

“Estandarización: Autopista hacia la Transformación Digital de la Industria 4.0”

Celia Garrido Hidalgo

Resumen – *La evolución histórica del sector industrial ha dejado atrás tres revoluciones, lideradas todas ellas por grandes hallazgos e incorporaciones tecnológicas a los procesos productivos vigentes. Tras la mecanización de las líneas de producción, la introducción de máquinas eléctricas y su respectiva automatización, actualmente es posible hablar de una cuarta revolución industrial: la Industria 4.0. Este nuevo concepto de industria se ha visto influenciado por el impacto tecnológico de Internet de las Cosas, donde tanto transformación digital como el despliegue de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) juegan un papel fundamental. La estandarización de las tecnologías que contribuyen al desarrollo de la Industria 4.0 es uno de los retos vigentes en la actualidad, por lo que se apuesta por la interoperabilidad de los más clásicos estándares de comunicación, así como por el desarrollo de nuevos estándares capaces de satisfacer la exigente demanda que se atribuye a la nueva industria conectada. En este ensayo se abarcan las principales bases que definen los actuales modelos arquitecturales de referencia, proporcionándose asimismo un breve análisis de los estándares de red inalámbrica más prometedores para la nueva Industria 4.0.*

1. Introducción

Resulta inevitable destacar el alto grado de influencia del marco social y cultural en la normalización de los procesos productivos, donde la necesidad de satisfacer las más exigentes demandas de consumidores ha impulsado en los últimos años a una evolución exponencial del sector industrial. Sin ir más lejos, se estima que el 60 % de los puestos de trabajo desempeñados en la actualidad desaparecerán en un futuro no muy lejano, dándose paso a infinidad de empleos que, a día de hoy, resultarían inimaginables debido a su alto grado de integración tecnológica y digital.

El ser humano atraviesa actualmente una etapa caracterizada por el auge de las tecnologías de la información junto con las telecomunicaciones, las cuales motivaron entre los años 2008 y 2009 la aparición del Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT [1]). Se trata de un amplio concepto que no sólo ha causado un gran impacto en la sociedad actual a partir de sus innumerables aplicaciones, sino que se encuentra en pleno desarrollo en sectores tales como la industria, la agricultura, o la medicina. IoT hace alusión a la interconexión de objetos inteligentes a través de Internet, posibilitando una cooperación conjunta y

coordinada de los mismos. Algunas de las iniciativas actuales que se citan en este ensayo son la monitorización de espacios inteligentes (destacando el concepto de *Smart Cities*), la distribución inteligente de la energía (*Smart Grid*), el transporte inteligente (*Smart Mobility*), la medicina (*Healthcare*) o la industria inteligente (*Industria 4.0*, ver Figura 1). A pesar de que el presente ensayo se centra en esta última tendencia, todas ellas forman parte de Internet Industrial [2] y son analizadas a lo largo del presente ensayo desde el punto de vista de la estandarización. Con ello se realiza un recorrido a través de los distintos estándares que se encuentran disponibles en la actualidad, destacando aquellas necesidades que IoT exige debido a su amplio y rápido crecimiento.

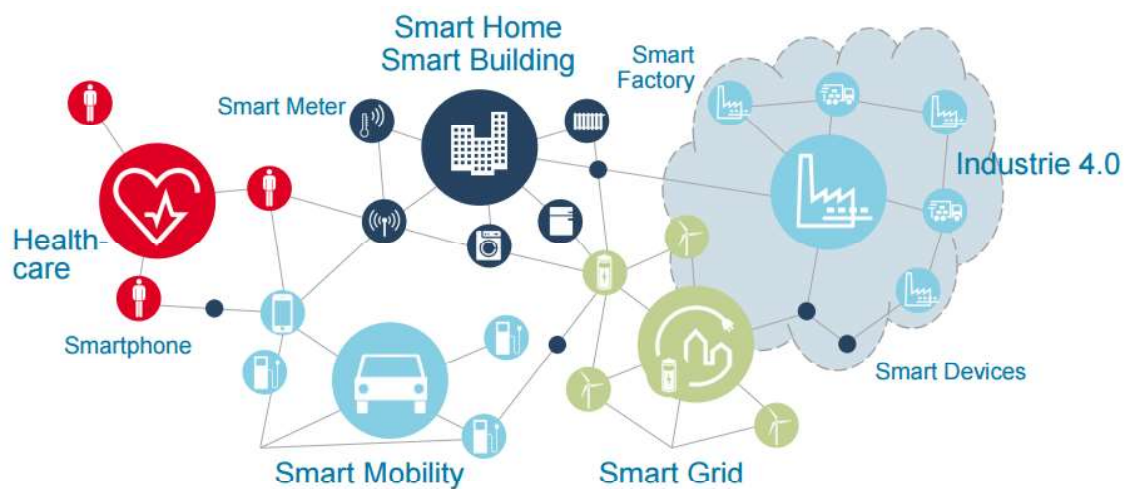


Figura 1. Campos de aplicación de Internet Industrial [3]

El nacimiento de IoT ha supuesto un punto de inflexión en la era de los sistemas de información, ya que refleja el periodo temporal en que el número de dispositivos conectados a Internet superó a la población mundial del planeta. Este hecho se ha visto influenciado en gran medida por la aparición de las primeras redes inalámbricas de sensores (*Wireless Sensor Networks*, WSN [4]), donde diversas plataformas basadas en microcontrolador gestionan un conjunto de sensores (y en ocasiones actuadores) y se interconectan a través de un único protocolo de comunicación inalámbrica. IoT atraviesa actualmente un crecimiento exponencial, estimándose que en el año 2020 habrá crecido hasta alcanzar la cifra de cincuenta mil millones de dispositivos interconectados a través Internet (ver Figura 2). Sin embargo, debido al rápido desarrollo de la tecnología y a la aparición de numerosos estándares con el fin de satisfacer las necesidades comunicativas derivadas de IoT, este ensayo destaca la importancia de determinados retos y desafíos vigentes en la actualidad.

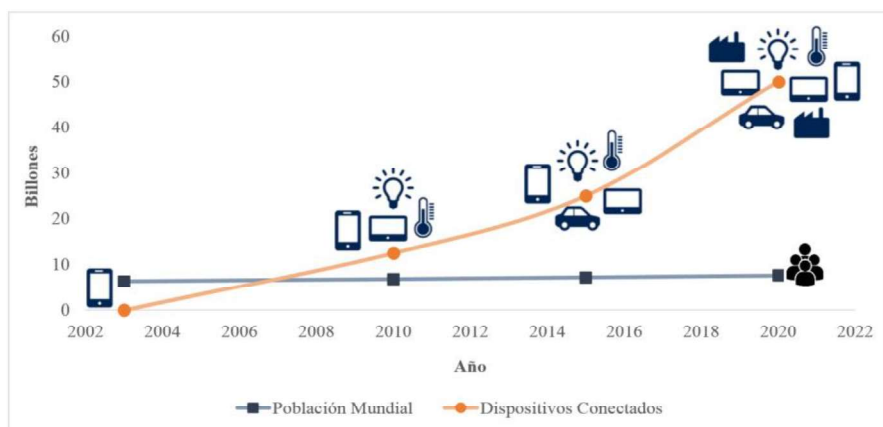


Figura 2. Evolución de Internet de las Cosas

Resulta inevitable destacar el papel que juega la normalización en el desarrollo de las tecnologías vigentes en la actualidad, la llamada era de la transformación digital, debido a la magnitud del fenómeno que está teniendo lugar. La actual demanda de mercado exige la fabricación flexible de pequeños lotes de productos que en determinadas situaciones requieren exclusividad o incluso personalización, por lo que el número de dispositivos y sistemas involucrados en un proceso productivo se ha visto incrementado en gran medida. Considerando que IoT pretende dotar a las tecnologías vigentes de una gestión más eficiente de la comunicación, si se traslada este hecho al ámbito del sector industrial, los beneficios aumentan exponencialmente, incrementando el valor añadido de la industria. Por ello, uno de los factores más destacados para impulsar un sector industrial optimizado, eficiente y respetuoso con el medio ambiente es la consolidación de estándares IoT capaces de coexistir con conjuntos heterogéneos de dispositivos.

El presente documento ofrece un breve recorrido a lo largo de la trayectoria tecnológica de la iniciativa Industria 4.0. En primer lugar, se ofrece una visión general del marco sociocultural en que ha surgido este movimiento, considerando el ámbito nacional así como el internacional. Posteriormente se analizan las distintas iniciativas que lideran su desarrollo y la integración de conocidos estándares de IoT con objeto de consolidar las bases necesarias que culminarán en la esperada Cuarta Revolución Industrial.

2. Liderando una nueva Revolución Industrial

La industrialización de las técnicas y procesos de fabricación y producción es un hecho que data de principios del siglo XVIII, y se ha visto transformado tras atravesar tres periodos temporales históricamente destacados en los que se perseguía una mejora y optimización de la producción. En la Figura 3 se muestran dichos periodos temporales, junto con su caracterización en el marco de las distintas revoluciones industriales que han transformado por completo el proceso productivo hasta el conocido en la actualidad.

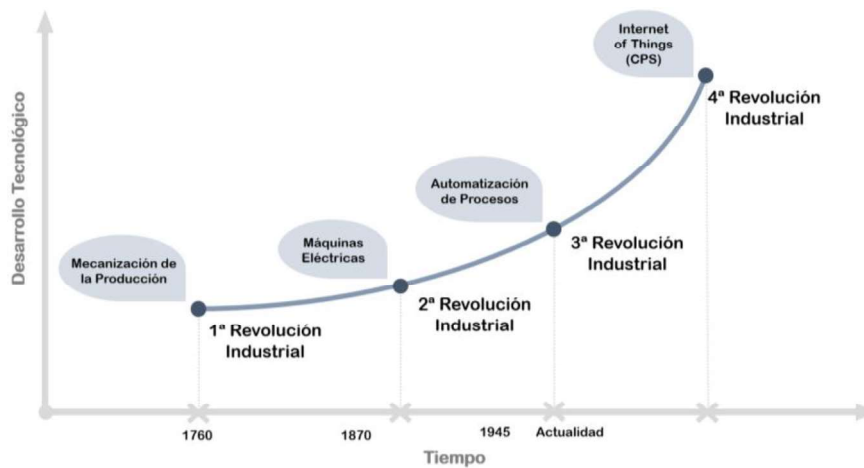


Figura 3. *Revoluciones Industriales*

La Primera Revolución Industrial se remonta al periodo comprendido entre los años 1760 y 1830. Se trata de un movimiento surgido en Inglaterra en que se incorporó el uso de algunas materias inorgánicas tales como el carbón o el petróleo, destacándose el uso de la primera de ellas como fuente de energía protagonista de este periodo. El principal atributo característico de esta etapa reside en la mecanización de los procesos de producción, con lo que se trataba de aumentar la producción a partir del uso de máquinas especializadas. En cuanto al campo de aplicación, cabe destacar el auge de las industrias textil y siderúrgica, reforzadas a partir de la conocida máquina de vapor.

El año 1870 se considera el inicio de la Segunda Revolución Industrial, caracterizada por la automatización de procesos mediante máquinas gobernadas por energía eléctrica. Asimismo se introdujo el uso de la energía hidráulica y se potenció la utilización de algunas materias primas de origen químico, como el plástico. El origen de esta revolución, sin embargo, se atribuye a países como Alemania, EEUU y Japón, cuyo campo de aplicación de la industria en este periodo de la historia permaneció centrado en los ámbitos denominados anteriormente, aunque la agricultura y la medicina tomaron un importante valor.

En cuanto a la Tercera Revolución Industrial, tuvo su origen en el año 1945 y abarcó un periodo temporal de cuarenta años, aproximadamente. En este caso se destaca la aparición de tecnologías con un alto grado de especialización, abarcando campos de aplicación tales como la aeronáutica, la medicina, la óptica, la robótica, etc. El principal atributo característico de esta etapa es la integración de las tecnologías electrónicas en la automatización de las máquinas, logrando la obtención de un proceso productivo más flexible y eficiente. Adquirió real importancia la minimización de los costes en la producción, junto con la reducción de emisiones derivadas de la misma, normalizándose así diversas medidas relacionadas con la eficiencia energética y el cambio climático a nivel nacional e internacional.

Tras el desarrollo de las anteriores etapas en la evolución del sector industrial, la integración de dispositivos inteligentes interconectados, así como sistemas ciber-físicos (*Cyber-Physical Systems*, CPS [5]) potencia un desarrollo prometedor de la industria en nuestros días. Con la llegada de la iniciativa alemana *Industrie 4.0* [3], infinidad de países se han unido manifestando iniciativas tales como *Industrie du Futur* [6] (Francia), *Made in China 2025* [7], etc. dando paso a la Cuarta Revolución Industrial. Todas ellas apuestan por una visión de futuro de la industria en la que la estandarización de los procesos así como su globalización permita la interoperabilidad de productos, máquinas y personas sea cual sea su localización geográfica. Con ello, se pretende desarrollar una industria flexible capaz de aportar un valor añadido al producto mediante la digitalización de los procesos en los que, tanto consumidores como máquinas o productos cooperen de acuerdo con un mismo fin.

En el ámbito nacional, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo [8] ha tomado el liderazgo en España, ofreciendo la iniciativa Industria Conectada 4.0 [9]. Incrementar el valor añadido industrial, así como favorecer el modelo industrial de futuro o desarrollar palancas competitivas que impulsen las exportaciones de la industria española son algunas de las principales barreras que la Industria Conectada 4.0 define para su desarrollo futuro.

Sin embargo, a pesar de que esta iniciativa se ha visto respaldada por numerosas entidades, existe una constante necesidad de estandarizar las distintas tecnologías que contribuyen al desarrollo de Internet Industrial, englobando en este concepto la iniciativa Industria 4.0. El conjunto de tecnologías de red que facilitan la adquisición de datos masivos en las plantas de producción requieren ser gestionadas de manera uniforme, de modo que se establezca un único formato de intercambio de datos aceptado por todos los entornos que constituyen una determinada red inalámbrica industrial.

3. Arquitectura de Referencia

Existen en la actualidad dos organizaciones de carácter internacional que están impulsando la adopción de estándares y arquitecturas orientadas al desarrollo de la Industria 4.0: el Consorcio de Internet Industrial (*Industrial Internet Consortium*, IIC [10]) y *Plattform Industrie 4.0* [3]. Sin embargo, a pesar de abarcar distintos contextos tecnológicos, ambas entidades colaboran en la actualidad ofreciendo soluciones complementarias. Centrando la atención en el IIC, se puede destacar a partir de la Figura 4 el amplio abanico de aplicaciones abarcado, siendo la Industria 4.0 tan sólo uno de los cinco desafíos que éste persigue.

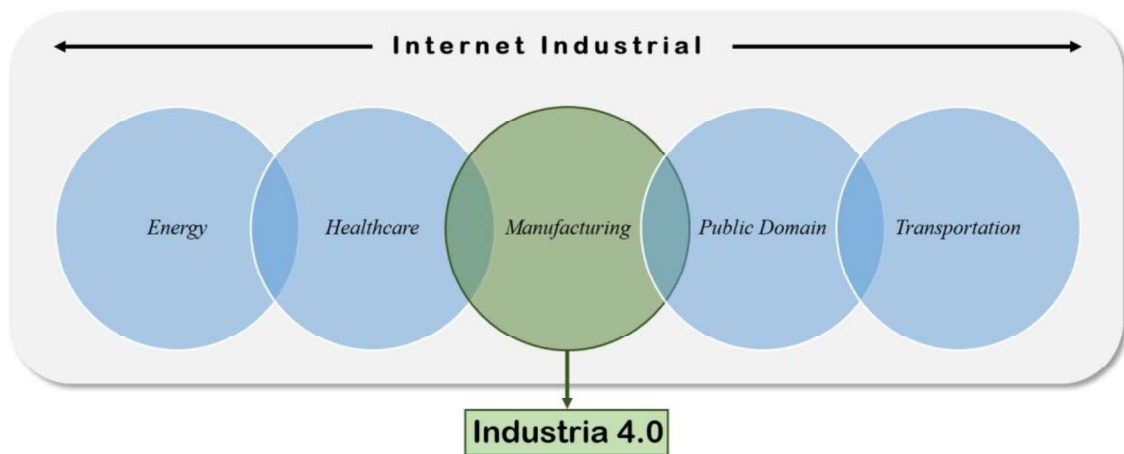


Figura 4. Dominio de Internet Industrial y equivalencia con la Industria 4.0

Para facilitar la incorporación de diversos estándares bajo un mismo protocolo de comunicaciones, capaz de unificar la información recogida por todo tipo de sensores desplegados en un determinado entorno industrial, se requiere en primer lugar establecer un único modelo de arquitectura genérica. Actualmente se han realizado notables avances en este sentido aunque, sin embargo, no existe una única arquitectura de referencia que englobe cualquier modelo de producción. Se distinguen principalmente dos vertientes que han sido adoptadas con carácter internacional:

- **Arquitectura de Referencia de Internet Industrial (IIRA [11]):** se trata de una arquitectura que fue impulsada por el IIC en el mes de Junio del año 2015. Se trata de una arquitectura que apuesta por un único modelo estructural en que se facilita la interoperabilidad entre distintos sistemas industriales, simplificando en gran medida su desarrollo. Este modelo define cómo deben interactuar los dispositivos pertenecientes a una determinada red industrial, definiendo asimismo una serie de estándares que podrían ser adoptados en los próximos años. En la Figura 5 (izquierda) se muestran las distintas capas y niveles que interactúan en este modelo arquitectural de acuerdo con unificar el flujo de información a través de un determinado sistema industrial.
- **Modelo de Referencia Arquitectural de la Industria 4.0 (RAMI 4.0 [12]):** se trata de un modelo de referencia en el cual se muestran los distintos niveles operativos de cualquier sistema funcionando en el contexto Industria 4.0, y fue publicado en el mes de Abril del año 2015 por la industria electrotécnica alemana. Se encuentra reflejado en la Figura 5 (derecha) como un modelo tridimensional en el que se destacan principalmente las siguientes:
 - **Jerarquía de componentes:** se definen los distintos componentes, desde el producto inicial hasta el mundo conectado en que se desarrolla.

- **Ciclo de vida y cadena de valor añadido:** establece la existencia de un modelo de datos único a lo largo del ciclo de vida del producto.
- **Tecnologías de la Información:** abarca la interconectividad de las distintas capas, desde la presencia de sensores y actuadores en la capa física del sistema hasta el modelo de servicios negocio perseguido.

Tal y como se citó con anterioridad, ambos modelos arquitecturales cooperan en la actualidad permitiendo un amplio rango de posibilidades gracias a su interoperabilidad. Su estricta relación puede apreciarse en la Figura 5, donde se han abarcado distintos niveles de abstracción que ofrecen una perspectiva tanto tecnológica como de modelo de negocios.

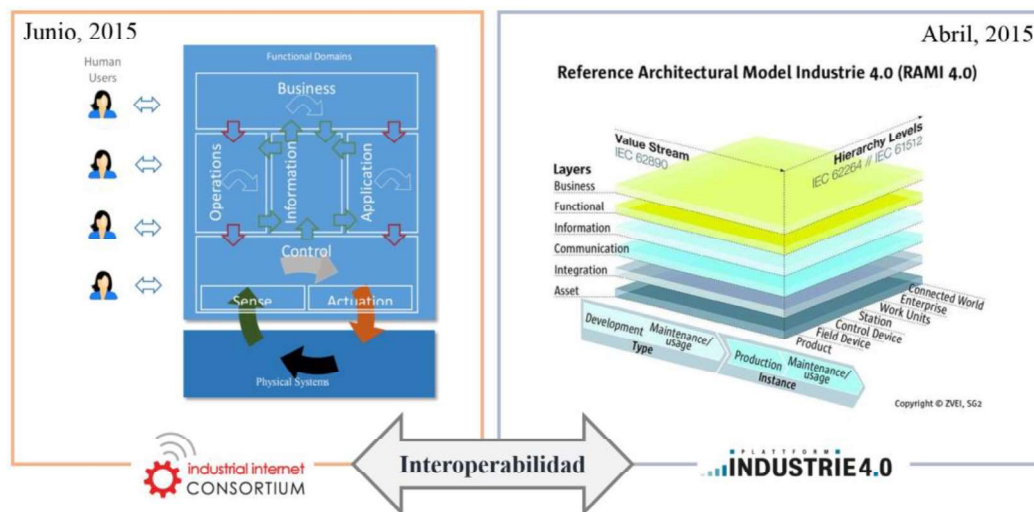


Figura 5. Arquitecturas de Referencia: IIRA y RAMI4.0

4. Estándares de comunicación para la Industria 4.0

La Industria 4.0 ofrece infinidad de posibilidades en cuanto a la digitalización del sector industrial, considerando la interacción de todo tipo de WSN compuestas por conjuntos heterogéneos de dispositivos. Por ello, se han consolidado en los últimos años infinidad de alianzas con objeto de normalizar los distintos campos de aplicación a los que IoT se destina. Cabe destacar la iniciativa de IIC (anteriormente descrito) o AllSeen Alliance [13] en la búsqueda de interoperabilidad entre estándares para Internet Industrial. AllSeen Alliance, liderada por Qualcomm, es una alianza a la que se han unido más de 200 empresas de carácter internacional. A pesar de que su campo de aplicación está actualmente orientado al uso doméstico de IoT, se estima que su participación en el ámbito industrial será prometedora gracias a su propuesta de estandarización para *Smart Factories*, *Smart Cities* y *Smart Transportation*, algunas de las principales tendencias gobernadas por Internet Industrial. Asimismo, la alianza IPSO (*Internet Protocol for Smart*

Objects, [14]) es una de las más antiguas en lo referente a la estandarización de IoT, ya que fue creada en el año 2008 (incluso antes de existir dicho término) de la mano de prestigiosas instituciones.

A continuación, se detallan algunos de los estándares de comunicación inalámbrica más populares, así como aquellos que resultan prometedores de acuerdo con los principales retos comunicativos que IoT impone para la industria, ya que podrían ser futuramente integrados conformando un conjunto robusto y flexible de estándares para potenciar la estandarización de Internet Industrial.

4.1. Estándares de comunicación inalámbrica con carácter general para la Industria 4.0

A continuación se detalla el funcionamiento de un conjunto de estándares de comunicación inalámbrica que proporcionan un valor añadido al carácter innovador de la Industria 4.0, con lo que se facilita el acceso remoto a todo tipo de servicios, incluyendo información en tiempo real acerca de las líneas de producción.

a. Estándares para Redes de Área Personal y Local

Existe infinidad de tecnologías de área tanto personal como local que posibilitan una cooperación flexible de los distintos dispositivos y sistemas que se engloban bajo el concepto de Industria 4.0. En esta sección tan sólo serán analizados aquellos estándares clásicos que posibilitan la interacción de dispositivos en entornos IoT, con posibilidad de ser integrados en el campo de aplicación de Internet Industrial.

En primer lugar, el estándar IEEE 802.11 está presente en la mayoría de las redes inalámbricas de carácter industrial. Con objeto de garantizar la interoperabilidad los productos de distintos fabricantes, el grupo Wi-Fi Alliance [15] creó la tecnología de red Wi-Fi (acrónimo de *Wireless Fidelity*) como símbolo de garantía de compatibilidad con dicho estándar. Esta tecnología de red trabaja en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz o 5 GHz, ofreciendo un gran ancho de banda. A su vez, se trata de una tecnología con un amplio rango de cobertura que, dependiendo de su utilización en ambientes cerrados o al aire libre, ofrece un rango de coberturas desde 90 metros hasta 400 metros.

En segundo lugar, se muestran algunas de las características más importantes de la tecnología de red más destacada perteneciente al estándar IEEE 802.15.4: ZigBee. Se trata de un estándar desarrollado por ZigBee Alliance [16] con objeto de minimizar tanto los costes de implementación como el consumo, a costa de la pérdida de velocidad respecto a la tecnología Wi-Fi. Asimismo, ZigBee opera en las bandas de frecuencias de 2.4 GHz y 868 MHz en Europa, y 915 MHz en Estados Unidos. Se trata de una tecnología creada principalmente para aplicaciones basadas en redes de sensores compuestas por gran cantidad de nodos dispuestos en una topología en malla. Por este motivo, es altamente adecuada en ambientes tanto

interiores como exteriores. Sin embargo, se trata de un estándar que actualmente no ha sido adoptado por grandes fabricantes de dispositivos móviles (al contrario de Wi-Fi o Bluetooth).

Por último, la tecnología de red más destacada en cuanto al estándar IEEE 802.15.1 es Bluetooth [17], compatible con infinidad de fabricantes de dispositivos móviles. Esta tecnología de red trabaja en la banda de frecuencias de 2.4 GHz y, en esta sección, se presta especial atención a las especificaciones 4.0 y posteriores de Bluetooth, denominadas *Bluetooth Low Energy* (BLE [18]). Bluetooth es un estándar clasificado principalmente como red de comunicaciones de área personal (*Personal Area Network*, PAN) debido a su corto alcance. Sin embargo, sus últimas especificaciones dejan atrás este concepto, ofreciendo además un consumo muy reducido, lo que hace de esta tecnología una alternativa eficiente en situaciones en que el volumen de datos a transmitir no resulte excesivo.

BLE es una de las tecnologías de red más prometedoras para el desarrollo de IoT. Tras el lanzamiento de la especificación BLE 4.2 se ha dotado a esta tecnología de una ampliación de cobertura (pudiendo ser incrementada mediante una topología en malla), lo que la convierte en una tecnología realmente atractiva para su introducción en el ámbito de la Industria 4.0. Además, gracias al soporte IPv6/6LowPAN que incorpora la nueva especificación 4.2, se permite un acceso directo a internet, sin necesidad de conexiones intermediarias.

Actualmente se han desarrollado diversos estudios de caso (tales como [19] o [20]) que incluyen la utilización del estándar BLE para la optimización del proceso productivo. Una de las tendencias más habituales es la utilización de *wearables* basados en BLE para realimentar la planta productiva con información acerca de las constantes vitales más destacables, flexibilizando la producción mediante una mayor adaptabilidad del sistema. Asimismo, el uso de balizas (o *beacons*) permite el seguimiento de los distintos lotes de producción, facilitando la extracción de información de interés acerca del estado de la producción. La Tabla 1 muestra una breve comparativa de las tecnologías citadas en esta sección.

Nombre del Estándar	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1
Tecnología	Wi-Fi	ZigBee	BLE
Rango de Cobertura	≈ 300 m	≈ 100 m	≈ 300 m
Topología Típica	Estrella	Malla	Estrella, Malla...
Velocidad de Transmisión	≈ 150 Mbps	≈ 250 kbps	≈ 2.5 Mbps

Tabla 1. Comparativa de estándares

b. Estándares para Redes de Área Extensa

El panorama actual en cuanto a la normalización de las redes de bajo consumo y área extensa (*Low-Power Wide-Area*, LPWA) está protagonizado por los estándares LoRaWAN [19] y SigFox [20]. Ambos persiguen la interoperabilidad entre todo tipo de dispositivos IoT localizados en extensas áreas geográficas, mediante un bajo consumo (aseguran una duración de batería mayor a 10 años en estado de espera). Sin embargo, no hay que dejar de lado la iniciativa de estandarización de banda ancha de la alianza 3GPP [23]. 3GPP ha posibilitado la puesta en marcha de estándares tales como GPRS, EDGE o LTE, cuya influencia en el ámbito de Internet Industrial bajo la filosofía LPWA resulta cada vez más evidente.

LoRaWAN (*Long-Range, Wide Area Network*) es un estándar abierto desarrollado en el año 2015 por la alianza LoRa Alliance [19]. Se destaca un creciente impacto en su utilización gracias al principal objetivo perseguido: estandarizar el mercado IoT proporcionando soluciones que abogan por la interoperabilidad entre dispositivos inteligentes. Su área de cobertura abarca hasta 15 km, aunque su tradicional topología compuesta por estrellas de estrellas permite una mayor extensión.

En cuanto a la tecnología SigFox, cabe destacar que se encuentra actualmente en fase de despliegue, aunque su gran impacto en la industria de IoT la convierte en una tecnología prometedora. Este estándar se basa en la idea de reemplazar los clásicos gateways y repetidores por nodos sensores que gestionen y envíen directamente a la red la información adquirida, por lo que no se requieren tareas adicionales de dimensionamiento o mantenimiento de dispositivos intermediarios. SigFox se compara habitualmente con su gran competidora, LoRaWAN, ya que ambas tecnologías comparten la misma filosofía, aunque abordan perspectivas realmente contradictorias. Mientras SigFox es una tecnología de banda estrecha orientada al envío de mensajes esporádicos, LoRaWAN emplea un mayor ancho de banda a costa de una mayor probabilidad de interferencia con otras tecnologías de red. Por ello, suele conocerse SigFox gracias a los cuatro atributos que la caracterizan (4L: *Low Power*, *Long Range*, *Low Traffic*, *Low Cost*). En la Tabla 2 se muestran algunas de las características más destacables de los estándares SigFox y LoRaWAN.

El estándar de comunicaciones SigFox ha sido utilizado en el despliegue de una red que abarca los países de Francia, Reino Unido, Holanda y España y, debido a su potencial, se encuentra en pleno desarrollo en otros trece países, incluyendo Estados Unidos. Asimismo, dadas las numerosas ventajas que SigFox proporciona a la cadena de valor de la Industria 4.0, se está considerando la posibilidad de integrar dicha red en algunas infraestructuras existentes en el dominio de Internet Industrial.

Nombre del Estándar	LoRaWAN	SigFox
Filosofía	<i>Wide Area Networks for IoT</i>	<i>One network A billion dreams</i>
Rango de Cobertura	≈ 2-5 km (urbano), 15 km (rural)	≈ 10 km (rural), 50 km (urbano)
Topología Típica	Estrella de Estrellas	Estrella
Tamaño de Paquete	Definido por usuario	12 bytes
Ancho de Banda	125 kHz	≈ 100 Hz

Tabla 2. Comparativa de estándares LPWA

4.2. Estándares de comunicación inalámbrica con carácter específico para la Industria 4.0

A continuación, se ofrece una breve descripción de algunos estándares que, por su apuesta tecnológica, resultan realmente prometedores para su inmersión en el nuevo concepto de industria inteligente, incluyendo así la comunicación M2M (*Machine-to-Machine*). Cabe destacar aquellos estándares que fomentan el uso de plataformas libres, lo cual se considera uno de los pilares fundamentales en el desarrollo de la Industria 4.0, y de IoT en general. Se destacan en primer lugar dos estándares prometedores a nivel de Internet Industrial, en el contexto de IoT: CoAP [22] y MQTT [23]. Se trata de dos estándares abiertos que, basados en el Protocolo de Internet (*Internet Protocol*, IP), proporcionan diversas soluciones para comunicación entre dispositivos de manera asíncrona y con una amplia flexibilidad.

MQTT, estandarizado por ISO, proporciona un protocolo de comunicaciones basado en la interconexión de diversos clientes con un dispositivo intermediario (o *broker*) encargado de gestionar de manera centralizada la red. De cara a la Industria 4.0 resulta atractivo, ya que tanto la suscripción de nuevos dispositivos como la baja de los mismos se realizan de forma dinámica. Sin embargo, uno de los principales cuellos de botella que presentan las redes basadas en un único nodo intermediario es la inoperatividad de dicho nodo, lo cual podría en peligro el funcionamiento de la red completa. No obstante, este protocolo presenta una alta fiabilidad comparado con CoAP, proporcionada por el protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*) en el que se basa. CoAP (*Constrained Application Protocol*) se sustenta en el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*). Se trata de un protocolo basado en HTTP que incluye algunos de los atributos más característicos de IoT y M2M, tales como la simplicidad o el multicast.

En cuanto a la estandarización de la comunicación M2M se destacan las aportaciones de OneM2M [26], una de las principales alianzas en lanzar la iniciativa de estandarizar las comunicaciones en el ámbito de la Industria 4.0. Esta alianza propone el desarrollo de diversas especificaciones basadas en un único estándar, donde el conjunto heterogéneo de plataformas hardware mencionado inicialmente no suponga un impedimento para la interoperabilidad de dispositivos en la Industria 4.0.

5. Conclusiones

Uno de los principales retos de la Industria 4.0 es la estandarización de las tecnologías que forman parte de ella, de manera que se permita una constante cooperación entre dispositivos con objeto de mejorar la interoperabilidad. La coexistencia de diversos estándares de comunicación, donde máquinas, productos y operarios deben interconectarse, requiere hacer un uso intensivo de la normalización con objeto de unificar el modelo comunicativo. Actualmente, numerosas instituciones trabajan en el desarrollo de estándares capaces de cumplir con la exigente demanda de la industria, ya que la heterogeneidad tecnológica actual impone numerosas fronteras comunicativas.

En este ensayo se aborda una breve comparativa entre los modelos arquitecturales de la Industria 4.0 vigentes en la actualidad: IIRA y RAMI4.0. Estos modelos son el principal indicio de estandarización proporcionado por dos conocidas organizaciones de carácter internacional (Consortio de Internet Industrial y Plataforma Industria 4.0, respectivamente), las cuales cooperan en la actualidad con objeto de proporcionar un único modelo de arquitectura de referencia que abarque tanto las tecnologías y estándares de comunicación como los modelos de negocio derivados de la Industria 4.0. Dado que, hasta el momento, no se ha logrado la completa estandarización de las tecnologías que forman parte de la nueva industria conectada, en este documento se aporta una descripción de los estándares y tecnologías clave que lideran el cambio del paradigma industrial actual.

Se destacan en primer lugar aquellos estándares de comunicación inalámbrica que, a pesar de desempeñar un papel genérico en cuanto a la Industria 4.0, cooperan de manera indirecta en la actualidad en la búsqueda de soluciones IoT para la nueva industria. En cuanto a estos estándares, cabe destacar la gran repercusión de la tecnología de red BLE (bajo el estándar IEEE 802.15.1) en algunos procesos de producción, donde la incorporación de sistemas basados en balizas o *beacons* parece haber reemplazado a los tradicionales sistemas de etiquetas para el seguimiento de productos en las cadenas de producción. Asimismo, en cuanto al lanzamiento de estándares de bajo consumo y gran alcance, se destaca la aparición de SigFox, tecnología realmente prometedora en la interconexión de sistemas industriales que abarcan una extensa área a partir de un consumo prácticamente despreciable. Sin embargo, tras el análisis de los diversos estándares vigentes en la actualidad, sin duda debe posicionarse el punto de mira en MQTT y CoAP, ya que han sido desarrollados en los últimos años con carácter específico para la Industria 4.0 y se encuentran en pleno desarrollo.

A pesar de la dificultad que implica la búsqueda de un único estándar de comunicación para abarcar los requerimientos de sistemas orientados a la Industria 4.0, en este ensayo se ofrece una amplia visión de conjunto donde, sin duda alguna, se han determinado los criterios que nos llevan a reconocer que resulta prácticamente imposible unificar los modelos comunicativos vigentes en este tipo de sistemas. Por ello, la evolución de la Industria 4.0 debe asumir la coexistencia de diversas tecnologías y conjuntos de dispositivos, razón por la que resulta indispensable asegurar la interoperabilidad de distintas tecnologías de manera flexible y eficiente.

6. Referencias

- [1] L. Atzori, A. Lera, G. Morabito, «Internet of Things: A survey,» *Computer Networks*, pp. 2787-2805, 2010.
- [2] J. Bruner, *Industrial Internet*, O'Reilly Media, 2013.
- [3] Plattform Industrie 4.0, «Plattform Industrie 4.0,» 2016. Available: <http://www.plattform-i40.de/>. [Último acceso: 10 Agosto 2017].
- [4] I. Akyldiz, W Su, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, «A survey on Sensor Networks,» *IEEE Communications Magazine*, 2002.
- [5] E. A. Lee, «Cyber physical systems: Design challenges,» *IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, pp. 363-369, 2008.
- [6] Alliance Industrie du Futur, «Industrie du Futur,». Available: <http://allianceindustrie.wixsite.com/industrie-dufutur>. [Último acceso: 27 Agosto 2017].
- [7] CSIS: Center for Strategic & International Studies, «Made in China 2025,» 2015. Available: <https://www.csis.org/analysis/made-china-2025>. [Último acceso: 14 Agosto 2017].
- [8] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «Ministerio de Industria, Energía y Turismo,» 2016. Available: <http://www.minetur.gob.es/>. [Último acceso: 7 Junio 2017].
- [9] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «Industria Conectada 4.0,» 2016. Available: <http://www.industriaconectada40.gob.es/>. [Último acceso: 8 Junio 2017].
- [10] The Industrial Internet Consortium, «Industrial Internet Consortium,» 2016. Available: <http://www.iiconsortium.org/>. [Último acceso: 27 Junio 2017].
- [11] The Industrial Internet Consortium, «Industrial Internet Reference Architecture,» 2015. Available: <http://www.iiconsortium.org/IIRA>. [Último acceso: 20 Agosto 2017].
- [12] Plattform Industrie 4.0, «Referenzarchitekturmodell Industria 4.0 (RAMI 4.0),» 2015. Available: <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/>. [Último acceso: 22 Agosto 2017].
- [13] AllSeen Alliance, «AllSeen alliance,» 2016. Available: <https://allseenalliance.org/>. [Último acceso: 11 Agosto 2017].
- [14] IPSO Alliance, «IPSO Alliance,» 2016. Available: <http://www.ipso-alliance.org/>. [Último acceso: 11 Agosto 2017].

- [15] WI-FI Alliance, «WI-FI Alliance Homepage,». Available: <http://www.wi-fi.org/>. [Último acceso: 7 Julio 2015].
- [16] ZigBee Alliance, «ZigBee Alliance Homepage,» Available: <http://www.zigbee.org/>. [Último acceso: 7 Julio 2016].
- [17] Bluetooth SIG, «Bluetooth Special Interest Group,» 1015. Available: <https://www.bluetooth.org/>. [Último acceso: 14 Agosto 2017].
- [18] Bluetooth SIG, «Bluetooth,» 2016. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/>. [Último acceso: 23 Junio 2017].
- [19] R. Tei, H. Yamazawa, T. Shimizu, «BLE power consumption estimation and its applications to smart manufacturing,» *Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, pp. 148-153, Julio 2015.
- [20] D. Li, J. Wan, A. Vasilakos, V. Lai, S.Wang, «A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0,» *Wireless Networks*, pp. 1-19, 2015.
- [21] LoRa Alliance, «LoRa Alliance, Wide Area Networks for IoT,» 2016. Available: <https://www.lora-alliance.org/>. [Último acceso: 22 Julio 2017].
- [22] SIGFOX, «SIGFOX,» 2017. Available: <https://www.sigfox.com/>. [Último acceso: 29 Julio 2017].
- [23] 3GPP, «3GPP, A Global Initiative,» 2016. Available: <http://www.3gpp.org/>. [Último acceso: 7 Agosto 2017].
- [24] C. Bormann, 2016. Available: <http://coap.technology/>. [Último acceso: 14 Agosto 2017].
- [25] L. H. Stanford A., «MQTT For Sensor Networks,» 2014. Available: http://mqtt.org/new/wp-content/uploads/2009/06/MQTT-SN_spec_v1.2.pdf. [Último acceso: 14 Agosto 2017].
- [26] OneM2M Partners, 2016. Available: <http://www.onem2m.org/>. [Último acceso: 19 Agosto 2017].
- [27] C. B., «La Industria 4.0 en España,» *AENOR, Entrevista*, p. 1, 15 Enero 2016.
- [28] G. A., *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Apress, 2016.