentando capturar la mayor cantidad posible de valor. Un ejemplo de esto puede ser

Bosch, que por un lado fabrica herramientas inteligentes, dispone de una plataforma de IoT y a su vez es también proveedor de soluciones de gestión empresarial.

En cualquier caso, dada la complejidad del ecosistema IoT, difícilmente una única empresa podrá ocupar toda la cadena de valor y será necesario que colabore con otros agentes para ofrecer soluciones de IoT a los clientes.

2.3.1 Relaciones entre los agentes de la cadena de valor

Como se explicó, la representación de la cadena de valor de IoT en 6 bloques (“Smart Modules”, “Smart Objects”, “conectividad”, “plataforma”, “aplicaciones” e “integradores”) es una simplificación del escenario real: los distintos eslabones de la cadena de valor no son compartimentos estancos y en muchos casos las empresas difícilmente se pueden encajar en un rol único en la cadena de valor.

En el ecosistema de IoT puede haber distintos **modelos de colaboración** entre agentes de la cadena de valor para ofrecer una solución IoT al cliente. A modo de ejemplo ilustrativo de diferentes modos de colaboración entre los distintos agentes, en la recomendación ITU-2060-2012 ⁵⁹, la Unión Internacional de Telecomunicaciones establece un conjunto de “modelos orgánicos” para las relaciones entre diferentes entidades para el desarrollo de una solución IoT. Las siguientes figuras ilustran los diferentes modelos identificados. ITU define 4 **agentes principales en la cadena de valor**, que se pueden relacionar con los agentes que se establecen en la cadena de valor definida en este documento:

- Proveedor de **dispositivos**, que engloba los agentes “Smart Modules” y “Smart Objects”.
- Proveedor de **red**, que se corresponde con el agente “conectividad”.
- Proveedor de **plataforma**, que se corresponde con el agente “plataforma”.
- Proveedor de la **aplicación**, que engloba los agentes “aplicaciones” e “integradores”.

En este documento ITU plantea 5 modelos orgánicos desde la perspectiva de los operadores de servicios y de redes de telecomunicaciones:

- **Modelo 1:** un único actor A suministra el dispositivo, la red, la plataforma y las aplicaciones y da servicio al cliente. En este modelo el actor A es un operador de telecomunicaciones.



FIGURA 31: RELACIONES ENTRE AGENTES DE LA CADENA DE VALOR - MODELO 1

- **Modelo 2:** el actor A (operador de telecomunicaciones) suministra el dispositivo, la red y la plataforma mientras que el actor B ofrece la aplicación y da servicio a los clientes de la aplicación. El actor B podría ser un integrador.

⁵⁹ITU-Y-2060-2012, ITU, 2012, <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/es>

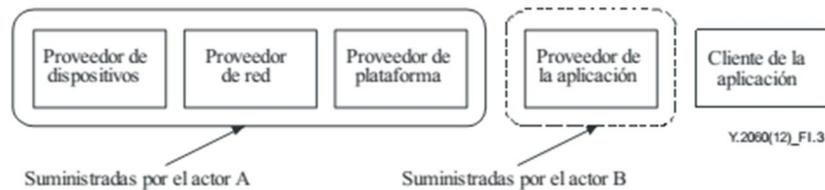


FIGURA 32: RELACIONES ENTRE AGENTES DE LA CADENA DE VALOR - MODELO 2

- Modelo 3:** el actor A (operador de telecomunicaciones) suministra la red y la plataforma, el actor B el dispositivo y las aplicaciones y da servicio a los clientes. El actor B podría ser un proveedor de dispositivos que desarrolle soluciones verticales y llegue al cliente o un integrador.

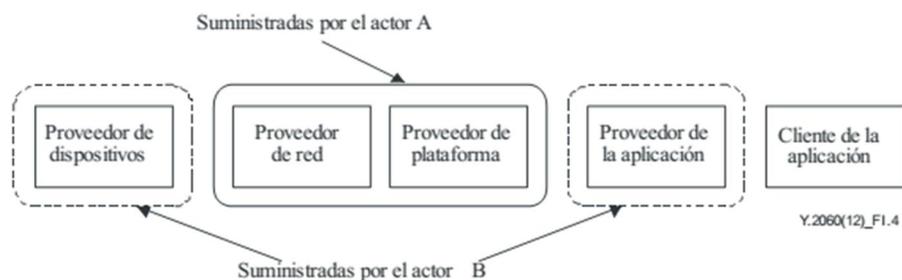


FIGURA 33: RELACIONES ENTRE AGENTES DE LA CADENA DE VALOR - MODELO 3

- Modelo 4:** el actor A (operador de telecomunicaciones) suministra la red y el actor B el dispositivo, la plataforma y suministra aplicaciones a los clientes de la aplicación.

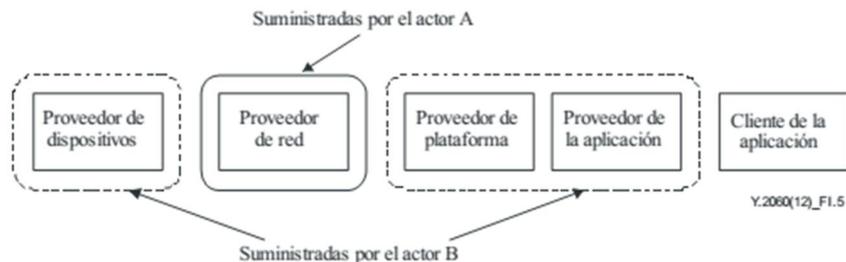


FIGURA 34: RELACIONES ENTRE AGENTES DE LA CADENA DE VALOR - MODELO 4

- Modelo 5:** el actor A (operador de telecomunicaciones) suministra la red, el actor B suministra la plataforma y el actor C los dispositivos y las aplicaciones a los clientes. En este caso el actor B es otro proveedor de servicios y el actor C es una empresa integradora.

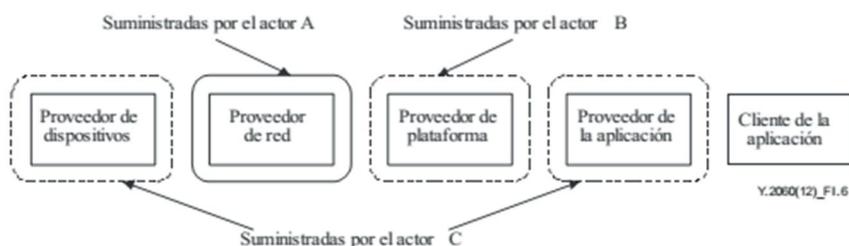


FIGURA 35 : RELACIONES ENTRE AGENTES DE LA CADENA DE VALOR - MODELO 5

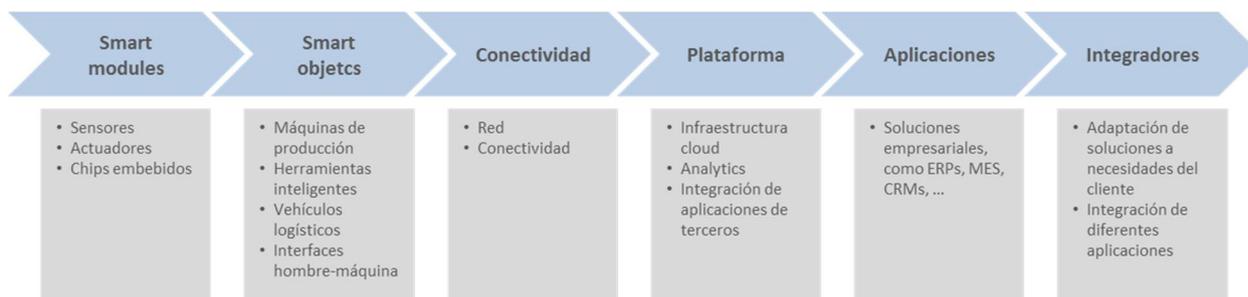
2.3.2 Modelos de negocio en IoT

En este apartado, tomando como base la representación de la cadena de valor establecida con anterioridad, se identifican modelos de negocio actuales y posibles modelos de negocio futuros de los diferentes agentes involucrados en la cadena de valor.

Para la representación de los modelos de negocio de cada uno de los actores de la cadena de valor se sigue el **Business Model Canvas**, creado por Alexander Osterwalder, del que se representan en forma de tabla el conjunto de elementos del lienzo de BMG que se consideran de mayor relevancia para este análisis:

- Segmento del cliente
- Relaciones con los clientes
- Líneas de ingresos
- Propuestas de valor
- Socios clave

Para cada uno de estos elementos se muestran distintas posibilidades que podrían formar parte del **modelo de negocio**, pero no es necesario que el modelo de negocio las utilice todas. Por ejemplo, para un modelo de negocio en el que se establezcan tres potenciales segmentos de clientes, una empresa puede optar por ofrecer sus productos/servicios a sólo uno de los segmentos y descartar los otros dos.



SMART MODULES

SEGMENTOS DE CLIENTES

- Desarrolladores de “Smart Objects”
- Integradores de soluciones específicas

RELACIONES CON LOS CLIENTES

- Web
- Asistencia a ferias especializadas de IoT industrial y de Industria 4.0
- Webinars
- Concursos de desarrollo de soluciones IoT utilizando los Smart Modules (como hackathones o similares)

PROPUESTAS DE VALOR

- Dispositivo de interacción con mundo físico (sensor ó actuador)
- Dispositivo inteligente (CPS):
 - Entorno de desarrollo de Smart Objects:
 - Estándar
 - Interoperable
 - Con capacidad de procesado y almacenamiento.
 - Con capacidad de comunicación
 - Con I/O analógicas y digitales para conexión con sensores y actuadores
 - Con un precio competitivo
- Kit de desarrollo (SDK)
- Formación
- Certificados de aptitud para desarrolladores
- Material de apoyo (libros y manuales).

FUENTES DE INGRESOS

- Dispositivo: pago por unidad.
- SDK: pago por licencia.
- Formación: pago por cursos específicos.
- Certificados de aptitud para desarrolladores:
 - Pago por cursos de formación.
 - Pago por exámenes de certificación.
- Material de apoyo (libros y manuales): pago por compra.

SOCIOS CLAVE

- Proveedores de plataformas.
- Desarrolladores de herramientas.
- Interés en crear un ecosistema de desarrolladores/integradores que utilicen su “Smart Module” para construir soluciones IoT.

SMART OBJECTS

SEGMENTOS DE CLIENTES

- Cliente final.
- Proveedores de aplicaciones.
- Integradores.

RELACIONES CON LOS CLIENTES

- Web.
- Asistencia a ferias especializadas de IoT industrial y de Industria 4.0.
- Distribuidores especializados.
- Relación comercial directa (en función del tipo de Smart Object).

PROPUESTAS DE VALOR

- Valor del propio objeto (por ejemplo, si el objeto es un taladro inteligente su valor principal es realizar agujeros).
- Inteligencia añadida al propio objeto: capacidad de colaboración con personas, detección de malfuncionamiento y alertas,...
- Servicios adicionales:
 - Servicio de reparación y mantenimiento predictivo.
 - Servicios de soporte a la operación.
 - Formación para utilización del Smart Object.

FUENTES DE INGRESOS

- Distintas opciones para el pago por el Smart Object:
 - Adquisición del objeto.
 - Leasing.
 - Modelo de pago por uso.
- Para los servicios adicionales, pago por servicio.

SOCIOS CLAVE

- Proveedores de Smart Modules.
- Proveedores de plataformas IoT.

CONECTIVIDAD**SEGMENTOS DE CLIENTES**

- Cliente final.

RELACIONES CON LOS CLIENTES

- Relaciones tradicionales del sector de operadores de telecomunicación.
- Asistencia a ferias especializadas de IoT industrial y de Industria 4.0.
- Para grandes cuentas, contacto directo con cliente.

PROPUESTAS DE VALOR

- Conectividad.
- Servicios adicionales:
 - Asesoramiento en conectividad dentro de la planta o intraplanta.
 - Red privada virtual (VPN) específica para la compañía.
 - Infraestructura Cloud para almacenamiento y procesamiento de datos.
 - Servicios de seguridad (servicios de firewall, antivirus monitorización de ciber-ataques,...).
 - Entidad intermediaria confiable en relaciones con terceros para garantías de autenticación, no repudio, ...

FUENTES DE INGRESOS

- Pago por servicio de conectividad.
- Pago por servicios adicionales.

SOCIOS CLAVE

- Proveedores de plataformas.
- Integradores.

PLATAFORMA

SEGMENTOS DE CLIENTES

- Clientes finales.
- Desarrolladores de aplicaciones e integradores.
- Fabricantes de Smart Objects.

RELACIONES CON LOS CLIENTES

- Web.
- Asistencia a ferias especializadas de IoT industrial y de Industria 4.0.
- Webinars.
- Concursos de desarrollo sobre la plataforma (como hackathones o similares).

PROPUESTAS DE VALOR

- Cliente final:
 - Plataforma estándar e interoperable.
 - Ecosistema de Smart Objects y aplicaciones desarrolladas sobre la plataforma.
 - Existencia de integradores y desarrolladores en el mercado que puedan desarrollar soluciones específicas para el cliente.
- Para desarrolladores de aplicaciones, integradores y fabricantes de Smart Objects:
 - Market place, que da a estos agentes un canal para llegar a los clientes finales.
 - Plataforma de IoT:
 - Entorno de desarrollo:
 - Estándar.
 - Interoperable.
 - Con características de seguridad y privacidad de datos.
 - Recursos Cloud para almacenamiento de datos de IoT.
 - Herramientas de analítica de datos.
 - Herramientas para desarrollar interfaces de usuario.
 - Interfaces estándares para interoperabilidad con aplicaciones y otras plataformas.
 - Kit de desarrollo (SDK).
 - Formación.
 - Certificados de aptitud para desarrolladores.
 - Material de apoyo (libros y manuales).

FUENTES DE INGRESOS

- Cliente final, multitud de modelos para ofrecer la plataforma:
 - Gratuito.
 - Freemium.
 - Pago por uso de recursos plataforma.
 - Pago por usuario.
 - Pago por servicios dentro de la plataforma.
 - ...
- Para desarrolladores de aplicaciones, integradores y fabricantes de Smart Objects:
 - Pago por uso de la plataforma para desarrollo.
 - SDK: pago por licencia.
 - Formación: pago por cursos específicos.
 - Certificados de aptitud para desarrolladores:
 - Pago por cursos de formación.
 - Pago por exámenes de certificación.
 - Material de apoyo (libros y manuales): pago por adquisición.

- Servicios de integración de sistemas.
- Market place: porcentaje a los desarrolladores en función del precio de la solución.

SOCIOS CLAVE

- Complementadores de la plataforma:
 - Desarrolladores de aplicaciones e integradores.
 - Fabricantes de Smart Objects.

APLICACIONES**SEGMENTOS DE CLIENTES**

- Cliente final

RELACIONES CON LOS CLIENTES

- Relación directa.
- A través del Market Place de la plataforma de IoT.
- A través de distribuidores especializados o de integradores.

PROPUESTAS DE VALOR

- Funcionalidades de la aplicación.
- Servicios adicionales:
 - Servicios de implantación en el cliente.
 - Formación al cliente.
 - Adaptación de la aplicación a las necesidades del cliente.

FUENTES DE INGRESOS

- Diferentes modelos de negocio para cobro por la aplicación:
 - Gratis (la fuente de ingresos viene de otro lugar).
 - Freemium.
 - Pago por licencia.
 - Pago por usuario.
 - Pago por servicio.
 - ...
- Pago por servicios adicionales.

SOCIOS CLAVE

- Proveedores de la plataforma.
- Fabricantes de Smart Objects (si la aplicación los usa).
- Fabricantes de Smart Modules (si la aplicación los usa).

INTEGRADORES

SEGMENTOS DE CLIENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Cliente final
RELACIONES CON LOS CLIENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Relación directa.
PROPUESTAS DE VALOR	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de consultoría para definición de estrategia de implantación de soluciones IoT. • Desarrollo de soluciones a medida para el cliente o integración de aplicaciones según los requisitos del cliente. • Servicios adicionales: <ul style="list-style-type: none"> ○ Formación al cliente. ○ Soporte a operación y mantenimiento de la solución.
FUENTES DE INGRESOS	<ul style="list-style-type: none"> • Pago por servicio. • Pago por servicios adicionales.
SOCIOS CLAVE	<ul style="list-style-type: none"> • Proveedores de la plataforma. • Fabricantes de Smart Objects (si la aplicación los usa). • Fabricantes de Smart Modules (si la aplicación los usa).

2.3.3 Big players

Internet de las Cosas está todavía en desarrollo, tanto a nivel de tecnología como de estandarización, pero está creciendo rápidamente. El ecosistema IoT es muy amplio y sería muy complicado recopilar todas las empresas que están trabajando en el campo. En este apartado se recoge un listado de algunas de las **principales compañías** (“*big players*”) que están liderando el desarrollo de IoT a nivel global. El objetivo es dar una perspectiva del posicionamiento de estas empresas y de su planteamiento estratégico de cara la implantación de IoT.

La Tabla 2 muestra un listado del posicionamiento actual sólo de algunas de las empresas en el mercado de IoT, pero existen muchas otras compañías ofreciendo soluciones de IoT, hardware para desarrollo de productos inteligentes, plataformas IoT, herramientas de analítica de datos...

Para cada una de las empresas, la tabla muestra:

- El nombre de la empresa.
- Un enlace a su producto principal de IoT.
- Un conjunto de columnas que indican qué ofrece la compañía con respecto a IoT:
 - Smart Modules.
 - Smart Objects.
 - Un middleware (una plataforma) de IoT para conectar y gestionar Smart Objects.
 - Herramientas para conectividad: dispositivos hardware y herramientas software para gestionar redes de dispositivos IoT y facilitar su conectividad.
 - Conectividad de redes de dispositivos IoT.

- Infraestructura Cloud para gestión de redes de dispositivos IoT y el almacenamiento de su información.
- Infraestructura de analítica de datos para procesado de datos provenientes de redes de dispositivos IoT.
- Proveedor de aplicaciones: que indica si la empresa provee soluciones de IoT.
- Marketplace: que indica si la empresa dispone de un espacio en el que el cliente puede acceder a la red de partners con los que la empresa desarrolla soluciones IoT.

EMPRESA	PRODUCTO PRINCIPAL IOT	SMART MODULE	SMART OBJECT	MIDDLEWARE IOT	HERRAMIENTAS CONECTIVIDAD	CONECTIVIDAD	INFRAESTRUCTURA CLOUD	INFRAESTRUCTURA ANALÍTICA DATOS	PROVEEDOR APLICACIONES	MARKETPLACE
Alcatel-Lucent	<u>ALE</u>				X					
Amazon Web Services (AWS)	<u>AWS IoT</u>			X			X	X		
ARM	<u>ARM IoT</u>	X								
AT&T	<u>AT&T M2X</u>	X		X		X	X	X	X	
Autodesk	<u>Fusion Connect</u>			X			X	X	X	
Bosch	<u>Bosch IoT Suite</u>	X	X	X			X	X	X	X
Cisco Systems	<u>Cisco IoT</u>	X		X	X		X	X		
Dell	<u>Dell IoT</u>			X	X		X	X		
General Electric	<u>Predix</u>	X	X	X			X	X	X	X
Hitachi	<u>Lumada</u>			X			X	X		
HP	<u>HPE Universal IoT Platform</u>			X			X	X		X
Huawei Technologies	<u>Huawei IoT</u>			X	X		X			
IBM	<u>IBM Bluemix</u>	X		X			X	X	X	X
Indra	<u>Sofia2</u>			X			X	X	X	
Infosys	<u>Infosys</u>								X	
Intel	<u>Intel IoT</u>	X		X						X
Libelium	<u>Libelium</u>	X		X			X	X		X
Microsoft	<u>Azure IoT Suite</u>			X			X	X		X
National Instruments	<u>NI IIoT</u>	X	X	X			Partners	Partners	X	
Oracle	<u>Oracle IoT</u>			X			X	X	X	
Qualcomm	<u>Qualcomm IoT</u>	X								

EMPRESA	PRODUCTO PRINCIPAL IOT	SMART MODULE	SMART OBJECT	MIDDLEWARE IOT	HERRAMIENTAS CONECTIVIDAD	CONECTIVIDAD	INFRAESTRUCTURA CLOUD	INFRAESTRUCTURA ANALÍTICA DATOS	PROVEEDOR APLICACIONES	MARKETPLACE
Rockwell Automation	<u>Connected Enterprise</u>	x	x	x			<u>MS Azure</u>	<u>MS Azure</u>	x	
Samsung Electronics	<u>Artik IoT</u>	x	x	x			x			
SAP	<u>SAP Hana</u>						x	x	x	<u>x</u>
Schneider Electric	<u>EcoStruxure Platform</u>	x	x				<u>MS Azure</u>	<u>MS Azure</u>	x	
Siemens	<u>MindSphere</u>	x	x	x			<u>SAP Hana</u>	<u>SAP Hana</u>	x	
Sigfox	<u>Sigfox</u>	x			x	x				
Telefónica	<u>Telefónica IoT solutions</u>			x		x	x	x	x	
Texas Instruments	<u>TI IoT</u>	x	x	x			<u>Partners</u>	<u>Partners</u>	x	<u>Partners</u>
ThingWorx	<u>ThingWorx</u>	x		x			x	x	x	<u>x</u>
Vodafone	<u>Vodafone IoT</u>					x			x	

TABLA 2: BIG PLAYERS DE IOT

2.4 PLATAFORMAS IOT

Se puede entender como una plataforma IoT todo aquel **conjunto de herramientas** que permite conectar “cosas” entre sí y a la red (Internet), a la vez que proporciona una serie de utilidades a las aplicaciones para abstraerse de todos los detalles subyacentes para que simplemente puedan centrarse en crear servicios de valor añadido. Por tanto, su objetivo final no es otro que el de simplificar el desarrollo de aplicaciones a través de la utilización de varios bloques preexistentes que aportan funcionalidades muy concretas y generalmente comunes a varios casos de uso. De esta forma, se disminuye el ciclo de desarrollo de aplicaciones, así como el coste para su despliegue y puede disminuirse el tiempo que una aplicación tarda en salir al mercado.

Según el trabajo realizado dentro del proyecto europeo UNIFY-IoT⁶⁰, CSA (*Coordination and Support Action*) financiada dentro de la temática ICT-30 en el programa H2020, se pueden identificar varias **funcionalidades básicas** aportadas por una plataforma IoT, tal y como se refleja en la Ilustración 36.

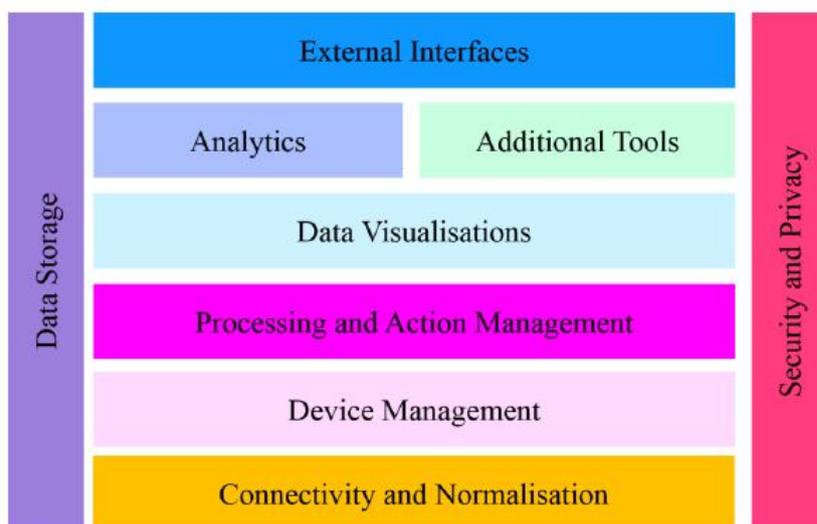


ILUSTRACIÓN 36 : COMPONENTES FUNCIONALES DE LAS PLATAFORMAS IOT. FUENTE: UNIFY-IOT

Dichas funcionalidades son las siguientes:

- **Conectividad y normalización.** Se encarga de realizar la comunicación con los dispositivos y enviarles comandos. Dado que generalmente los protocolos de comunicación existentes a nivel de dispositivo pueden ser múltiples y variados, generalmente las plataformas IoT ofrecen una API o una serie de librerías para que los dispositivos subyacentes puedan interactuar fácilmente con ellas.
- **Gestión de dispositivos.** Dentro de esta funcionalidad se encuentran todos los servicios para el registro de dispositivos, de sus propias funcionalidades, descubrimiento de servicios, *software* para la actualización de los *firmwares* de los dispositivos, monitorización del estado de los dispositivos (por ejemplo niveles de batería), etc.

⁶⁰ Proyecto UNIFY-IoT. Online: <http://www.unify-iot.eu/>

- **Gestión de procesamiento y acciones.** Generalmente, dentro de esta funcionalidad se enmarcan los motores de reglas empleados para el establecimiento de relaciones y acciones entre diversos tipos de datos obtenidos de la capa de dispositivos. La finalidad no es otra que crear un mapeado entre los eventos de bajo nivel, generados por los dispositivos y “cosas” y los eventos de alto nivel, de mayor utilidad para las aplicaciones.
- **Almacenamiento de datos.** Se encarga del almacenamiento de los datos para su procesamiento. Generalmente, debido a la tipología de los datos involucrados, las soluciones de almacenamiento empleadas utilizan arquitecturas *big data* y despliegues en la nube para mejorar la escalabilidad y disponibilidad de los servicios de almacenamiento.
- **Visualización de datos.** Las herramientas de visualización son de utilidad para la representación de la información extraída a través de las diversas herramientas disponibles en la plataforma. Se incluyen dentro de esta funcionalidad todas las herramientas para la generación de gráficos, *widgets*, interfaces de usuario, etc.
- **Análisis de datos.** Herramientas básicas para el procesamiento de datos y la extracción de conocimiento a partir de la información recopilada. Se incluyen aquí técnicas de minería de datos, algoritmos para el procesamiento de datos, detección de anomalías, etc. Pueden realizar estas actividades sobre datos históricos o almacenados en bases de datos pero también pueden procesar datos en *stream*.
- **Seguridad y privacidad.** Dentro de esta categoría se enmarcan las herramientas necesarias para la autenticación del usuario frente al sistema, políticas de privacidad y gestión de permisos, herramientas y algoritmos para proporcionar confidencialidad o integridad de la información y, en general, como el propio nombre de la funcionalidad indica, todas aquellas funciones necesarias para garantizar la seguridad y privacidad de la información manejada por la plataforma IoT.
- **Herramientas adicionales.** Dentro de esta categoría se encuentran herramientas de diversos tipos que no se pueden enmarcar en las categorías anteriores. Algunos ejemplos podrían ser herramientas para ayudar en el desarrollo de aplicaciones, despliegue u orquestación de recursos.
- **Interfaces externas.** Representa las APIs que la plataforma hace disponibles a las aplicaciones para hacer uso de todas las funcionalidades expresadas anteriormente o también para conectar sistemas externos con la plataforma.

En los siguientes apartados de esta sección se recogen algunas de las plataformas IoT existentes en la actualidad, desarrollando brevemente sus capacidades y funcionalidades. No se pretende en esta sección realizar un análisis exhaustivo de todas las plataformas IoT existentes en el mercado, que son múltiples, variadas y con diversas orientaciones, sino recopilar aquellas más relevantes clasificadas según su aplicación principal.

2.4.1 Plataformas centradas en la nube

Estas plataformas se caracterizan por estar totalmente desplegadas en instancias en la nube y por ello los principales actores involucrados en su desarrollo son las compañías con una mayor presencia en el mercado de los **servicios en la nube**, como puede ser el caso de Microsoft (Azure) o Amazon (Amazon Web Services).

PLATAFORMA	DESCRIPCIÓN	PROTOCOLOS Y APIS	MODELO DE NEGOCIO
Microsoft Azure IoT	Plataforma integrada completamente en los servicios Azure de Microsoft. Los servicios se proporcionan a través de Azure IoT Hub ⁶¹ , desplegado en la nube Azure y Microsoft proporciona también un SDK para incluir funcionalidades en el <i>gateway</i> , entre las que se encuentra la posibilidad de realizar actividades de procesado en el <i>edge</i> .	AMQP, MQTT y HTTP. Implementaciones de protocolos específicos en el <i>gateway</i> para otro tipo de dispositivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Versión gratuita para desarrolladores con limitación de datos y dispositivos. • Versiones de pago para uso medio y extensivo.
Amazon AWS IoT⁶²	La plataforma IoT de Amazon está construida sobre los servicios en la nube de la compañía. El núcleo de dicha plataforma es un <i>bróker</i> MQTT que sirve como conexión de la plataforma con los dispositivos IoT, de los que se mantiene información virtual almacenada en todo momento acerca de su estado.	MQTT y HTTP	<ul style="list-style-type: none"> • Versión gratis de prueba durante 12 meses con limitaciones de mensajes. • Pago por uso en función de los mensajes e independiente del número de dispositivos.

⁶¹ <https://azure.microsoft.com/en-gb/services/iot-hub/>

⁶² <https://aws.amazon.com/es/iot/>

IBM Watson IoT⁶³

IBM despliega su plataforma IoT Watson sobre el servicio en la nube de la compañía, Bluemix. Los dispositivos se pueden conectar a la plataforma directamente, a través de la utilización de un agente especial, o a través de *gateways*. También proporciona acceso a las diversas herramientas analíticas de Watson. Destacar por otro lado que se proporciona mecanismos para la utilización de *blockchain* en los dispositivos conectados a la plataforma.

MQTT y HTTP. Librerías en diversos lenguajes para incluir en los dispositivos y *gateways*.

- Período de prueba de 30 días limitado en dispositivos y tráfico.
- Pago basado en el número de dispositivos conectados a la plataforma

TABLA 6 : PLATAFORMAS IOT CENTRADAS EN LA NUBE

2.4.2 Plataformas industriales

Las plataformas IoT enmarcadas dentro de esta categoría están específicamente diseñadas y pensadas para su aplicación en **entornos industriales**. A diferencia de otros tipos, se trata por tanto de una serie de plataformas que se enfocan a una aplicación de mercado concreta y que, generalmente, se encuentran dominadas o influenciadas por los grandes actores dentro del dominio de aplicación industrial. Como tales, su modelo de negocio se encuentra más bien orientado a la creación conjunta con el cliente u otros colaboradores de soluciones de valor añadido para problemas concretos en lugar de realizar una venta de servicios de utilización de la plataforma y sus elementos, como era el caso de las plataformas IoT en la nube.

⁶³ <https://www.ibm.com/internet-of-things/>

PLATAFORMA	DESCRIPCIÓN	PROTOCOLOS Y APIS	MODELO DE NEGOCIO
ThingWorx⁶⁴	<p>La plataforma ThingWorx permite la creación de aplicaciones IoT <i>end-to-end</i> de una manera sencilla. Aunque es posible utilizar esta plataforma para otros casos de uso como agricultura, se encuentra principalmente centrada en casos de uso del ámbito industrial (energía, agua). Además de las herramientas de conectividad y gestión de activos, ThingWorx proporciona mecanismos para la creación de aplicaciones y conectores para la integración de otras tecnologías como realidad aumentada a través de librerías de otros proveedores.</p>	<p>API REST, protocolo propietario de ThingWorx y otros como XMPP. OPC-UA a través de la solución de Kepware⁶⁵.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos con clientes para integración de la plataforma en sus sistemas • Venta de licencias de software, soporte e implementaciones concretas.
Bosch IoT⁶⁶	<p>Bosch proporciona una plataforma modular con diversas herramientas, focalizando sobre todos sus esfuerzos en la capa de aplicación. Para ello proporciona servicios <i>cloud</i> a diversos niveles (infraestructura, plataforma y <i>software</i>) además de módulos</p>	<p>Conectores para diversos tipos de protocolos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Focalizado en el desarrollo de soluciones en la capa de aplicación

⁶⁴ <https://www.thingworx.com/>

⁶⁵ <https://www.kepware.com/en-us/>

⁶⁶ <https://www.bosch-si.com/iot-platform/bosch-iot-suite/homepage-bosch-iot-suite.html>

específicos para la gestión de dispositivos, mensajes, despliegue de aplicaciones y actualizaciones, etc.

Predix⁶⁷

Predix es la plataforma IoT industrial de General Electric que sigue un modelo *cloud* de PaaS. Se compone principalmente por un lado de los componentes necesarios para la adquisición de datos (conexión con los dispositivos e ingestión de datos) y por otro lado para el tratamiento de datos (gestión de datos, procesamiento en paralelo de datos y gestión de flujos de trabajo).

OPC-UA, Modbus y otros protocolos industriales. MQTT y HTTPS.

- Colaboraciones con desarrolladores de software y plataformas big data para proporcionar soluciones de valor añadido a la industria.

TABLA 7: PLATAFORMAS IOT INDUSTRIALES

⁶⁷ <https://www.ge.com/digital/predix>

2.4.3 Plataformas de código abierto

PLATAFORMA	DESCRIPCIÓN	PROTOCOLOS Y APIS	MODELO DE NEGOCIO
OpenIoT⁶⁸	OpenIoT es una plataforma de código abierto surgida a partir de un proyecto europeo del programa FP7 del mismo nombre. La plataforma está disponible para descarga en el repositorio de su página web y permite tanto la conexión de dispositivos como de servicios web a través de diversas interfaces de usuario. Por otro lado, proporciona también los mecanismos necesarios para añadir información semántica a los datos recopilados de sensores, composición de servicios, visualización de datos y optimización de los recursos empleados.	Protocolos y APIs estándar.	<ul style="list-style-type: none"> Al ser resultado de un proyecto europeo de código abierto depende del plan de explotación de cada uno de los partners.
FIWARE⁶⁹	FIWARE es también una plataforma basada en diversos componentes de carácter abierta y financiada por parte de la Comisión Europea para su aplicación inicial en el entorno <i>smart city</i> . Estos componentes son conocidos como <i>Generic Enablers</i> y proporcionan diversos tipos de funcionalidades como	HTTP y <i>enablers</i> para la integración a través de otros protocolos.	<ul style="list-style-type: none"> Sostenibilidad a través de los miembros de la fundación FIWARE a través de diversos niveles de membresía.

⁶⁸ <http://www.openiot.eu/>

⁶⁹ <https://www.fiware.org/>

funciones de seguridad, mecanismos de comunicación y *brokers* o herramientas *big data*. Destacar el uso que se hace del estándar NGSI para facilitar la conexión de datos de diversos tipos de protocolos y dispositivos. Por otro lado, es importante mencionar que dispone de un espacio dedicado para las pruebas de servicios en desarrollo y nuevas aplicaciones (FIWARE Lab).

Kaa⁷⁰

Kaa es un *middleware* de código abierto para la construcción de soluciones IoT *end-to-end*. Proporciona una serie de herramientas creadas en diversos lenguajes de programación para abstraer las tecnologías empleadas para la conexión de red. Dispone de un sistema de comunicaciones basado en *topics*, al estilo de MQTT y permite la conexión de diversas plataformas de análisis de datos.

API REST. Para aquellos dispositivos que no soportan IP Kaa supone que se conectarán a través de un *gateway*.

- Proyecto de código abierto. Es responsabilidad del usuario disponer un hosting.
- Servicios de consultoría sobre el uso de la plataforma.

TABLA 8: PLATAFORMAS IOT DE CÓDIGO ABIERTO

⁷⁰ <https://www.kaaproject.org/>

2.4.4 Plataformas de start-ups

PLATAFORMA	DESCRIPCIÓN	PROTOCOLOS Y APIS	MODELO DE NEGOCIO
Xively ⁷¹	Xively es probablemente una de las primeras plataformas IoT en salir y una de las más longevas, iniciando su andadura bajo el nombre de Pachube, plataforma para la compartición de datos de sensores. Xively ofrece soluciones para el envío de mensajes, desarrollo de aplicaciones, interfaces en la nube y almacenamiento de datos y eventos.	HTTP y MQTT.	<ul style="list-style-type: none"> • Suscripción gratis con acceso a las APIs y capacidades limitadas. • Suscripciones anuales y mensuales con cobro según el uso de la plataforma.
Carriots ⁷²	Carriots es una plataforma IoT de origen español que ofrece un modelo PaaS con el objetivo de unir las aplicaciones de sus clientes con diversos sistemas de TI.	HTTP, MQTT, cURL y hURL	<ul style="list-style-type: none"> • Versión gratis con acceso limitado a funcionalidades. • Pago por uso de dispositivos y de otras funcionalidades de la plataforma.

TABLA 9: PLATAFORMAS IOT DE START-UPS

⁷¹ <https://www.xively.com/>

⁷² <https://www.carriots.com/>

3. APLICACIONES POR SECTOR

Las características propias de las tecnologías IoT y sus principales funciones (captación de datos, interconexión de activos, etc.) causan que tengan aplicación directa en múltiples sectores. En esta sección se recogen de manera resumida algunas de las aplicaciones que se pueden encontrar en la actualidad donde ya se están aplicando con éxito estas tecnologías, además de otras que se están planteando de cara a un futuro.

3.1 AGROALIMENTACIÓN Y BIO

El sector agroalimentario es una de las principales apuestas de futuro para la aplicación de tecnologías IoT. El uso de tecnologías innovadoras proporcionará una serie de beneficios como un aumento de la productividad, un mejor conocimiento del estado de los cultivos, animales o alimentos y una disminución del impacto ecológico a través de una mejora de eficiencia (energética, de gestión de residuos, gestión de tratamientos, etc.). La aplicación de tecnologías IoT para la recopilación de información en conjunción con otras para su procesamiento, análisis y la realización de actividades de optimización a lo largo de **todas las etapas de la cadena de valor agroalimentaria** (*from farm to fork*) constituyen el término denominado como **agricultura inteligente** o *smart farming*.

En el ámbito de los cultivos es de especial interés la **monitorización de diversos parámetros** para su utilización posterior en conjunto con técnicas de análisis de datos que permitan optimizar la recolección de los cultivos o el tratamiento y control de plagas. Ejemplos de parámetros que se monitorizan a través de sensores son la humedad de la tierra, de las hojas, tamaño de los frutos o concentraciones de diversos compuestos. Por otro lado, también existen aplicaciones para las que no sólo la sensorización es importante, sino también la actuación. Es el caso de los sistemas de riego inteligente. Plataformas como Thingworx⁷³ ya dan soporte a este tipo de aplicaciones innovadores. Como casos de uso en Galicia, cabe mencionar el ámbito de la viticultura como uno de los principales sectores en los que se aplican tecnologías de sensorización, comunicaciones y análisis de datos para mejorar el rendimiento de estos cultivos y de los productos generados a partir de ellos^{74,75}.

Una de las principales áreas de innovación dentro de este sector se encuentra en el **ámbito ganadero**, concretamente de tipo bovino. Por ejemplo, en el proyecto Smart Dairy Farming⁷⁶ de Holanda, una de las principales regiones en las que se está trabajando con éxito en la aplicación de tecnologías innovadoras, se ha trabajado en construir un sistema para hacer disponible a los granjeros los diversos tipos de datos relativos al ganado vacuno de sus explotaciones a través de un *bróker* específico para la gestión de esta información. La Ilustración 37 contiene un esquema básico de la arquitectura de este sistema.

⁷³ Smart Farming Thingworx: <https://www.thingworx.com/ecosystem/markets/smart-connected-systems/smart-agriculture/>

⁷⁴ Monet viticultura: <http://monet-ti.com/>

⁷⁵ SensITG viñedos: http://www.itg.es/?page_id=518

⁷⁶ Smart Dairy Farming: <http://smartdairyfarming.nl/en/>

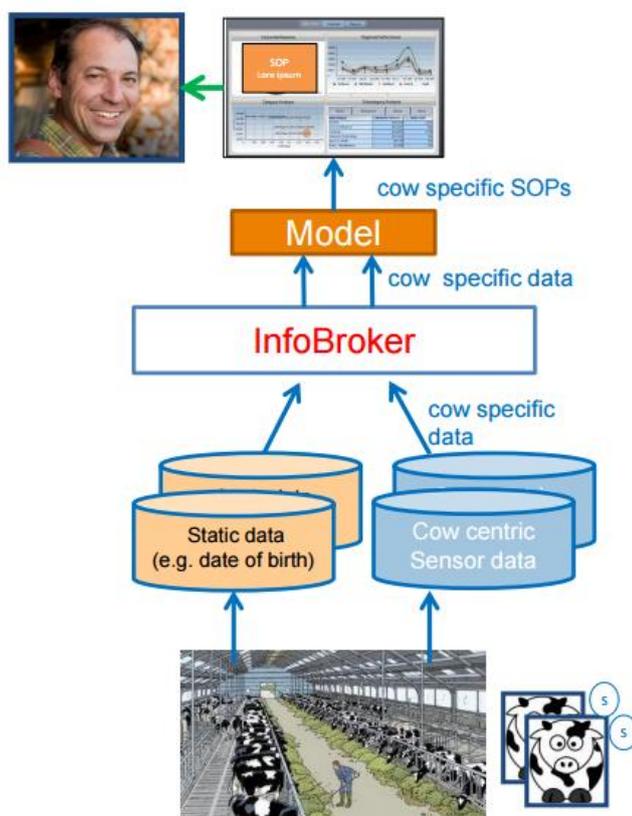


ILUSTRACIÓN 37 : DAIRY INFOBROKER. FUENTE: PROYECTO SMART DAIRY FARMING

Es también de especial relevancia el dominio de la **seguridad alimentaria**, en el que se emplean dispositivos inteligentes para la monitorización de calidad a través de la cadena de valor (deterioro de cualidades organolépticas, rotura de la cadena de frío, etc.) o para la interacción con etiquetado inteligente⁷⁷⁷⁸.

Finalmente, cabe destacar como a nivel europeo se trata de un ámbito en el que las innovaciones en toda la cadena de valor agroalimentaria cobran cada vez mayor importancia. Muestra de ello son las diversas actividades realizadas por ejemplo a través del grupo de agricultura y seguridad alimentaria de AIOTI (WG 6)⁷⁹ o la reciente concesión del proyecto IoF2020⁸⁰, un piloto a gran escala involucrando a diversos países y entidades europeas para llevar innovaciones existentes en el campo IoT al sector agroalimentario.

⁷⁷ <http://eventi.ambrosetti.eu/technologyforum-2016/tracking-and-traceability-cisco-and-iot-for-food-security-and-safety/>

⁷⁸ <http://www.vitria.com/leveraging-iot-analytics-for-cold-chain-management/>

⁷⁹ <https://aioti-space.org/>

⁸⁰ Proyecto europeo IoF2020. Online: <https://iof2020.eu/iof/iof2020>

3.2 AUTOMOCIÓN

La industria de la automoción sigue un modelo de **fabricación en serie** basado en líneas de producción por las que avanza el producto mientras se añaden sus componentes. Hasta ahora, se trataba de un sector caracterizado por la fabricación en masa de series grandes de vehículos con configuraciones limitadas, pero en la actualidad esta filosofía se está abandonando paulatinamente en pro de una fabricación basada en series cortas con múltiples opciones de **personalización** en función de los gustos y preferencias del cliente. Por otro lado, la globalización de los mercados causa la **deslocalización de la fabricación de vehículos**, lo que provoca la necesidad de incrementar la digitalización de la industria con el objetivo de mejorar las comunicaciones entre plantas de un mismo grupo o con el resto de actores de la cadena de valor como proveedores o el propio cliente. Con el fin de apoyar este nuevo modelo de producción, muchas de las empresas clave del sector han desarrollado, o plantean hacerlo, varias soluciones basadas en IoT. En los siguientes párrafos se mencionan brevemente algunas de ellas.

Dentro del **grupo PSA** se plantea un modelo de fábrica del futuro para dentro de unos años totalmente centrada en el cliente y sus preferencias a lo largo de toda la cadena de producción⁸¹. Así, desde el comienzo el cliente realizará un **pedido personalizado** y a su medida del vehículo, transmitiéndose esta información a la planta de producción. De manera automática se solicitarán las piezas necesarias a los proveedores y en la línea de producción se asociarán automáticamente con la plataforma del vehículo a construir durante todo el proceso de fabricación. Dentro de la planta de producción se recopilará toda la información de los procesos y se analizará en tiempo real. De esta forma, se facilitará, por ejemplo, la detección de defectos inmediatamente, pudiendo enviar las órdenes adecuadas a los robots de producción para corregirlos. Finalmente, una vez que el vehículo esté terminado se notificará automáticamente al cliente para proceder a su entrega. Como se puede ver, el modelo planteado abarca una integración y comunicaciones totales en toda la cadena de valor, implicando a diversos actores como proveedores y clientes, además del propio fabricante.

El grupo alemán **BMW** trabaja también en la incorporación de diversas tecnologías innovadoras dentro de sus plantas de producción. Por ejemplo, en varias de sus plantas alemanas se ha introducido un sistema de **recopilación de datos de consumo energético** de la maquinaria y robots, que, a través del apoyo de una plataforma de análisis de datos, permite conocer con antelación consumos superiores a lo normal y detectar inmediatamente fallos o desviaciones en el comportamiento del equipamiento⁸². Por otro lado, BMW también colabora con la compañía Ubisense para emplear su sistema de posicionamiento en interiores en su planta de producción en Reino Unido⁸³. Dicho sistema permite a la empresa obtener en tiempo real información acerca del comportamiento de los diversos procesos de producción con el objetivo de llevar a cabo mejoras operacionales en base a esta información. Igualmente, BMW también ha realizado pruebas con **Google Glass** en el pasado para incorporar esta tecnología en el día a día de los operarios de producción, lo que les permitiría a través de una interfaz mejorada recibir información en tiempo real del desempeño de los procesos, el estado de los vehículos y otros parámetros⁸⁴.

⁸¹ <https://www.groupe-psa.com/en/automotive-group/industrial-performance/>

⁸² <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0195345EN/industry-4-0:-intelligent-energy-data-management-for-sustainable-production?language=en>

⁸³ <https://ubisense.net/en/blog/manufacturing/ubisense-industry-leading-rtls-technology-1>

⁸⁴ <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/technology/seeing-into-the-future>

Mitsubishi es otra de las empresas de automoción que ha decidido aplicar **tecnologías de análisis de datos** y de mejora de comunicaciones a sus tareas de producción para construir una fábrica inteligente⁸⁵. Su lema en este caso es “convertir lo invisible en visible” a través de la captura de datos en tiempo real, que previamente no se realizaba, lo que permite visualizar problemas que no se detectaban en el pasado. Para ello, colaboran con diversas compañías para construir un canal de comunicaciones que permite unir directamente la información de planta con otros sistemas empresariales como el MES o el ERP (Ilustración 38). Según expresan, estos desarrollos permitirán incrementar la calidad de los productos, reducir el *lead-time* o mejorar la gestión operacional, entre otros avances.

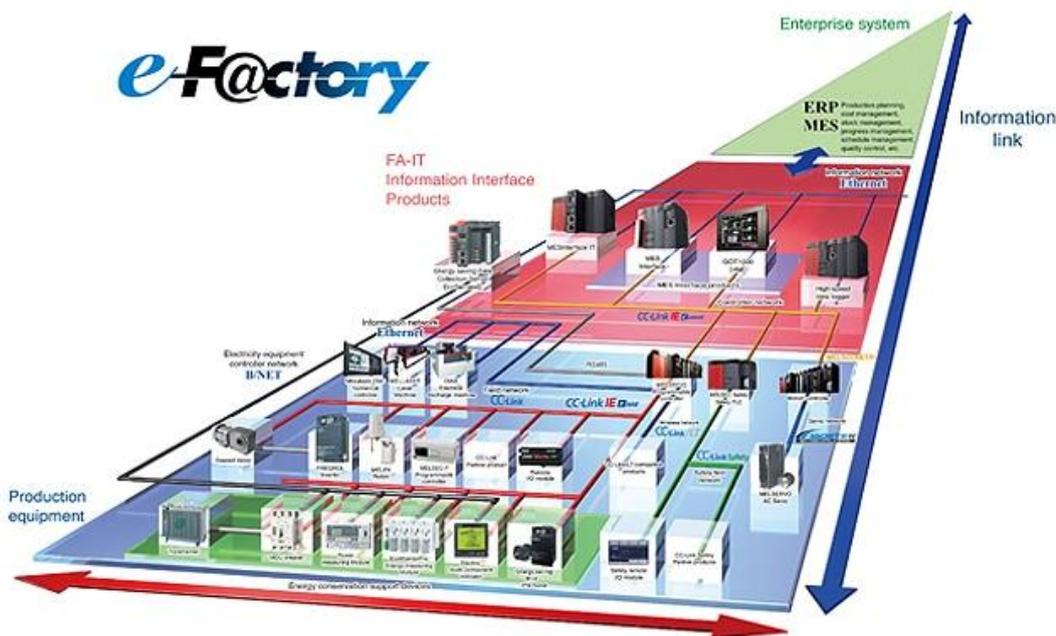


ILUSTRACIÓN 38 : SOLUCIÓN E-F@CTORY DE MITSUBISHI. FUENTE: MITSUBISHI

3.3 MADERA / FORESTAL

Dentro del sector de la madera y forestal se pueden encontrar diversos tipos de soluciones basadas en IoT, sobre todo en la etapa de **procesamiento de materias primas**, con un carácter más industrial, aunque también se pueden encontrar múltiples casos de uso en producto final en el conocido como **mueble inteligente** (p.e. Ikea ha mostrado interés en esta línea⁸⁶).

La compañía **John Deere**, dedicada a la fabricación de maquinaria agrícola, ha creado la solución **ForestSight**⁸⁷ para la optimización del proceso de recolección de la madera. Su solución se centra en varios aspectos. Por un lado, en la optimización del trabajo de la maquinaria forestal a través de la recopilación de

⁸⁵ <http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/catalog/sol/efactory/l16012/l16012e-c.pdf>

⁸⁶ <http://www.networkworld.com/article/2917281/internet-of-things/ikea-has-plans-for-iot-first-up-networked-kitchen.html>

⁸⁷ https://www.deere.com/en_US/products/technology-solutions/forestry-technology-solutions/forestry-technology-solutions.page

diversos parámetros como el gasto realizado en gasolina, el tiempo de uso o su localización. A partir de estos datos se pueden realizar diversos análisis para llevar a cabo esta optimización. Otra de las principales funcionalidades de ForestSight es la optimización de la disponibilidad de la maquinaria a través de herramientas de pronóstico y mantenimiento predictivo. Finalmente, también se permite la monitorización en remoto y tiempo real de la maquinaria forestal.

La empresa irlandesa **Treemetrics**⁸⁸ ofrece una solución completa para la gestión de áreas forestales en la que además de la posibilidad de emplear sensorica y etiquetas RFID para el inventariado de los árboles se ofrece también el uso de otras tecnologías como LIDAR y el apoyo de herramientas para la visualización de toda esta información sobre sistemas GIS y aplicaciones móviles.

Por último, dentro del área forestal cabe mencionar también a la empresa eslovena **Tajfun**, fabricante de maquinaria para su uso en actividades forestales, que ha contemplado el uso de Azure IoT para mejorar su próxima línea de productos⁸⁹. El objetivo es recopilar diversos parámetros como la presión del sistema, número de horas de trabajo, longitud de los troncos o humedad de la madera con la finalidad de emplearlos para poder monitorizar las máquinas vendidas a los clientes y solucionar problemas de manera remota.

3.4 NAVAL

En cuanto a la aplicación de tecnologías IoT en el sector de construcción naval, la aplicación en el proceso de fabricación de diversas tecnologías de sensorización y comunicación es actualmente una tendencia con el objetivo final de llegar a la existencia del llamado **barco conectado**. Hyundai Heavy Industries ha llegado a un acuerdo con Accenture para la creación de la **plataforma OceanLink**⁹⁰ para aportar soluciones de conectividad a los buques que permitan obtener diversos tipos de información para realizar análisis de datos, mantenimiento predictivo y otras actividades. En la Ilustración 39 se representa un esquema de los servicios de esta plataforma y su estructura básica.

⁸⁸ <http://www.treemetrics.com/>

⁸⁹ <https://microsoft.github.io/techcasestudies/iot/2017/03/08/IoT-Tajfun.html>

⁹⁰ http://iobe.gr/docs/pub/SP_08062016_PRS_ENG_09.pdf

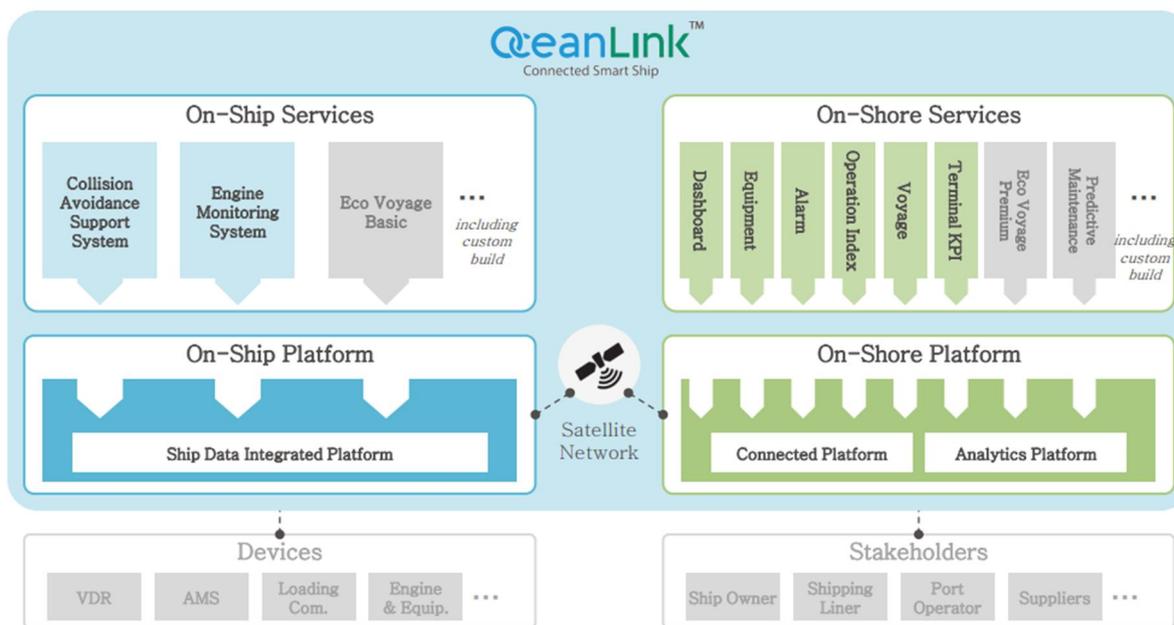


ILUSTRACIÓN 39: ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN IOT OCEANLINK. FUENTE: HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES

En los astilleros japoneses de **Mitsui Engineering** se está trabajando en una propuesta innovadora en colaboración con la Japan Ship Research Association para aplicar técnicas de **visión artificial** fusionada con información obtenida de acelerómetros posicionados en los trabajadores y etiquetas RFID que permitan detectar las actividades de los operarios. Esto permitirá optimizar los procesos de trabajo y reconfigurar las posiciones de la maquinaria y herramientas según las necesidades detectadas⁹¹.

Existen también diversos productos enfocados al **mantenimiento de buques y su maquinaria**. LAROS⁹² es una innovadora plataforma, patentada, que habilita la monitorización y análisis de los parámetros operacionales de las embarcaciones de forma remota. Recoge, procesa y transmite datos en tiempo real en cualquier tipo de barco, enviándolos a la central de administración a través de una red de sensores inteligentes e inalámbricos. Con esto proporciona una solución completa de diagnóstico, pronosis y avisos tempranos. Igualmente, AMOS Projects⁹³ es un software para planificación de estrategias de mantenimiento, monitorización del comportamiento general de las embarcaciones y localización de piezas de recambio necesarias. Ofrece mantenimiento basado en condiciones reales de funcionamiento, permitiendo prevenir problemas en vez de reaccionar ante fallos.

En la comunidad gallega, se han realizado pruebas en los **astilleros Paulino Freire** para la implantación de redes inalámbricas de monitorización de parámetros peligrosos para los trabajadores como es el caso de la

⁹¹ <http://asia.nikkei.com/Business/Trends/Japan-s-shipbuilders-look-to-virtual-reality-for-efficiency>

⁹² <http://www.laros.gr/>

⁹³ <http://www.spectec.net/maintenance-materials-management>

presencia de gases tóxicos⁹⁴. Centrado también en la protección y seguridad del trabajador se puede destacar la solución *wearable* de Intel y Honeywell que permite monitorizar el ritmo cardíaco y la actividad de los trabajadores, además de posibilitar la detección de valores anómalos de gases peligrosos⁹⁵.

3.5 METALMECÁNICO

El sector metalmecánico puede beneficiarse de varias de las innovaciones IoT mencionadas para el resto de sectores analizados pues, en la mayoría de los casos, éste forma parte de la propia cadena de valor de sectores como el de automoción, aeronáutico o naval. No obstante, dentro de esta sección se incluyen algunos casos de uso detectados de aplicación específica en compañías de este sector.

Gestamp, empresa dedicada al diseño y fabricación de componentes metálicos para la industria del automóvil, se ha aliado con Siemens para **reducir el consumo energético** en sus plantas de producción⁹⁶. Para ello, se monitorizan en tiempo real las necesidades de consumo existentes en las plantas de producción de la empresa y estos datos son enviados a una plataforma en la nube para su procesamiento. En dicha plataforma, de tipo Big Data, se aplican una serie de algoritmos no sólo para optimizar el consumo de la maquinaria en planta sino también para analizar sus patrones de consumo con la finalidad de detectar posibles problemas y realizar tareas de mantenimiento antes de la aparición de errores críticos. Con esta solución Gestamp espera reducir en un 15% el consumo energético en varias plantas de producción.

Hitachi, en su vertiente industrial, también ha visualizado un futuro para el sector en el que tiene cabida la extracción de la información de la maquinaria empleada para el procesamiento del acero y su posterior tratamiento a través de algoritmos para extraer conocimiento⁹⁷. De manera general, se plantea el uso de la información extraída de la maquinaria de procesamiento para el **diagnóstico de fallos** y recuperación de los mismos, optimización de los tiempos de trabajo, detección de posibles paradas de la producción con antelación y simulación de los procesos. La Ilustración 40 contiene una representación de los diversos procesos de tratamiento del metal con el tipo de información extraída en cada uno de ellos, para qué se emplea y la relación con diversos actores dentro de la cadena de valor.

⁹⁴ Pérez-Garrido C, González-Castaño FJ, Chaves-Diéguez D, Rodríguez-Hernández PS. Wireless Remote Monitoring of Toxic Gases in Shipbuilding. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2014;14(2):2981-3000. doi:10.3390/s140202981.

⁹⁵ <http://www.intel.es/content/www/es/es/industrial-automation/industrial-applications/honeywell-industrial-wearables-solution-brief.html>

⁹⁶ <http://www.gestamp.com/prensa/comunicados-de-prensa?NewID=2528>

⁹⁷ http://www.hitachi.com/rev/pdf/2016/r2016_05_105.pdf

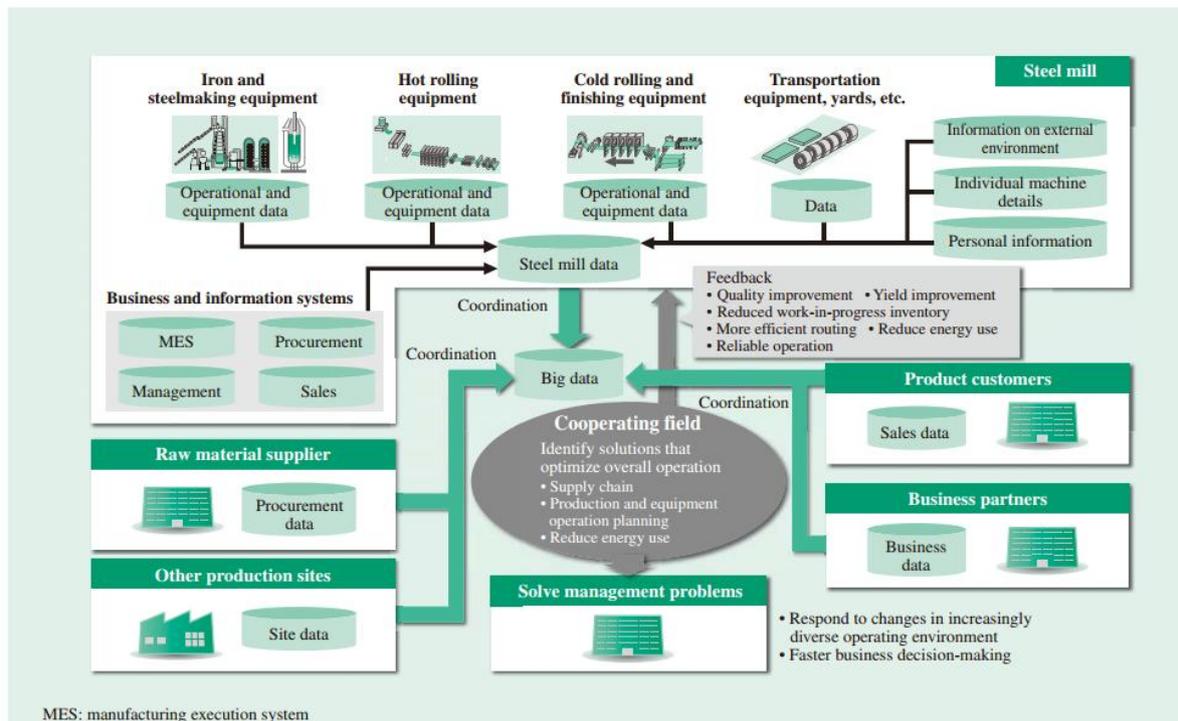


ILUSTRACIÓN 40 : VISIÓN DE HITACHI DE LA CADENA DE VALOR DE PROCESADO DEL ACERO. FUENTE: HITACHI

Por último, cabe mencionar también el caso del productor de acero brasileño **Gerdau**, que ha llegado a un acuerdo con General Electric para la implantación de tecnologías de monitorización de sus activos y detectar fallos en el equipamiento y actuar de manera proactiva ante los mismos.

3.6 TEXTIL / MODA

De manera análoga a otros sectores mencionados con antelación, el sector textil también puede aplicar muchas de las innovaciones de utilidad para otros dominios. Sobre todo desde un punto de vista industrial, en aquellos procesos de producción menos tradicionales en los que interviene maquinaria para el procesamiento de las telas. La extracción de datos para la realización de actividades de mantenimiento predictivo, para la **optimización de los procesos de producción** o para la realización de simulaciones y **optimización de consumos energéticos** son algunos de los posibles casos de uso con implicación de tecnologías IoT. Algunos ejemplos de empresas realizando este tipo de actividades, en este caso a través de la utilización de SAP son Getzner Textile⁹⁸ o Everest Textile⁹⁹. Esta última ha implantado también la plataforma WISE-PaaS para el despliegue de aplicaciones IoT además de un sistema de posicionamiento con

⁹⁸ <https://www.sap.com/documents/2015/07/84e50622-377c-0010-82c7-eda71af511fa.html>

⁹⁹ <https://www.sap.com/documents/2016/03/40162a45-687c-0010-82c7-eda71af511fa.html>

dispositivos Wi-Fi y BLE para monitorizar en todo momento los activos dentro de las plantas de producción¹⁰⁰.

No obstante, dentro del sector textil la principal etapa de la cadena de valor en la que se aplican tecnologías IoT es en la **gestión de inventarios y la interacción con el cliente final** en las tiendas. Un claro ejemplo de ello se encuentra en la empresa Inditex, que ha implantado desde hace tiempo el uso de etiquetas RFID para mejorar la gestión de inventarios en sus tiendas¹⁰¹. Este sistema permite tener un control exhaustivo del inventario tanto en las tiendas como en los centros logísticos, lo que posibilita mejorar la gestión de la demanda de los usuarios al poder identificar al instante donde se encuentran las prendas requeridas. Desde un punto de vista de la gestión de las tiendas, el uso de esta tecnología permite incorporar fácilmente al inventario nuevas prendas recibidas y conocer en todo momento las cantidades existentes. La Ilustración 41 contiene las principales ventajas extraídas de la aplicación de esta tecnología.



ILUSTRACIÓN 41 : APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE RFID EN LAS TIENDAS DE INDITEX. FUENTE: INDITEX

De manera similar, Intel ha creado un sistema de gestión de inventario que implementa una arquitectura IoT para recopilar información de sensores o tags RFID situados en los productos a través de un *gateway*¹⁰². Intel ofrece también una arquitectura Big Data en la nube basada en Spark para la ingestión y procesamiento de datos. Se ofrece también una API para el acceso a los datos y la creación de aplicaciones. Se ha realizado un piloto de esta tecnología en tiendas de Levi Strauss.

¹⁰⁰ <http://www.advantech.com/success-stories/article/0155031b-f309-482e-b4d5-e7c144a13805>

¹⁰¹ https://www.inditex.com/es/media/news_article?articleId=150174

¹⁰² <https://www-ssl.intel.com/content/www/us/en/retail/solutions/documents/retail-sensor-platform-paper.html>

3.7 AERONÁUTICO

El sector aeronáutico se caracteriza por la utilización de **materiales de construcción avanzados** y unos requisitos de calidad muy restrictivos y rigurosos con unos procesos de fabricación en los que se genera multitud de documentación sobre el aeroplano fabricado. La competencia existente en este sector, unos requisitos de coste cada vez más competitivos o la necesidad de disponer de la flexibilidad suficiente para poder adaptar el producto a las necesidades del cliente son algunos de los motivos que provocan la búsqueda de nuevos modelos y metodologías para apoyar los procesos productivos y generar un valor añadido al producto que permita ofrecer nuevos servicios a los clientes. A continuación se citan algunos de estos desarrollos.

La consultora **Infosys**¹⁰³ colabora con diversas empresas aeronáuticas e industriales para llevar la aplicación de tecnologías novedosas a este sector. Como algunos casos prácticos se pueden citar la aplicación de tecnologías innovadoras en el tren de aterrizaje¹⁰⁴ para la **automatización de los procesos de ingeniería** necesarios para desarrollarlos o para la monitorización remota del estado de los mismos a través de RFID y otras tecnologías de comunicación inalámbricas, lo que permite realizar tareas de mantenimiento predictivo. Infosys también colabora con General Electric para la creación de un piloto en la industria aeronáutica (en GE Aviation) que permita validar una plataforma basada en las indicaciones del Industrial Internet Consortium para la captura, análisis y distribución de datos en tiempo real que posibilita unir las fases de diseño, fabricación y validación proporcionando, por ejemplo, la detección temprana de fallos en componentes y su indicación a los operarios de producción¹⁰⁵. Este mismo tipo de tecnologías podría aplicarse dentro del sector de la construcción naval para la monitorización de motores u otros componentes del barco y la realización de mantenimiento predictivo sobre ellos, lo que permitiría también obtener información de aplicación en su diseño.

La propia **General Electric Aviation**¹⁰⁶ trabaja con diversas compañías aéreas asiáticas como AirAsia o FlyDubai para aplicar en ese sector su herramienta Predix¹⁰⁷, presentado por GE como un sistema operativo para la industria que permite la interconexión de equipamiento industrial, la realización de análisis sobre los datos recopilados y la presentación de resultados de interés y recomendaciones en tiempo real. Predix, al funcionar como un sistema operativo, permite la creación de aplicaciones de diversa índole según la orientación que se les quiera dar.

Bombardier ha incluido en sus motores sensórica que permite recopilar una gran cantidad de datos (del orden de cientos de terabytes en un vuelo de 12 horas)¹⁰⁸, permitiendo realizar también tareas de mantenimiento predictivo en los mismos.

Bosch, junto con National Instruments, Tech Mahindra y Cisco llevará a cabo uno de los primeros pilotos del Industrial Internet Consortium (IIC) en Europa¹⁰⁹. Dicho piloto consistirá en la monitorización de las

¹⁰³ <https://www.infosys.com/>

¹⁰⁴ <https://www.infosys.com/engineering-services/white-papers/Documents/landing-gear-design-and-development.pdf>

¹⁰⁵ <https://www.infosys.com/newsroom/press-releases/Pages/industrial-internet-things-solutions.aspx>

¹⁰⁶ <http://www.ge.com/digital/industries/aviation>

¹⁰⁷ <https://www.ge.com/digital/predix>

¹⁰⁸ <http://aviationweek.com/connected-aerospace/internet-aircraft-things-industry-set-be-transformed>

¹⁰⁹ <http://blog.bosch-si.com/categories/manufacturing/2015/02/first-european-testbed-for-the-industrial-internet-consortium/>

herramientas empleadas en aeronáutica o automoción para la colocación y fijación de tornillos. Dichas herramientas en muchos casos deben aplicar fuerzas determinadas con gran precisión por lo que se espera un aumento en la seguridad de los trabajadores y calidad del producto final a través de estos nuevos desarrollos. En el caso de la construcción naval la aplicación de estos resultados sería directa, pues podrían incorporarse a las herramientas empleadas por los operarios.

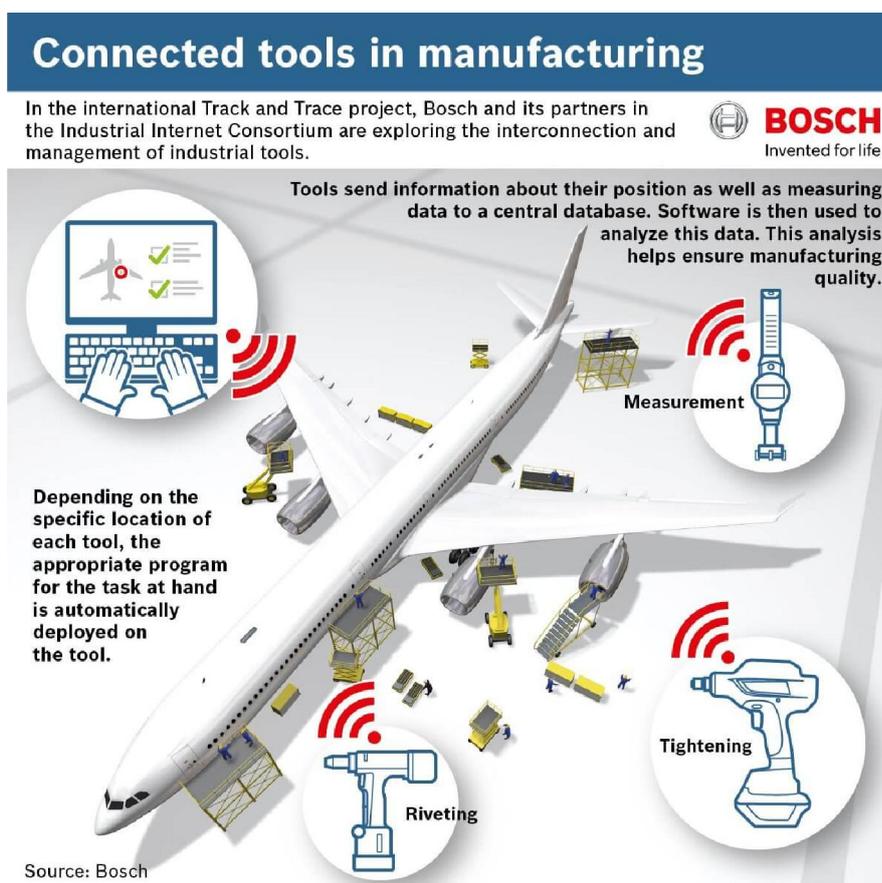


FIGURA 42 : HERRAMIENTAS CONECTADAS Y FABRICACIÓN INTELIGENTE EN AERONÁUTICA. FUENTE: BOSCH

3.8 TIC

Las empresas del sector de las tecnologías de la información y comunicación centran principalmente sus actividades en el entorno IoT en la creación de aplicaciones y servicios horizontales, como las plataformas citadas en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, o bien verticales para la resolución de problemas concretos, como se viene detallando en los apartados de esta sección. No obstante, muchas de estas empresas disponen también de sus propias infraestructuras y procesos de fabricación, sobre todo aquellas cuya área de negocio contiene la producción de dispositivos electrónicos, y que se pueden ver beneficiadas también de diversas tecnologías y aplicaciones de IoT.

Intel, principal fabricante de microprocesadores del mundo, también emplea **tecnologías big data** y técnicas de análisis de datos sobre la información generada en las pruebas de calidad que se hacen a cada

procesador durante su proceso de fabricación. A partir de estos datos se pueden detectar errores más rápidamente y corregirlos rápidamente en producción, lo que repercute en una disminución de los costes respectivos. Por otro lado, Intel también recopila y analiza datos de la maquinaria empleada en los procesos de fabricación con el objetivo de detectar desviaciones en los procesos¹¹⁰. La Ilustración 43 muestra la arquitectura básica empleada por Intel para tratar esta información. Por otro lado, la Ilustración 44 representa el **proceso de calidad** de Intel basado en esta solución y sus etapas básicas.

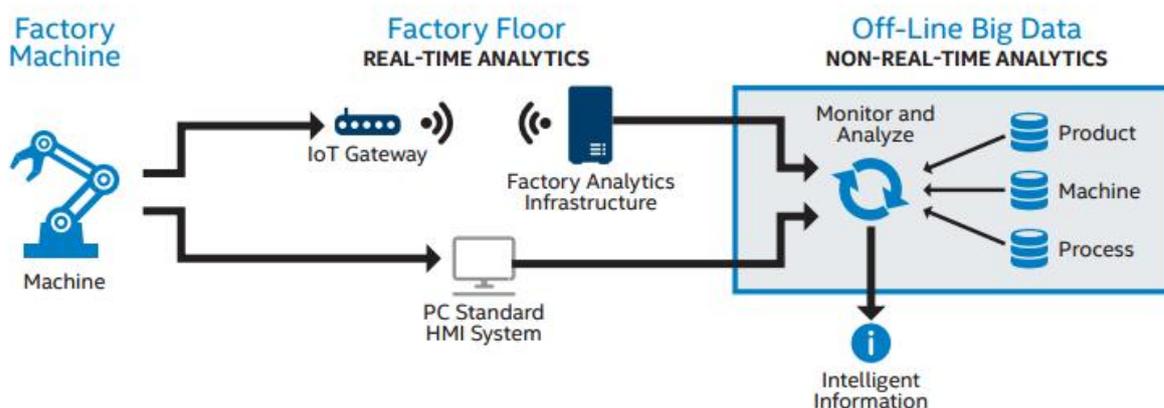


ILUSTRACIÓN 43 : ARQUITECTURA EMPLEADA POR INTEL. FUENTE: INTEL

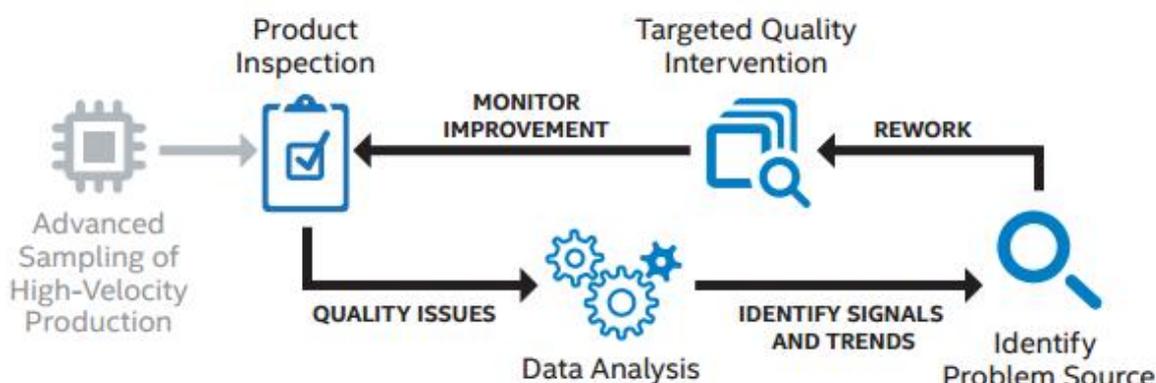


ILUSTRACIÓN 44 : PROCESO DE CALIDAD DE INTEL. FUENTE: INTEL

MapR¹¹¹ es una solución propietaria de plataforma Big Data. HP emplea esta plataforma en conjunto con telemetría para monitorizar los productos y su estado a lo largo de los procesos de fabricación. Por otro lado, esta telemetría se continúa usando después de la fabricación del producto para la detección y prevención de posibles fallos en los mismos¹¹². El fabricante de discos duros Western Digital también

¹¹⁰ <http://www.intel.com/content/www/us/en/it-management/intel-it-best-practices/using-big-data-in-manufacturing-at-intels-smart-factories-paper.html>

¹¹¹ <http://www.mapr.com/>

¹¹² <https://www.mapr.com/solutions/industry/manufacturing-use-cases>

recopila información de sus procesos de fabricación aunque para su tratamiento emplea en este caso Hortonworks¹¹³.

3.9 ENERGÍAS RENOVABLES

Dentro del sector de las energías renovables las tecnologías IoT pueden ser de utilidad para diversas operaciones. Por un lado, permiten realizar una **monitorización en detalle de los consumos energéticos** a través de las tecnologías de adquisición de datos que en conjunción con técnicas de análisis sobre esta información permiten extraer información de valor añadido para extraer causas de consumos de energía anómalos o caracterizar los consumos de maquinaria en función de sus tiempos de operación, entre otras. Por otro lado, la inclusión de tecnologías para **mejorar la conectividad** en las fuentes de energías renovables permite tener un mayor control en tiempo real sobre la producción de energía en función de la demanda detectada y detectar posibles problemas técnicos en las redes de distribución o en la maquinaria de generación de energía (por ejemplo, en turbinas eólicas).

Muchas de las compañías dedicadas a la creación de soluciones basadas en IoT para su aplicación en entornos industriales ya incluyen dentro de su paquete de productos opciones especialmente centradas en la energía. Este es el caso del módulo de gestión de energía incluido dentro de la solución para Industria 4.0 de **Advantech**¹¹⁴. En concreto, este sistema se centra en la optimización del suministro de energía y los consumos, disponiendo de sistemas para la visualización de estos parámetros, constando también de otros sistemas para el control de sistemas de compresión de aire y de recuperación del calor emanado de maquinaria para la generación de energía además de para la monitorización de la generación de energía proveniente de fuentes renovables.

Otra de las actividades más en boga en la actualidad para las tecnologías de conectividad y adquisición de datos radica en la construcción del **impacto energético de los procesos y actividades de producción**, la llamada huella de carbono. Por ejemplo, la empresa Danone dispone de una plataforma SAP dedicada a nivel mundial para construir la huella de carbono de sus productos. Mediante su utilización son capaces de recoger de manera automática un 80% de los datos relacionados con el ciclo de dichos productos. Otro caso de uso de interés relacionado con las emisiones de carbono se puede encontrar en el puerto de Long Beach, en los Ángeles. En este caso, todos los camiones que entran en dicho puerto se ven obligados a identificarse con una etiqueta RFID. En un principio, esta medida se empleaba como un control de acceso al puerto, pero en la actualidad se está empleando el mismo sistema para determinar hacia dónde debe dirigirse cada camión, minimizando las rutas y esperas a la vez que se reducen las emisiones de carbono.

Los **vehículos eléctricos** constituyen también un campo de aplicación relevante para las tecnologías IoT. Además de las múltiples aplicaciones de coche conectado en las que se encuentran involucrados múltiples fabricantes, de aplicación directa también en el caso de los vehículos eléctricos, cobra relevancia la conectividad y comunicaciones de las estaciones de carga. AT&T ha realizado un proyecto en colaboración con Schneider para proporcionar conectividad a través de su red a las estaciones de carga. De esta forma, las estaciones pueden notificar a los usuarios cuándo la carga del vehículo se ha completado o si hay

¹¹³ <https://es.hortonworks.com/solutions/manufacturing/>

¹¹⁴ http://www.advantech.com/industrial-automation/industry4.0/fems#my_cen

espacios de carga libres. Por otro lado, también permite mejorar la gestión de las estaciones, controlando sus tiempos de uso o detectar posibles problemas de mantenimiento¹¹⁵.

En la **industria eólica**, a nivel europeo, existen varios proyectos en los que se ha planteado en el pasado la monitorización y recogida de parámetros de turbinas de aire con el objetivo de detectar posibles problemas en su maquinaria. Por ejemplo, el proyecto CMSWind¹¹⁶ del Séptimo Programa Marco, entre otros desarrollos, planteó la utilización de sensores situados en las aspas de los rotores dotados de tecnologías de comunicación inalámbrica para transmitir la información a la góndola de cada uno de manera independiente. Por otro lado, el proyecto FP7 WindTurBars¹¹⁷ ha planteado la implementación de un sistema de adquisición de datos inteligente integrado en las turbinas y encargado de la monitorización de diversas señales eléctricas. Dicho sistema se encarga de transmitir la información, ya procesada en local en la turbina, a una estación base para su almacenamiento y posterior visualización. Para ello se emplea una simple conexión FTP con un servidor situado en la nube.

En cuanto a **soluciones comerciales**, se pueden encontrar en el mercado múltiples plataformas de análisis de datos para activos renovables que obtienen sus datos de dispositivos de monitorización que aplican el paradigma IoT. Por ejemplo, la compañía americana Wind River¹¹⁸, parte de Intel, tiene como una de sus principales líneas de negocio la aplicación de tecnologías IoT y protocolos estándar a diversos entornos, siendo el eólico uno de ellos. Otras compañías como WebNMS¹¹⁹ o Algo Engines¹²⁰ desarrollan plataformas de análisis de datos con aplicación en sistemas de energía eólica pero no detallan los procedimientos mediante los que obtienen la información de la sensórica desplegada en los aerogeneradores. La Ilustración 45 contiene un esquema de la plataforma IoT Symphony, utilizada por WebNMS para la monitorización y gestión de activos y su consumo energético.

¹¹⁵ <https://networkingexchangeblog.att.com/enterprise-business/making-electric-vehicle-charging-stations-smarter/>

¹¹⁶ Proyecto europeo FP7 CMSWind, Online, <http://www.cmswind.eu/>

¹¹⁷ Proyecto europeo FP7 WindTurBars, Online, <http://www.windturbars.eu>

¹¹⁸ <http://www.windriver.com/iot/>

¹¹⁹ <https://www.webnms.com/>

¹²⁰ <http://algoengines.com/>

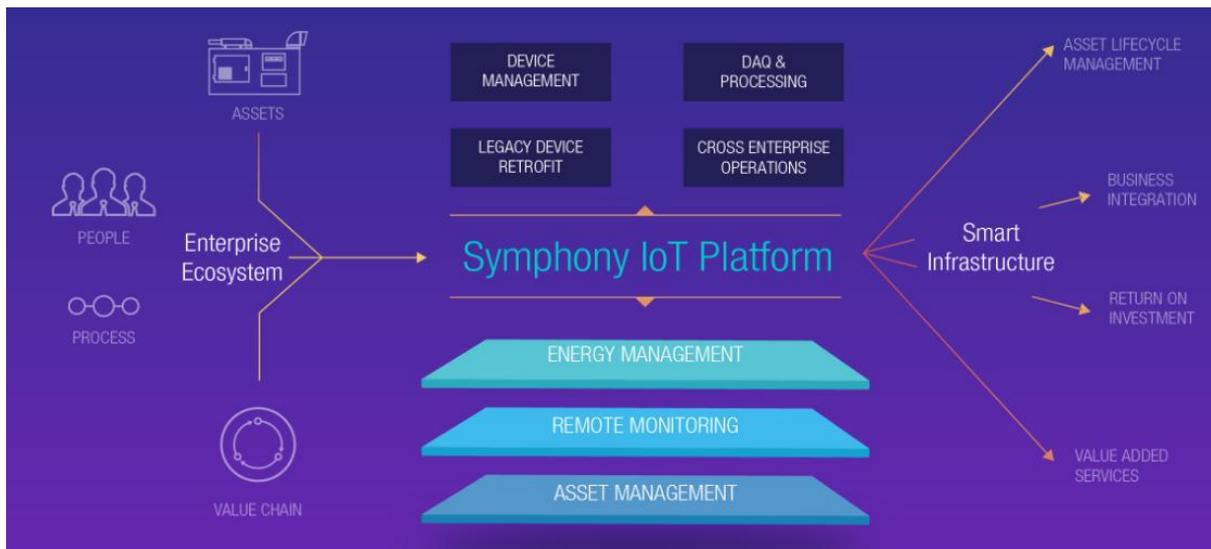


ILUSTRACIÓN 45 : ESQUEMA DE LA PLATAFORMA IOT EMPLEADA POR WEBNMS. FUENTE: WEBNMS

3.10 PIEDRA NATURAL

El sector de la piedra natural no se caracteriza actualmente por la incorporación de tecnologías IoT y de soporte en su ámbito, aun cuando varios de los avances mencionados en las secciones anteriores para otros sectores podrían aplicarse también a este sector. En este sentido, se puede destacar el caso de éxito de la compañía americana **Lido Stone Works**¹²¹ localizada en Nueva York, que con la aplicación de la filosofía IoT en sus actividades ha conseguido incrementar sus ganancias en un 70% y su productividad en un 30%¹²². Para esta empresa, que inicialmente llevaba a cabo sus actividades de manera tradicional, trabajando la piedra a mano con el apoyo de máquinas para el corte, biselado y otras actividades de procesamiento del material, la competitividad existente causaba la necesidad de automatizar sus operaciones en la medida de lo posible. Para ello, por un lado, se llevó a cabo la **interconexión de las máquinas** empleadas en los procesos de fabricación con la empresa fabricante de las mismas, localizada en Italia a través de tecnología IoT de Microsoft¹²³. Esto permite recopilar información de las mismas en tiempo real y analizarlos remotamente, detectando con antelación posibles problemas y sus causas, sin la necesidad de realizar desplazamientos, que en este caso eran de carácter internacional. Esto disminuyó los costes de mantenimiento y los tiempos de parada de la maquinaria, que en algún caso llegaban a ser de semanas. Por otro lado, también se incorporaron otros dispositivos y maquinaria al **sistema de inventario y gestión** para tener un control mejorado sobre el mismo.

¹²¹ <http://lidostone.com/>

¹²² <http://lidostone.com/case-study-on-lido-stone-provided-by-microsoft/>

¹²³ <https://www.microsoft.com/en-us/cloud-platform/customer-stories-lido-stone-works>

4. CONCLUSIONES / IMPACTO EN LA INDUSTRIA

4.1 RETOS QUE PRESENTAN LAS TECNOLOGÍAS EN LA ACTUALIDAD

A lo largo de este documento se ha realizado un estado del arte de Internet de las Cosas y sistemas ciberfísicos, en especial en relación a su aplicación dentro de un entorno industrial como parte de la nueva revolución industrial en ciernes, conocida como Industria 4.0.

Las características inherentes a esta nueva revolución como el incremento del intercambio de información tanto dentro de la cadena de valor como dentro de la propia planta o el aumento de la personalización, entre otras, propician la introducción de las tecnologías IoT en este entorno. De esta forma, estas tecnologías se posicionan como un medio para mejorar la conectividad y propiciar la extracción de datos para su utilización, lo que en última instancia se refleja en mejoras para las organizaciones en diversos aspectos como la gestión de operaciones, de inventario, simulación de comportamientos futuros, etc.

No obstante, aunque estas tecnologías ya se encuentran disponibles en múltiples productos comerciales, todavía no han llegado a un estado de madurez plena. Así, algunos de los principales retos para los próximos años se encuentran en la necesidad de crear soluciones interoperables, sobre todo a nivel semántico, en llegar a una estandarización común para evitar la utilización de tecnologías, arquitecturas y protocolos no relacionados. Todo ello como causa de la aparición de ingentes propuestas tecnológicas IoT en los últimos años. Muestra de ello son las diversas propuestas de arquitecturas IoT existentes, plataformas y soluciones aplicadas a multitud de sectores, como se recoge en el documento.

Según un informe de Woodside Capital Partners¹²⁴, un **motor de crecimiento clave de IoT es la evolución de las tecnologías de sensores y dispositivos de comunicación**. Los avances tecnológicos relacionados con los sensores y las innovaciones en las ciencias de los materiales han llevado a la proliferación de diferentes tipos de sensores. Esto ha aumentado la disponibilidad y la asequibilidad de los sensores. Estos sensores están siendo muy demandados debido a sus ventajas, como bajo consumo de energía y bajos precios.

Los sensores son un componente vital en las “cosas conectadas”. Con respecto a los componentes del dispositivo IoT, los sensores representan una de las principales tecnologías habilitadoras que impulsan este mercado.

Por otro lado, cabe destacar también como los cortos ciclos de llegada al mercado que han sufrido estos desarrollos han causado que la seguridad haya sido obviada o parcialmente resuelta, lo que la convierte en uno de los aspectos más importantes a ser resueltos en los próximos años para llevar estas tecnologías a un entorno industrial donde la seguridad, en la mayoría de los casos, es crítica.

4.2 PERSPECTIVAS A MEDIO Y LARGO PLAZO

Aunque el término de Internet de las Cosas (IoT) ha sido ampliamente utilizado durante los últimos años, es una tecnología que aún está en pleno desarrollo. Ciertas barreras, como la inexistencia de estándares y

¹²⁴ "The Internet of Things - "Smart" Products Demand a Smart Strategy", Woodside Capital Partners, 2015. http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2015/02/WCP-IOT-M_and_A-REPORT-2015-21.pdf

el riesgo que esto implica para la interoperabilidad, están limitando su implantación en el mercado, sin embargo, las expectativas de adopción para los próximos años son realmente altas.

IoT está despertando un gran interés en la industria y se han publicado numerosos análisis de mercado y predicciones de la implantación del IoT a nivel global y del mercado potencial para los próximos años¹²⁵.

Aunque las previsiones de los diversos análisis de mercado difieren tanto en el crecimiento del número de dispositivos conectados como en el tamaño del mercado potencial, en todos los casos los análisis muestran que IoT va a tener un profundo impacto en el mercado.

A continuación se presentan algunas previsiones de diferentes entidades que pueden dar una idea del mercado potencial de IoT en los próximos años a nivel global, no sólo para el mundo industrial (Cisco¹²⁶ (2016), Ericsson¹²⁷ (2015), Gartner¹²⁸ (2016), IndustryARC¹²⁹ (2016))

En particular, un análisis de McKinsey & Company de 2015¹³⁰ estima un posible impacto económico de hasta **11,1 billones de dólares por año en 2025** para las aplicaciones de IoT en nueve entornos (ver Ilustración 46). En particular, considera el **sector industrial el de mayor impacto potencial, con una horquilla entre 1,2 y 3,7 billones de dólares por año para 2025**.

El estudio considera que en el entorno industrial el valor de IoT surgirá principalmente de mejoras de productividad, incluyendo entre un 10 a 20 por ciento de ahorro de energía y entre un 10 a 25 por ciento de mejora potencial en la eficiencia laboral. Las mejoras en el mantenimiento del equipo, la optimización del inventario y la salud y seguridad de los trabajadores son también fuentes de valor en las fábricas.

¹²⁵ En la página "IoT Market" se pueden consultar un buen número de previsiones y tendencias de IoT: <http://www.postscapes.com/internet-of-things-market-size/>

¹²⁶ <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=press-release&articleId=1771211>

¹²⁷ Ericsson Mobility Report, Ericsson, 2015, <http://www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/ericsson-mobility-report-nov-2015.pdf>

¹²⁸ <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>

¹²⁹ "Industrial Internet of Things (IIoT) Market Analysis - Forecast (2016 - 2021)", IndustryARC, 2016, [http://industryarc.com/Report/7385/industrial-internet-of-things-\(IIoT\)-market-report.html](http://industryarc.com/Report/7385/industrial-internet-of-things-(IIoT)-market-report.html)

¹³⁰ The Internet of Things: mapping the value beyond the hype, McKinsey & Company, 2015, <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>

The Internet of Things offers a potential economic impact of \$4 trillion to \$11 trillion a year in 2025.



¹Adjusted to 2015 dollars; for sized applications only; includes consumer surplus. Numbers do not sum to total, because of rounding.

McKinsey&Company | Source: McKinsey Global Institute analysis

ILUSTRACIÓN 46: IMPACTO ECONÓMICO POTENCIAL PARA 2025¹³¹

¹³¹ The Internet of Things: mapping the value beyond the hype, McKinsey & Company, 2015

Un interesante estudio de **ATKearney**¹³² de 2016 sobre el impacto de IoT a nivel europeo prevé que el mercado de IoT para 2025 tendrá un valor de 80 billones de euros y su valor potencial para la economía europea podría alcanzar 1 trillón de euros (ver siguiente figura).

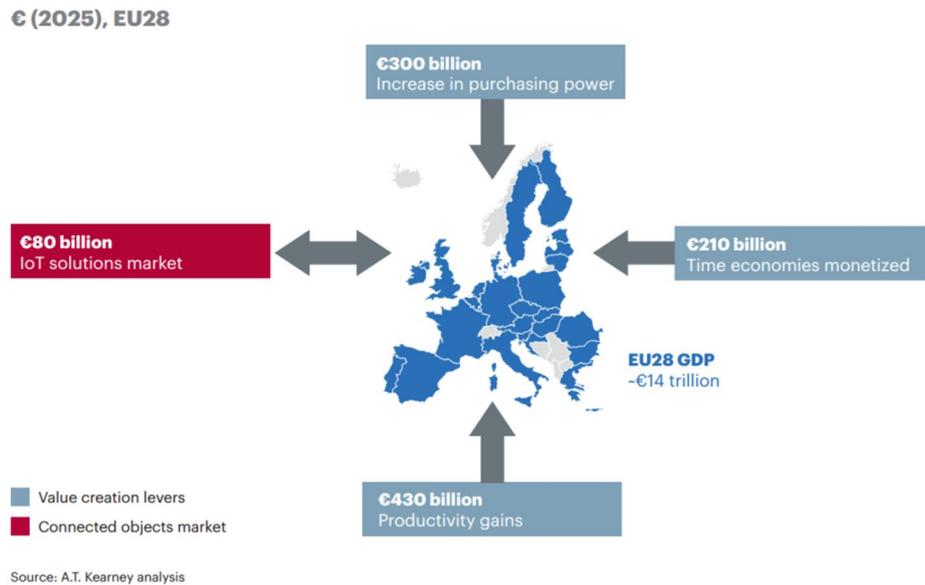


ILUSTRACIÓN 47: MERCADO DE SOLUCIONES IOT Y TRES ÁREAS EN LAS QUE IOT CREARÁ VALOR¹³³

Por su parte Ovum¹³⁴ plantea la existencia de 50 millones de **dispositivos conectados** en 2020, de los cuales, como se ve en la siguiente figura, 6 millones se corresponden a dispositivos domésticos, smartphones, coches y tablets y 44 millones a otros tipos de dispositivos.

¹³² The Internet of Thing: A New Path to European Prosperity, ATKearney, 2016, <https://www.atkearney.com/documents/10192/7125406/The+Internet+of+Things-A+New+Path+to+European+Prosperity.pdf/e5ad6a65-84e5-4c92-b468-200fa4e0b7bc>

¹³³ The Internet of Thing: A New Path to European Prosperity, ATKearney, 2016, <https://www.atkearney.com/documents/10192/7125406/The+Internet+of+Things-A+New+Path+to+European+Prosperity.pdf/e5ad6a65-84e5-4c92-b468-200fa4e0b7bc>

¹³⁴ [http://info.ovum.com/uploads/files/The Internet of Things webinar.pdf](http://info.ovum.com/uploads/files/The+Internet+of+Things+webinar.pdf)

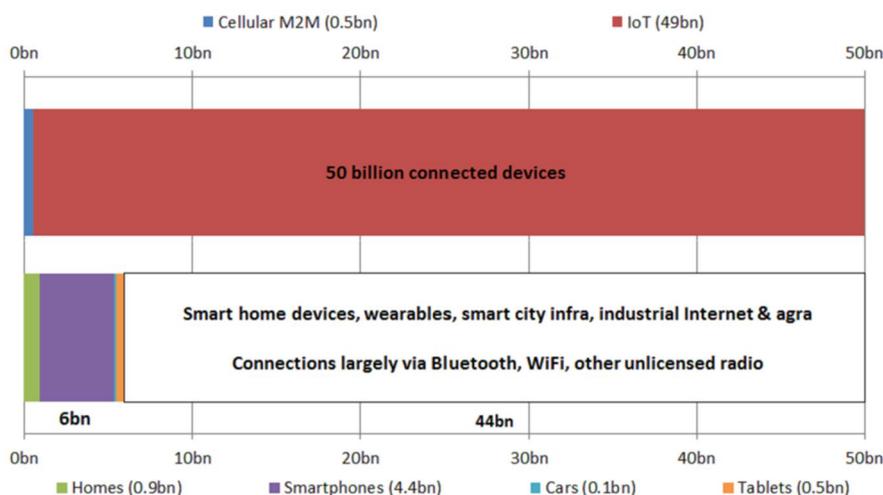


ILUSTRACIÓN 48: 50 MILLONES DE DISPOSITIVOS CONECTADOS EN 2020. FUENTE OVUM

Los sensores son una parte fundamental para convertir la información analógica de un entorno en los bits digitales que pueden ser transmitidos, almacenados y procesados por los ordenadores, y esta comunicación con el mundo físico es uno de los principales drivers de IoT.

La siguiente figura muestra un pronóstico de Gartner de la **demanda estimada de tecnología de sensores** impulsados por IoT en 2020. Sin embargo, aunque los sensores son una parte importante del ecosistema de IoT, no es probable que representen el mayor valor económico de la implementación global de IoT.

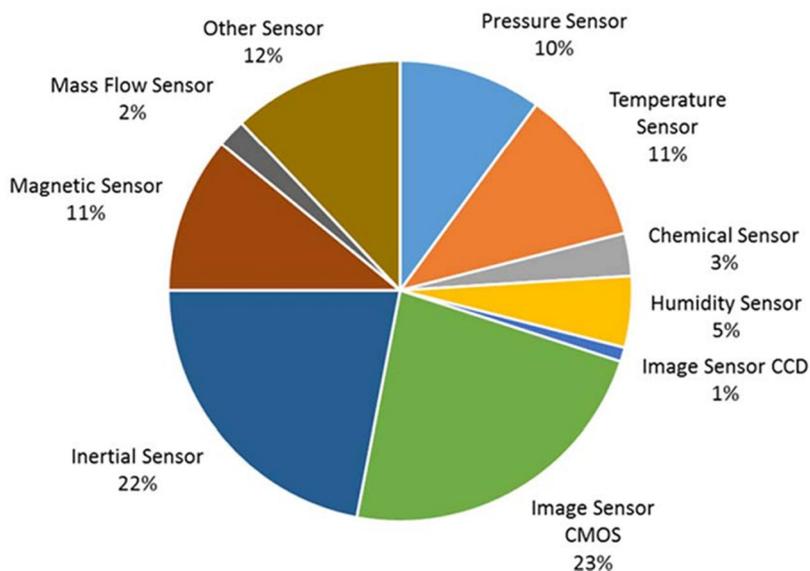


ILUSTRACIÓN 49: DEMANDA ESTIMADA DE TECNOLOGÍA DE SENSORES 2020¹³⁵

¹³⁵ Fuente: Gartner. Imagen de: "The Internet of Things - "Smart" Products Demand a Smart Strategy", Woodside Capital Partners, 2015. http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2015/02/WCP-IOT-M_and_A-REPORT-2015-21.pdf

IoT requiere que se adquieran y digitalicen datos del entorno analógico y luego que estos se transmitan, analicen y almacenen. Esto requiere memoria y capacidad computacional tanto para los dispositivos inteligentes como para la infraestructura que de soporte al almacén y procesado de esos datos. Así el mercado de IoT está profundamente **ligado a otros dos mercados**:

- El de las **tecnologías de comunicaciones**. En este sentido el despliegue de la nueva generación de tecnología móvil 5G se plantea como un importante habilitador para la implantación de IoT.

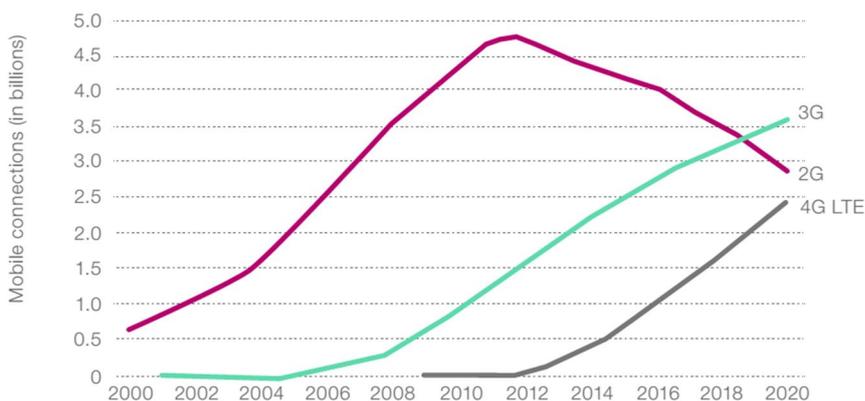


ILUSTRACIÓN 50: EVOLUCIÓN DE SUSCRIPCIONES A DISTINTAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL¹³⁶

- El de las **tecnologías de computación** (microprocesadores) y capacidad de almacenamiento, tanto desde el punto de vista de los *smart objects* como desde el punto de vista de costes de *Cloud*.

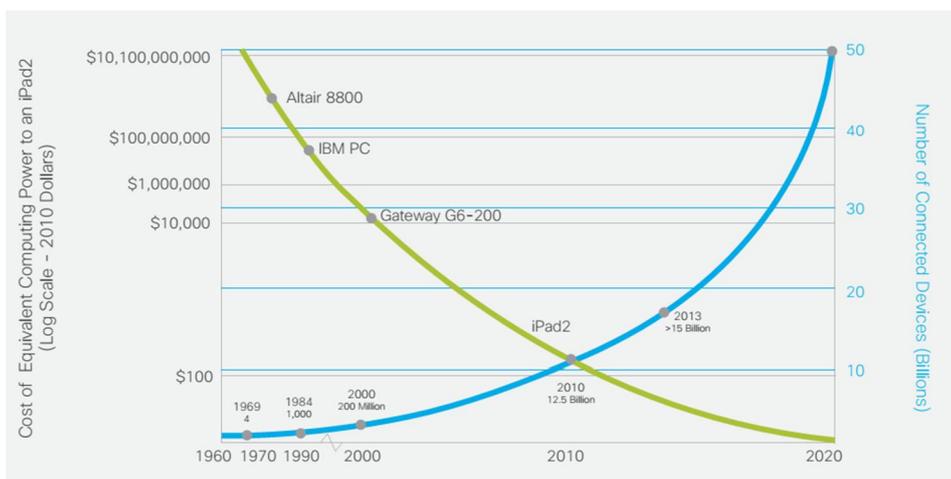


ILUSTRACIÓN 51: EL COSTE DE LA COMPUTACIÓN ESTÁ CAYENDO A UN RITMO ACCELERADO¹³⁷

¹³⁶ The State of Broadband 2015, ITU, 2015,

<http://www.broadbandcommission.org/Documents/reports/bb-annualreport2015.pdf>

¹³⁷ Harnessing the Internet of Things for Global Development, ITU, Cisco, 2016,

<https://www.itu.int/en/action/broadband/Documents/Harnessing-IoT-Global-Development.pdf>

Otra tendencia que está impulsando el crecimiento del mercado de IoT es la creciente **demandas de análisis de Big Data**. Big Data proporciona las tecnologías adecuadas para transmitir, almacenar y procesar grandes volúmenes de datos para generar información útil. La analítica Big Data ayuda a analizar los datos provenientes de múltiples sensores, permitiendo recolectar y procesar información de equipos industriales, como turbinas, motores, prensas...

El universo digital dobla el tamaño cada año y se prevé que crecerá en torno a los 44 zettabytes (40 billones de gigabytes) en 2020. La mayoría de los nuevos datos creados entre ahora y 2020 no serán producidos por personas, sino que provendrán de máquinas. Se prevé que los datos de los sistemas embebidos en IoT crecerán de sólo un dos por ciento del universo digital en 2013 a un 10 por ciento en 2020¹³⁸.

¹³⁸ GTAI - Germany Trade and Invest

5. BIBLIOGRAFÍA

SISTEMAS CIBERFÍSICOS E IOT

- ARTÍCULOS DE REFERENCIA:
 - TU-2026 - Overview of the Internet of things, ITU, 2012
 - Zhu, F. and M. Iansiti : “Entry into platform-based markets”. Strategic Management, 2012
 - The Internet of Things: mapping the value beyond the hype, McKinsey & Company, 2015
 - GTAI - Germany Trade and Invest
 - The State of Broadband 2015, ITU, 2015,

- ONLINE:
 - Journal 33: 88-106
 - IEEE, Towards a definition of the Internet of Things(IoT), Online: <http://iot.ieee.org/definition.html>
 - IEEE, Towards a definition of the Internet of Things(IoT). Online: <http://iot.ieee.org/definition.html>
 - Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9-13
 - Web de Karl Steinbuch, Online: http://www.fpl.uni-kl.de/papers/publications/karl-steinbuch_en.html
 - M. Weiser. “The computer for the 21st century”. <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Weiser-SciAm.pdf>
 - K. Ashton. «That ‘Internet of Things’ Thing». RFID journal, 2009. <http://www.rfidjournal.com/article/view/4986>
 - Neil Gershenfeld. «When things start to think». Henry Holt and Co., 1999
 - The Guardian, The internet of things, Online. <https://www.theguardian.com/technology/2003/oct/09/shopping.newmedia>
 - Boston Globe, The Internet of things, Online. http://archive.boston.com/business/technology/articles/2004/10/25/the_internet_of_things/
 - ITU, The Internet of Things, Executive summary. 2005. Online. http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf
 - <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>
 - <http://www.iiconsortium.org/>
 - <https://opcfoundation.org/>
 - <http://www.io-link.com/en/index.php>
 - <http://www.profibus.com/>
 - GridWise Interoperability Context-Setting Framework (March 2008), GridWise Architecture Council, online: www.gridwiseac.org/pdfs/
 - AIOTI WG03, Report on IoT Semantic Interoperability, 2015. Online, http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?action=display&doc_id=11814

- AutomationML, Online, <https://www.automationml.org/o.red.c/home.html>
- Online, <http://blogs.cisco.com/security/what-does-mirai-iot-botnets-mean-to-the-public-sector>
- Online, <https://www.symantec.com/es/mx/page.jsp?id=stuxnet>
- Online, <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2064283/Hackers-control-U-S-public-water-treatment-facilities.html>
- Departamento de Seguridad Nacional de los EE.UU., Strategic principles for securing the Internet of Things, 2016. Online, [https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Strategic Principles for Securing the Internet of Things-2016-1115-FINAL....pdf](https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/Strategic_Principles_for_Securing_the_Internet_of_Things-2016-1115-FINAL....pdf)
- http://is.irc.ec.europa.eu/pages/ISG/documents/BREUGEL-NewICTsectors_PlatformsforEuropeangrowth.pdf
- "The Internet of Things - "Smart" Products Demand a Smart Strategy", Woodside Capital Partners, 2015. http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2015/02/WCP-IOT-M_and_A-REPORT-2015-21.pdf
- "IoT Market". Online: <http://www.postscapes.com/internet-of-things-market-size/>
- <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=press-release&articleId=1771211>
- Ericsson Mobility Report, Ericsson, 2015,
- <http://www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/ericsson-mobility-report-nov-2015.pdf>
- <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>
- "Industrial Internet of Things (IIoT) Market Analysis - Forecast (2016 - 2021)", IndustryARC, 2016, [http://industryarc.com/Report/7385/industrial-internet-of-things-\(IIoT\)-market-report.html](http://industryarc.com/Report/7385/industrial-internet-of-things-(IIoT)-market-report.html)
- The Internet of Things: mapping the value beyond the hype, McKinsey & Company, 2015, <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>
- The Internet of Thing: A New Path to European Prosperity, ATKearney, 2016, <https://www.atkearney.com/documents/10192/7125406/The+Internet+of+Things-A+New+Path+to+European+Prosperity.pdf/e5ad6a65-84e5-4c92-b468-200fa4e0b7bc>
- The Internet of Thing: A New Path to European Prosperity, ATKearney, 2016, <https://www.atkearney.com/documents/10192/7125406/The+Internet+of+Things-A+New+Path+to+European+Prosperity.pdf/e5ad6a65-84e5-4c92-b468-200fa4e0b7bc>
- [http://info.ovum.com/uploads/files/The Internet of Things webinar.pdf](http://info.ovum.com/uploads/files/The_Internet_of_Things_webinar.pdf)
- Gartner. Imagen de: "The Internet of Things - "Smart" Products Demand a Smart Strategy", Woodside Capital Partners, 2015. http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2015/02/WCP-IOT-M_and_A-REPORT-2015-21.pdf
- <http://www.broadbandcommission.org/Documents/reports/bb-annualreport2015.pdf>
- Harnessing the Internet of Things for Global Development, ITU, Cisco, 2016, <https://www.itu.int/en/action/broadband/Documents/Harnessing-IoT-Global-Development.pdf>

PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA

- ARTÍCULOS DE REFERENCIA:
 - Michael Cox and David Ellsworth. Application-controlled demand paging for out-of-core visualization. In Proceedings of the 8th conference on Visualization '97 (VIS '97), Roni Yagel and Hans Hagen (Eds.). IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, 1997
- ONLINE:
 - Wireless HART. Online: http://en.hartcomm.org/hcp/tech/wihart/wireless_overview.html
 - ISA 100. Online: <https://www.isa.org/isa100/>
 - RFC 768, User Datagram Protocol. Online: <https://tools.ietf.org/html/rfc768>
 - RFC 793, Transport Control Protocol. Online: <https://tools.ietf.org/html/rfc793>
 - RFC 7252, Constrained Application Protocol. Online: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>
 - MQTT. Online: <http://mqtt.org/>
 - OPC Foundation, Online: <https://opcfoundation.org/>
 - Recomendación ITU-T Y.2060, ITU, 2012, <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-1/es>
 - TinyOS. Online: http://tinycos.stanford.edu/tinycos-wiki/index.php/TinyOS_Documentation_Wiki
 - Contiki OS. Online: <http://www.contiki-os.org/>
 - RIOT OS. Online: <https://riot-os.org/>
 - FreeRTOS. Online: <http://www.freertos.org/>
 - Android Things. Online: <https://developer.android.com/things/index.html>
 - Amazon EC2, Online: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>
 - Google App Engine, Online: <https://cloud.google.com/appengine/docs/>
 - Google Docs, Online: <https://www.google.es/intl/es/docs/about/>
 - Docker, Online: <https://www.docker.com/>
 - IEC, IoT 2020: Smart and secure IoT platform, 2016, <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-IoT2020-LR.pdf>
 - Proyecto IoT-A, Online, <http://www.meet-iot.eu/iot-a.html>
 - IoT-A, Deliverable D1.5 – Final architectural reference model for the IoT v3.0, Online, http://www.meet-iot.eu/deliverables-IOTA/D1_5.pdf
 - Rozanski, Nick y Woods, Eoin. “Software Systems Architecture – Working with Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives”, Addison Wesley, 2011
 - Rozanski, Nick y Wodds, Eoin, “Applying Viewpoints and Views to Software Architecture”, Online, http://www.viewpoints-and-perspectives.info/vpandp/wp-content/themes/secondedition/doc/VPandV_WhitePaper.pdf
 - IERC. Online: <http://www.internet-of-things-research.eu/>
 - ¹ AIOTI WG03, Report on IoT High Level Architecture, 2015. Online, http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?action=display&doc_id=11812
 - <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>

- CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, Smart Grid Reference Architecture, 2012. Online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf
- <http://www.iiconsortium.org/>
- Industrial Internet Consortium, The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture, 2017. Online: https://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf
- ITU-Y-2060-2012, ITU, 2012, <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/es>
- Proyecto UNIFY-IoT. Online: <http://www.unify-iot.eu/>
- <https://azure.microsoft.com/en-gb/services/iot-hub/>
- <https://aws.amazon.com/es/iot/>
- <https://www.ibm.com/internet-of-things/>
- <https://www.thingworx.com/>
- <https://www.kepware.com/en-us/>
- <https://www.bosch-si.com/iot-platform/bosch-iot-suite/homepage-bosch-iot-suite.html>
- <https://www.ge.com/digital/predix>
- <http://www.openiot.eu/>
- <https://www.firmware.org/>
- <https://www.kaaproject.org/>

APLICACIONES POR SECTOR

- AGROALIMENTACIÓN Y BIO

- [Smart Farming Thingworx: https://www.thingworx.com/ecosystem/markets/smart-connected-systems/smart-agriculture/](https://www.thingworx.com/ecosystem/markets/smart-connected-systems/smart-agriculture/)
- [Monet viticultura: http://monet-ti.com/](http://monet-ti.com/)
- [SensITG viñedos: http://www.itg.es/?page_id=518](http://www.itg.es/?page_id=518)
- [Smart Dairy Farming: http://smartdairyfarming.nl/en/](http://smartdairyfarming.nl/en/)
- <http://eventi.ambrosetti.eu/technologyforum-2016/tracking-and-traceability-cisco-and-iot-for-food-security-and-safety/>
- <http://www.vitria.com/leveraging-iot-analytics-for-cold-chain-management/>
- <https://aioti-space.org/>

- AUTOMOCIÓN

- <https://www.groupe-psa.com/en/automotive-group/industrial-performance/>
- <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0195345EN/industry-4-0:-intelligent-energy-data-management-for-sustainable-production?language=en>
- <https://ubisense.net/en/blog/manufacturing/ubisense-industry-leading-rtls-technology-1>
- Proyecto europeo IoF2020. Online: <https://iof2020.eu/iof/iof2020>
- <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/technology/seeing-into-the-future>
- <http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/catalog/sol/efactory/l16012/l16012e-c.pdf>

- MADERA/FORESTAL

- <http://www.networkworld.com/article/2917281/internet-of-things/ikea-has-plans-for-iot-first-up-networked-kitchen.html>
- https://www.deere.com/en_US/products/technology-solutions/forestry-technology-solutions/forestry-technology-solutions.page
- <http://www.treemetrics.com/>
- <https://microsoft.github.io/techcasestudies/iot/2017/03/08/IoT-Tajfun.html>

- NAVAL

- http://iobe.gr/docs/pub/SP_08062016_PRS_ENG_09.pdf

- <http://asia.nikkei.com/Business/Trends/Japan-s-shipbuilders-look-to-virtual-reality-for-efficiency>
- <http://www.laros.gr/>
- <http://www.spectec.net/maintenance-materials-management>

- METALMECÁNICO
 - Pérez-Garrido C, González-Castaño FJ, Chaves-Diéguéz D, Rodríguez-Hernández PS. Wireless Remote Monitoring of Toxic Gases in Shipbuilding. Sensors (Basel, Switzerland). 2014
 - <http://www.intel.es/content/www/es/es/industrial-automation/industrial-applications/honeywell-industrial-wearables-solution-brief.html>
 - <http://www.gestamp.com/prensa/comunicados-de-prensa?NewID=2528>
 - http://www.hitachi.com/rev/pdf/2016/r2016_05_105.pdf

- TEXTIL/MODA
 - <https://www.sap.com/documents/2015/07/84e50622-377c-0010-82c7-eda71af511fa.html>
 - <https://www.sap.com/documents/2016/03/40162a45-687c-0010-82c7-eda71af511fa.html>
 - <http://www.advantech.com/success-stories/article/0155031b-f309-482e-b4d5-e7c144a13805>
 - https://www.inditex.com/es/media/news_article?articleId=150174
 - <https://www-ssl.intel.com/content/www/us/en/retail/solutions/documents/retail-sensor-platform-paper.html>

- AERONÁUTICO
 - <https://www.infosys.com/>
 - <https://www.infosys.com/engineering-services/white-papers/Documents/landing-gear-design-and-development.pdf>
 - <https://www.infosys.com/newsroom/press-releases/Pages/industrial-internet-things-solutions.aspx>
 - <http://www.ge.com/digital/industries/aviation>
 - <https://www.ge.com/digital/predix>
 - <http://aviationweek.com/connected-aerospace/internet-aircraft-things-industry-set-be-transformed>
 - <http://blog.bosch-si.com/categories/manufacturing/2015/02/first-european-testbed-for-the-industrial-internet-consortium/>

- TIC
 - <http://www.intel.com/content/www/us/en/it-management/intel-it-best-practices/using-big-data-in-manufacturing-at-intels-smart-factories-paper.html>
 - <http://www.mapr.com/>
 - <https://www.mapr.com/solutions/industry/manufacturing-use-cases>
 - <https://es.hortonworks.com/solutions/manufacturing/>

- ENERGÍAS RENOVABLES
 - http://www.advantech.com/industrial-automation/industry4.0/fems#my_ce
 - <https://networkingexchangeblog.att.com/enterprise-business/making-electric-vehicle-charging-stations-smarter/>
 - Proyecto europeo FP7 CMSWind, Online: <http://www.cmswind.eu/>
 - Proyecto europeo FP7 WindTurBars, Online: <http://www.windturbars.eu>
 - <http://www.windriver.com/iot/>
 - <https://www.webnms.com/>
 - <http://algoengines.com/>

- PIEDRA NATURAL
 - <http://lidostone.com/>
 - <http://lidostone.com/case-study-on-lido-stone-prodivded-by-microsoft/>
 - <https://www.microsoft.com/en-us/cloud-platform/customer-stories-lido-stone-works>