

## **Informe sobre la incorporación de las temáticas asociadas con la “Industria 4.0” en el marco de CEA**

Enero-septiembre 2018

CEA. Área de acción estratégica “Industria 4.0”

Coordinador: José Enrique Simó Ten

Contacto: [ceaindustria4.0@gmail.com](mailto:ceaindustria4.0@gmail.com)

Ámbito del documento: libre circulación

### Introducción

El concepto Industria 4.0 fue desarrollado en 2015 por el gobierno alemán [2] para describir una visión de la fabricación con todos sus procesos informatizados e interconectados mediante Internet de las Cosas (IoT). El equivalente norteamericano de este concepto es “Internet Industrial de las Cosas” (IIoT) [1]. El Gobierno español también estableció en 2016 un concepto similar, pero lo llama Industria Conectada 4.0 para reflejar la importancia de las comunicaciones industriales (<http://www.industriaconectada40.gob.es>).

Este concepto involucra cambios profundos en la organización de los medios de producción y servicios, en términos de adaptabilidad a las necesidades de la demanda y los recursos disponibles, a un nivel tan esencial, que ya se le ha dado en llamar la cuarta revolución industrial (Industria inteligente o Ciber-industria del futuro).

El objetivo final es la evolución de los sistemas de fabricación mediante la creación de sistemas de fábricas inteligentes caracterizadas por:

- Alta capacidad de adaptación y reconfiguración
- Personalización de productos y servicios
- Alta eficiencia en el uso de recursos
- Buena ergonomía
- Comunicaciones ubicuas
- Integración total con clientes y aliados empresariales
- Integración total con procesos comerciales y cadenas de valor

La Figura 1 representa de forma gráfica lo que supone la evolución desde la tecnología industrial actual, a la Industrial 4.0

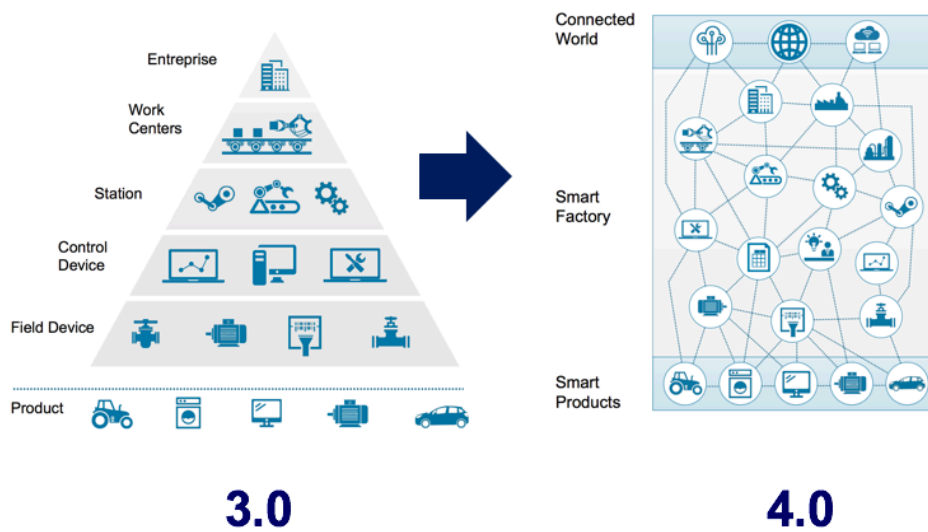


Figura 1: Una de las claves de la Industria 4.0 es la interconexión en todas las escalas.  
(Imágenes obtenidas de “Platform Industrie 4.0” <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html> )

En este contexto, hay muchas claves tecnológicas (prácticamente todas aquellas que tienen que ver con la automatización, la robótica, el control, la sensorización, el procesamiento de la información y las comunicaciones) pero también son claves aspectos legales, administrativos, de seguridad e incluso filosóficos.

El concepto general de Industria 4.0 no es algo consolidado y, actualmente, se encuentra en fase de desarrollo en términos de tecnologías posibilitadoras, aplicación y adaptación de tecnologías ya desarrolladas y desarrollo o adopción de estándares y modelos de referencia.

La “*The Mechanical Engineering Industry Association (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau)*”, más conocida por VDMA, la asociación industrial más grande de Europa, también ha contribuido a clarificar el concepto de industria 4.0 a través de diferentes guías y recomendaciones de mejores prácticas [5], [6].

El Consorcio de Internet Industrial (IIC) y el Grupo de Trabajo de Industria 4.0 han generado directrices y recomendaciones en forma de la Arquitectura de Referencia de Internet Industrial (IIRA) y el Modelo de Arquitectura de Referencia para Industria 4.0 (RAMI 4.0), respectivamente. Ambas comunidades reconocen que la seguridad y la confiabilidad son requisitos esenciales para la IOT industrial. De hecho, la CII ha introducido recientemente el Marco de Seguridad Industrial de Internet (IISF) para proporcionar orientación a este respecto.

El modelo de arquitectura de referencia RAMI 4.0 (DIN SPEC 91345: 2016-04) [3] [4] es un modelo de arquitectura de referencia para Industria 4.0 y sirve para la descripción estructurada de ideas básicas. RAMI 4.0 propone un modelo de capas cúbico, además de la arquitectura de objetos (activos) y jerarquías de organización. Ver Figura 2.

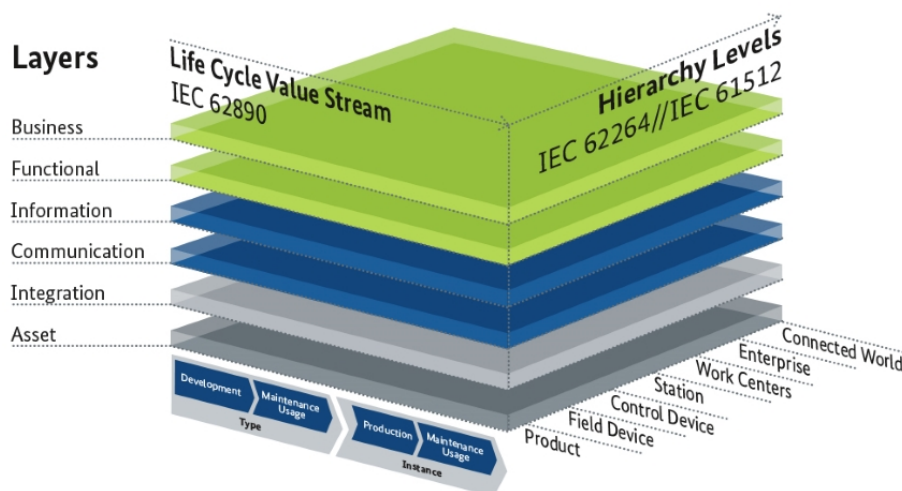


Figura 2: Modelo de capas RAMI 4.0.

(Imágenes obtenidas de “Platform Industrie 4.0” <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html> )

La propuesta IIRA proporciona una serie de dominios funcionales y una guía de alto nivel sobre la conectividad y el modelo de computación en los diferentes dominios funcionales.

Un dominio funcional representa una funcionalidad distinta en el sistema IIOT global. La descomposición de un sistema en dominios funcionales pone de relieve los bloques de construcción generales en la integración vertical de un sistema de producción industrial. Descomponemos un sistema IIOT típico en cinco dominios funcionales:

- Dominio de control
- Dominio de operaciones
- Dominio de información
- Dominio de la aplicación
- Dominio empresarial

Los flujos de datos y los flujos de control tienen lugar en y entre estos dominios funcionales. Los controles, la coordinación y la orquestación ejercida desde cada uno de los dominios funcionales tienen diferentes granularidades y se ejecutan en diferentes ciclos temporales. A medida que se eleva en los dominios funcionales, las interacciones son más toscas, su ciclo se hace más largo y el alcance del impacto probablemente se vuelve más grande. En consecuencia, a medida que la información avanza en los dominios funcionales, el alcance de la información se vuelve más amplia y más rica, se puede obtener nueva información, y puede surgir nueva inteligencia en los contextos más amplios. Cada dominio funcional se caracteriza por la definición de un modelo de conectividad y un patrón de despliegue computacional.

De las estructuras propuestas en los modelos de referencia, se pueden establecer diferentes puntos de vista para el análisis: Negocio, Uso, Funcional e Implementación, en el caso de IIRA y sus equivalentes en el caso de RAMI 4.0. Ver Figura 3.

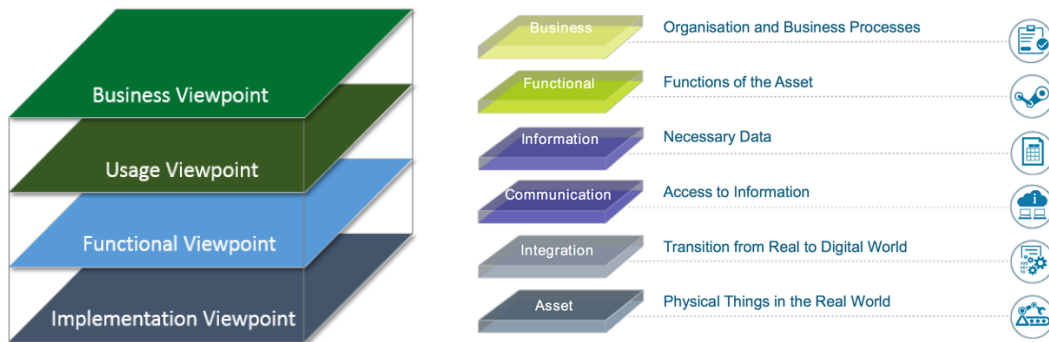


Figura 3: Puntos de vista de análisis propuestos en IIRA y RAMI 4.0.  
(Imágenes obtenidas de "Platform Industrie 4.0" <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html> )

Su implantación encontrará al menos los siguientes desafíos: desarrollo de tecnologías posibilitadoras, seguridad de los datos, normas técnicas, marcos legales, nuevos modelos de negocio.

## Aspectos a desarrollar

En lo que se refiere a los aspectos centrales de investigación en Industria 4.0, tanto la VDMA como la Unión Europea [9] ha elaborado un informe que resume la actividad que se desarrolla en los institutos de investigación alemanes [8]. Sin tener la intención de ser exhaustivos en este documento (ver referencia), los aspectos clave de este informe son:

- Nuevos sistemas ciber-físicos con una gran capacidad de autonomía y adaptabilidad (robots colaborativos, sistemas autónomos, etc.)
- Aumento de la interconexión por red y descripción basada en modelos de los sistemas "cibertrónicos" (evolución de los mecatrónicos)
- Comunicación entre recursos de producción distribuidos. Contenido semántico (auto-descripción de componentes). Agentes software. Sistemas autónomos. Control descentralizado. Sistemas modulares y auto-configurables. Descripción basada en modelos de los elementos y los sistemas.
- Protocolos de comunicación (establecidos, consolidados y nuevos). Integración con OPC-UA
- *Big Data* y *Data Analytics* para el diagnóstico del estado de la planta durante la operación.
- Desarrollo de simuladores, modelos y técnicas de optimización.
- Sistemas de aprendizaje y razonamiento automático basados en técnicas de deducción y predicción de acciones tanto en la producción como en los servicios asociados (*Deep Learning*)
- Ciber-seguridad en infraestructuras críticas. Sistemas seguros para la actualización remota de software. Seguimiento de los mensajes y su

autenticidad en entornos industriales. Protección de los flujos de datos en tiempo real.

- Gestión de los flujos de material mediante la identificación automática mediante RFID. Internet de las cosas.
- Interacción Humano/Máquina. Realidad aumentada. Interfaces móviles. Simulación.

Por otro lado, fabricantes como FESTO, BOSCH y SIEMENS colaboran de forma activa en el sistema formativo alemán desarrollando programas de capacitación a todos los niveles, así como equipamiento docente. De los diferentes estudios realizados [10], se desprende la necesidad de desarrollar un conjunto de tecnologías posibilitadoras:

- Sistemas ciber-físicos
- Internet de las cosas (IoT)
- Dispositivos inteligentes
- Computación en la nube
- Simulación
- Optimización
- Integración OPC-UA
- Comunicaciones en tiempo real
- Integración de energías renovables
- Integración con sistemas de ejecución de la fabricación (MES)
- Integración de la planificación de recursos empresariales (ERP)
- Fabricación y montaje flexible.
- Fabricación aditiva
- Factoría reconfigurable y “tamaño de lote 1”
- Logística inteligente
- Realidad aumentada
- Tratamiento masivo de datos
- *Machine learning*
- Robótica móvil
- Robótica colaborativa
- Sistemas autónomos
- Comunicación por proximidad (NFC)
- Identificación por radio-frecuencia (RFID)

## Propuesta para CEA

El análisis introductorio expuesto en este documento confirma la horizontalidad del concepto de Industria 4.0 en el marco establecido en CEA, por ello se ha decidido:

**Establecer en CEA la “Área de acción estratégica de Industria 4.0”**

Con los siguientes **objetivos**:

- Dar visibilidad desde fuera de CEA a la actividad en I4.0
- Organizar la oferta y aportaciones de CEA en I4.0
- Unión de fuerzas de los GT
- Conseguir mayor efectividad

**Organización** propuesta:

- Comité de Dirección, compuesto por 3-5 personas, algunos de los cuales fueran de los Grupos Temáticos que más aporten a la I4.0.

**Acciones** iniciales:

- Elaboración de un catálogo de aportaciones.
- Establecer acciones de difusión.

La siguiente lista es una serie de ejemplos, ni vinculante ni excluyente, de las actividades que se podrían desarrollar en el marco de una “Área de acción estratégica”:

- Jornadas anuales (Simposio anual)
  - Conferencias sobre el asunto de la Acción estratégica.
  - Selección de estos trabajos para hacer un monográfico de RIAI sobre la presencia de CEA en la Acción estratégica.
  - Instauración de un premio al mejor trabajo sobre la Acción estratégica sufragado por la fundación CEA o una empresa.
  - Llevar a cabo una mesa redonda de Empresas en el ámbito de la Acción estratégica.
- Números especiales en revistas.
- Monografías sobre las temáticas de los grupos.
- Sesiones especiales en Congresos.
- Proyectos de Investigación coordinados.
- Programas de doctorado conjuntos.
- Concursos varios (mejor tesis, mejor trabajo, ...).
- Estancias en grupos de investigación del grupo Temático.
- Participación en Comités Técnicos y Científicos.
- Campaña de visibilidad en redes y medios de comunicación de CEA en el ámbito de la Acción estratégica.
- Preparación de un MOOC desde CEA sobre la Acción estratégica.
- Participación activa en las Jornadas de Automática
  - Que en las Juntas Directivas de preparación de las Jornadas se analice el encaje (antes de las Jornadas) y resultado (después de las Jornadas) de la Acción estratégica.
  - Sumar al formato habitual de trabajos por Grupo Temático, uno transversal, donde puedan concurrir todos los grupos Temáticos, sobre la acción de éstos en el ámbito del Área estratégica.
- Etc.

Se puede contactar con la organización a través del siguiente correo electrónico:

**ceaindustria4.0@gmail.com**

## Contribuciones de los Grupos Temáticos

Desde CEA se anima a la participación en proyecto y elaboración de propuestas en el ámbito europeo. Consultar [12]

Con el objetivo de servir como punto de partida en la organización del “Área de acción estratégica de Industria 4.0” y clarificar el interés y capacidad de aportación de la Grupos Temáticos, se ha realizado una encuesta a través de los coordinadores de G.T cuyo resultado es el siguiente:

Grupo Temático		
Nombre del GT: Computadores y Control		
1ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Soporte para la ejecución de actividades de control con diferentes niveles de criticidad y distribuidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas Hipervisores y virtualización.</li> <li>▪ Sistemas Operativos de Tiempo Real. Planificación de actividades en procesadores multi-núcleo.</li> <li>▪ Plataformas y redes de comunicación específicas (sistemas ciberfísicos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Industrial Aeronáutica y Aeroespacial. Aspectos de validación y certificación en todo tipo de sectores industriales.</li> </ul>
2ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Soporte para el desarrollo de aplicaciones de control confiables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniería basada en modelos</li> <li>▪ Software intermediario (Middleware)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Todos los sectores.</li> </ul>
3ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas altamente reconfigurables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agentes Software Industriales</li> <li>▪ Computación y recursos en la nube</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Todos los sectores.</li> </ul>
4ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis y protección de la información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Procesamiento de datos masivos (Big Data)</li> <li>▪ Ciberseguridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Todos los sectores.</li> </ul>

5ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>Interfaces Humano-Máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metáforas gráficas</li> <li>Realidad mixta y aumentada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todos los sectores.</li> </ul>
6ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>Integración vertical (Business to Process Integration, B2P)</li> <li>Integración horizontal (Machine 2 Machine Integration)</li> <li>Integración extremo a extremo (End 2 End integration). flujo de información en el ciclo de vida del producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interoperabilidad (estándares como OPC UA (IEC 62541) sobre TCP/UDP/IP para comunicación PLC-SCADA, MES, ERP,...protocolos de tiempo real para captura de datos (POWERLINK, EtherCAT, PROFINET,...)</li> <li>Inteligencia distribuida (p.e. Sistema Multi Agente)</li> <li>Protocolos de transferencia de datos entre máquinas (controladores)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>monitorización remota personalizada, captación y procesamiento masivos de datos</li> <li>flexibilidad de la fabricación, fabricación a medida,..</li> <li>fabricación centrada en el producto, trazabilidad en el ciclo de vida,..</li> </ul>
Comentarios adicionales		

Grupo Temático		
Nombre del GT: Visión por Computador		
1ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nombre del concepto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plataformas empotradas y wearables de visión por computador (pequeño tamaño, gran capacidad de cómputo, eficiencia energética) conectadas mediante tecnologías inalámbricas y low-power.</li> </ul>	Control de calidad, seguridad y vigilancia, control de accesos, realidad aumentada, etc. tomando decisiones en base a información visual de forma descentralizada.
Comentarios adicionales		

Grupo Temático		
Nombre del GT: Educación en Automática		
1ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0		
Concepto	Tecnologías	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorios Remotos para formación en Automática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plataformas de acceso vía internet</li> <li>Sistemas ciberfísicos</li> <li>Internet móvil</li> <li>Realidad aumentada</li> <li>Monitorización remota</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industria en general</li> <li>Formación de estudiantes de grado y posgrado</li> <li>Formación para profesionales de la industria</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estándares abiertos de comunicación</li> <li>▪ Adquisición y análisis de datos</li> </ul>	
<b>2ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0</b>		
<i>Concepto</i>	<i>Tecnologías</i>	<i>Aplicaciones</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Laboratorios Virtuales para formación en Automática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simulaciones</li> <li>▪ Simulación 3D</li> <li>▪ <i>Digital twins</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Industria en general</li> <li>▪ Formación de estudiantes de grado y posgrado</li> <li>▪ Formación para profesionales de la industria</li> </ul>
<b>3ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0</b>		
<i>Concepto</i>	<i>Tecnologías</i>	<i>Aplicaciones</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redes de Laboratorios Virtuales y Remotos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trabajos colaborativos/distribuidos</li> <li>▪ Datos en la nube</li> <li>▪ Adquisición y análisis de datos compartidos</li> <li>▪ Metodologías docentes para abordar los nuevos retos de la Industria 4.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Industria en general</li> <li>▪ Formación de estudiantes de grado y posgrado</li> <li>▪ Formación para profesionales de la industria</li> </ul>
<b>4ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0</b>		
<i>Concepto</i>	<i>Tecnologías</i>	<i>Aplicaciones</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prototipos basados en hardware de bajo coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IoT, Internet de las cosas</li> <li>▪ Instrumentación inteligente</li> <li>▪ Estándares abiertos de comunicación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Industria en general</li> <li>▪ Formación de estudiantes de grado y posgrado</li> <li>▪ Formación para profesionales de la industria</li> </ul>
<b>5ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0</b>		
<i>Concepto</i>	<i>Tecnologías</i>	<i>Aplicaciones</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prototipos industriales a escala, robots didácticos, plantas piloto, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas ciberfísicos</li> <li>▪ Instrumentación/medida inteligente</li> <li>▪ Sistemas colaborativos/distribuidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Industria en general</li> <li>▪ Formación de estudiantes de grado y posgrado</li> <li>▪ Formación para profesionales de la industria</li> </ul>
<b>7ª Aportación del Grupo Temático a Industria 4.0</b>		
<i>Concepto</i>	<i>Tecnologías</i>	<i>Aplicaciones</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plataformas de formación en Ciberseguridad de infraestructuras críticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas ciberfísicos</li> <li>▪ IoT, Internet de las cosas</li> <li>▪ Tecnologías para la ciberseguridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infraestructuras Críticas</li> <li>▪ Industria en general</li> <li>▪ Formación de estudiantes de grado y posgrado</li> <li>▪ Formación para profesionales de la industria</li> </ul>
<b>Comentarios adicionales</b>		

## Bibliografía

- [1] Introducción general: [https://es.wikipedia.org/wiki/Industria\\_4.0](https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0)
- [2] Gobierno alemán. <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>
- [3] “Interoperability between IIC Architecture & Industry 4.0 Reference Architecture for Industrial Assets”. <https://www.infosys.com/engineering-services/white-papers/Documents/industrial-internet-consortium-architecture.pdf>
- [4] RAMI4.0 (DIN SPEC 91345:2016-04) status report.  
[https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Themen/Industrie\\_4.0/Das\\_Referenz\\_architekturmodell\\_RAMI\\_4.0\\_und\\_die\\_Industrie\\_4.0-Komponente/pdf/5305\\_Publikation\\_GMA\\_Status\\_Report\\_ZVEI\\_Reference\\_Architecture\\_Model.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenz_architekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/5305_Publikation_GMA_Status_Report_ZVEI_Reference_Architecture_Model.pdf)
- [5] VDMA Guidelines.  
<https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/0/Guideline%20Industrie%204.0.pdf/70abd403-cb04-418a-b20f-76d6d3490c05>
- [6] VDMA Industria 4.0. <https://industrie40.vdma.org/ueber-uns>
- [7] “Industrial internet reference architecture” (IIRA).  
<http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>  
[http://www.iiconsortium.org/IIC\\_PUB\\_G1\\_V1.80\\_2017-01-31.pdf](http://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf)
- [8] Industrie 4.0 Research at German Research Institutes.  
[https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/I40%20Research%20at%20German%20Research%20Institutes%202016\\_2.pdf/22ad818d-bbdc-4b84-87df-afa78c251048](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/I40%20Research%20at%20German%20Research%20Institutes%202016_2.pdf/22ad818d-bbdc-4b84-87df-afa78c251048)
- [9] Industry 4.0: Digitalization for productivity and growth, European Parliament Research Service, document PE 568.337, September 2015.
- [10] Industry 4.0. From vision to reality – Status 2017.  
[https://www.festo.com/net/es\\_es/SupportPortal/Downloads/402352/427575/Industrie4\\_de\\_V14\\_M\\_-\\_Kopie2.pdf](https://www.festo.com/net/es_es/SupportPortal/Downloads/402352/427575/Industrie4_de_V14_M_-_Kopie2.pdf)
- [11] Industria Conectada. Gobierno de España.  
<http://www.industriaconectada40.gob.es>
- [12] <https://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/calls/h2020-dt-2018-2020.html>