

Cloud Computing, Big Data y las Arquitecturas de Referencia para la Industria 4.0

Nancy Velásquez¹, Elsa Estevez^{2,3} y Patricia Pesado^{1,4}

¹ Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina,

² Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina

³ Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación, UNS-CONICET, Argentina

⁴ Instituto de Investigaciones en Informática-LIDI, Facultad de Informática, UNLP, Argentina

nancy.velasquez87@hotmail.com, ece@cs.uns.edu.ar, ppesado@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract

The Industry 4.0 promotes the use of Information and Communication Technologies (ICT) in manufacturing processes to obtain customized products satisfying demanding needs of new consumers. The Industry 4.0 approach transforms the traditional pyramid model of automation to a network model of interconnected services. This new model allows the creation of ecosystems to make the production process more flexible through connecting systems and sharing data. In this context, cloud computing and big data are critical technologies for leveraging the approach. Thus, this paper analyzes cloud computing and big data under the lenses of two leading reference architectures for implementing Industry 4.0: 1) the Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) of the Internet Consortium (IIC), and 2) the Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0). A main contribution of this paper is discussing needs, benefits, and challenges of applying cloud computing and big data in the Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0; Industrial Internet Reference Architecture (IIRA); Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0); Cloud Computing; Big Data.

1. Introducción

La Industria 4.0 (I4.0) es un término acuñado en Alemania, denominado *Cuarta Revolución Industrial* - la primera revolución la marcó el uso de la máquina de vapor, la segunda la energía eléctrica y la tercera la electrónica. Cada una generó cambios en la forma de producción así como en la sociedad. La cuarta revolución se caracteriza por la convergencia del mundo real con el mundo digital y la unión de la Tecnología de Operaciones (OT, Operation Technology) con la Tecnología de Información (TI).

Considerando la importancia que representa para las industrias adoptar nuevos métodos de producción mediante la utilización de los beneficios de la

Tecnología de la Información y Comunicaciones (TIC) e incidir en la economía, existen actualmente arquitecturas de referencia que facilitan su adopción y continua evolución [1]. Por ejemplo, en Alemania, se publica el *Reference Architecture Management Industrial 4.0* (RAMI 4.0) por medio del proyecto denominado *Platform Industrie 4.0* cuyo objetivo es el desarrollo e implementación de la Industria 4.0 como estrategia del Gobierno Federal alemán; iniciativa a la cual se suman Italia, Francia, y España, entre otros países. Debido al impulso gubernamental, actualmente RAMI 4.0 se convirtió en la norma alemana DIN SPEC 91345[2]. En Estados Unidos, empresas como General Electric, AT&T, Cisco, IBM e Intel fundan el *Industrial Internet Consortium* (IIC) con el objetivo de impulsar la implementación del Internet Industrial para la interconexión de máquinas y dispositivos mediante la arquitectura de referencia denominada *Industrial Internet Reference Architecture* (IIRA) [3]. El objetivo principal de RAMI 4.0 e IIRA es digitalizar los procesos de fabricación para dotarlos de “inteligencia” mediante el empleo de la tecnología, posibilitando el cambio en el modelo de producción actual [4].

En este artículo inicialmente se presenta un breve resumen de los fundamentos de la Industria 4.0 y de computación en la nube (cloud computing) y grandes volúmenes de datos (big data) como sus habilitadores tecnológicos (Sección 2). A continuación, se explican las arquitecturas de referencia: *RAMI 4.0* de Alemania, e *IIRA* de Estados Unidos (Sección 3), y se realiza una comparación de las capas relacionadas con el almacenamiento de datos en estos dos modelos (Sección 4). Finalmente, se discuten retos, oportunidades, trabajos futuros e investigaciones asociados a esta temática (Sección 5).

2. Fundamentos

La Industria 4.0 transforma el proceso de producción tradicional de forma piramidal basado en la Norma ISA 99/IEC 62443 hacia un modelo de trabajo en red, totalmente interconectado por medio del Internet de

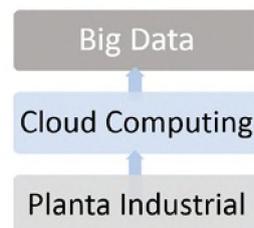
las Cosas (IoT) [5], facilita la flexibilidad de la producción de acuerdo con la demanda, la optimización de recursos, la reducción de costos y el establecimiento de comunicación efectiva entre los clientes, la industria y los proveedores [6]. Incorpora los beneficios de las TI por medio de los denominados habilitadores tecnológicos como: la simulación, inteligencia artificial, robótica colaborativa, realidad virtual y aumentada, ciberseguridad, integración vertical y horizontal, impresión 3D, cloud computing y big data, posibilitando nuevos procesos, nuevos productos y nuevos modelos de negocio

Adicionalmente, el desarrollo tecnológico actual permite disponer de componentes electrónicos cada vez más pequeños, con mayor capacidad y a menor costo y facilita la incorporación de sensores en los productos y en las máquinas. Esta característica incide en el proceso de producción, el producto y el modelo de negocio. En particular, la incorporación de dichas tecnologías al proceso de desarrollo de productos dota de inteligencia al proceso y obtiene información de las diferentes fases, como: el diseño (desde la idea original), la fabricación (ciclo de vida), la logística, distribución, entrega y post venta. Asimismo, permite incluir en el diseño las especificaciones del producto solicitadas por el cliente y obtener un producto personalizado, realizar el diseño de forma colaborativa sin importar la ubicación física de los integrantes, realizar simulaciones antes de pasar a producción, planificar la producción de manera flexible, con tiempos de respuesta según los productos a fabricar, y permitir la producción colaborativa en diferentes ubicaciones geográficas [7]. Del mismo modo, la Industria 4.0 promueve realizar la trazabilidad completa del ciclo de vida del producto, integrar horizontal y verticalmente las aplicaciones, disponer de información en tiempo real para la toma de decisiones oportunas, incluir información para toma de decisiones autónomas sin participación humana, contar con información transparente durante todo el proceso de producción, detectar errores en la fabricación y regresar inmediatamente para corregirlos, detectar posibles fallas y actuar preventivamente. Por último, el enfoque también permite planificar el mantenimiento preventivo, monitorear el proceso de manera remota para evitar cortes en la producción por fallas de los equipos, planificar la fabricación en diferentes puntos sin importar la ubicación geográfica, facilitar la comunicación con diferentes proveedores durante todo el proceso, reducir los stocks y los plazos de entrega, obtener información del uso y vida del producto y disponer de información para generar nuevos modelos de negocio.

La “hiper-conectividad” de los diversos sistemas involucrados en el proceso de producción, en la cual se basa la Industria 4.0, multiplica los datos que se generan en tiempo real de diferentes fuentes y

variados formatos que deben ser almacenados y analizados con tecnologías y algoritmos avanzados. Por este motivo, es que se utiliza la computación en la nube (cloud computing) y las técnicas asociadas a los grandes volúmenes de datos (big data). Ambos se consideran requisitos fundamentales para la Industria 4.0, proporcionando componentes relevantes y necesarias para la implementación del enfoque [8]. La relación existente entre estos dos habilitadores y la planta industrial se presenta en la Figura 1.

Figura 1 Relación Cloud Computing y Big Data



2.1. Cloud Computing

Cloud Computing permite almacenar grandes cantidades de datos. Dicha capacidad es principalmente importante para almacenar los datos generados durante todo un proceso de producción, considerando que las máquinas y los sensores producen mayor cantidad de datos que una persona y están siempre conectados. Asimismo, cloud computing permite disminuir la inversión en recursos tecnológicos permitiendo contratar bajo demanda el espacio de almacenamiento y la capacidad de procesamiento, lo que brinda flexibilidad, agilidad y adaptabilidad [9]. Mediante una estructura escalable posibilita el consumo de recursos a solicitud. Esto permite reducir costos, ya que evita adquirir, servidores, licencias, y personal especializado para el mantenimiento. Asimismo, permite el ahorro de energía; brinda facilidad de acceso al almacenamiento desde diversos puntos geográficos, diferentes horarios, independientemente de la plataforma y dispositivo de conexión. Todo esto, facilita la creación de ecosistemas de fabricación, fomenta la colaboración entre clientes y proveedores. En particular, el cliente puede participar en todas las etapas del proceso de producción y por consiguiente se mejora su satisfacción.

Debido a los grandes volúmenes de datos procesados en la nube, existe tiempo de latencia que puede afectar el desempeño de la producción, para esto se puede utilizar el “*Fog Computing*” (computación en “la niebla”). Fog computing se refiere a la capacidad de procesamiento para análisis de datos y funciones de control en base a grandes volúmenes de datos recibidos por dispositivos de Internet de las Cosas

(IoT). Los nodos que realizan este procesamiento están ubicados generalmente en la misma red local que los dispositivos de IoT. Habitualmente, consta de capacidad de almacenamiento y computación. Por estos motivos, el fog computing, comparado con el cloud computing, disminuye la inestabilidad, evita la congestión y mejora la calidad de servicio [10]. Adicionalmente, para reforzar la seguridad y privacidad de los datos existe la posibilidad de implementar nubes privadas [11] para uso exclusivo de industrias que necesitan extrema confidencialidad.

El Comité ISO/IEC JTC 1/SC 38 (IEC 19944) es el responsable de la estandarización de cloud computing [12], y provee modelos y estándares para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) [13].

2.2. Big Data

Técnicas de big data permiten analizar el enorme volumen de información generado en un ecosistema de producción de la Industria 4.0 utilizando análisis avanzado, histórico, predictivo [14] y descriptivo del estado y funcionamiento de las máquinas involucradas en los procesos de producción. El análisis de datos para mantenimiento predictivo permite reducir ineficiencias y costos, anticipando fallas en equipos y permitiendo dar mejores respuestas a situaciones emergentes y remotas causadas por diferentes factores como mal clima, alta humedad, temperatura elevada, exposición a gases, etc. Como otro ejemplo, el análisis predictivo también permite realizar el control de rutas determinando donde se generan disturbios o existe un mal estado de las vías. Asimismo, permite determinar patrones y correlacionar datos para la mejora de los procesos industriales, tomar decisiones en tiempo real para la eficiencia operativa, definir nuevos modelos de negocio basado en el comportamiento del cliente, el diseño de nuevos servicios asociados a los productos existentes [14] y el aprendizaje automático. En resumen, las técnicas de big data permiten generar valor a la cadena de producción a partir del uso inteligente de los datos [15].

El uso de big data no depende del tamaño de la industria, depende de la estrategia empresarial que se enfoca en obtener provecho de los datos para mejorar el proceso de fabricación y determinar los productos que el mercado demanda para satisfacer al cliente. Esto permite cambiar la forma actual en la cual la empresa investiga, analiza y decide el producto a sacar al mercado, incrementando las posibilidades que el producto sea vendido con éxito. Asimismo, otra área importante de aplicación de big data es el campo de la seguridad, para análisis y correlación de

datos para detectar fraudes, y realizar análisis de comportamiento de clientes, entre otros.

Dada la relevancia de big data para la Industria 4.0, el Comité ISO/IEC JTC 1/WG 9 está elaborando la norma para su aplicación en este contexto [12].

3. Arquitecturas de Referencia de la Industria 4.0

A nivel mundial existen esfuerzos para implementar la Industria 4.0. Para apoyar estos esfuerzos, existen dos arquitecturas de referencia importantes - la *Reference Architecture Model for Industry 4.0* (RAMI 4.0), y la *Industrial Internet Reference Architecture* (IIRA). En la mayoría de países europeos han tomado a RAMI 4.0 como la base para sus programas de desarrollo de la producción y la economía. IIRA tiene amplio despliegue por su origen, Estados Unidos, y su permanencia en el mercado. Adicionalmente, China también dispone de un modelo para su programa *Made in China 2015*. En base a su nivel de incidencia y relevancia, en las siguientes dos secciones se analizan RAMI 4.0 e IIRA como los principales modelos de arquitectura de referencia para la Industria 4.0.

3.1. IIRA

El IIRA es un modelo de arquitectura abierta, basado en la norma internacional ISO/IEC/IEEE 42010:2011 y en estándares para sistemas IoT. Está orientado hacia múltiples industrias, como son la salud, transporte, energía, sector público y la manufactura, procurando la interoperabilidad de sistemas y procesos [16]. El centro de esta arquitectura son las cuatro capas denominadas *puntos de vista*: 1) *Punto de Vista del Negocio*, donde se genera información de los interesados (stakeholders); 2) *Punto de Vista de Uso*, donde se describe los requerimientos de uso; 3) *Punto de Vista Funcional*, para los requerimientos funcionales del producto; y 4) *Punto de Vista de Implementación* para las consideraciones de los componentes funcionales y técnicos para la implementación.

El Punto de Vista Funcional, contiene cinco dominios: Control, Operación, Información, Aplicación y Negocio (ver Figura 2). Estos dominios establecen el flujo de datos y el control entre ellos. A saber, en el de Control se obtienen los datos de los sensores y de los elementos físicos del mundo real para realizar el control inmediato de los mismos; en el de Operación, se procesa la información de los sistemas de control industrial; en el de Información se recopilan los datos de otros dominios para el análisis de todo el sistema; en el de Aplicación se trata la información de alto nivel para la optimización global,

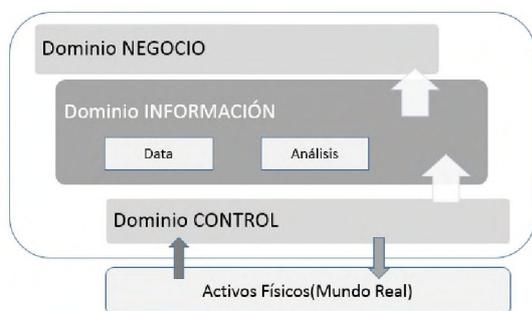
y el de Negocio se ocupa de la información para la integración con sistemas existentes y nuevos.

Figura 2 Puntos de Vista de IIRA



El Dominio de Información recopila los datos de los otros dominios, en especial del dominio de control, con el objetivo de analizarlos para dotar al sistema de inteligencia, que se revierta en información para la toma de decisiones, incluso en tiempo real, optimización de las operaciones y mejoramiento del sistema. Los datos aquí procesados alimentan al Dominio del Negocio (ver Figura 3).

Figura 3. Dominio de Información - Flujo de Datos



El volumen de datos de los procesos industriales digitalizados demanda una extraordinaria capacidad de cómputo, facilidades de acceso desde cualquier lugar y diferentes tipos de dispositivos, alta disponibilidad y flexibilidad, razón por la cual cloud computing está considerado como un habilitador de la Industria 4.0. De acuerdo con la demanda de recursos de cómputo y almacenamiento, las industrias pueden elegir entre el servicio de Infraestructura como Servicio (IaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) o Software como Servicio (SaaS). La adopción del cloud computing en entornos de fabricación se extiende debido a la facilidad de configurar redes públicas, privadas o híbridas para

proteger la confidencialidad de la información, según amerite.

Los dispositivos físicos, como los sensores, cada vez están dotados de mayores recursos de cómputo, lo que determina que varíe la capacidad de procesamiento que requiere el Dominio de Control, situación que no afecta a los datos y al análisis que se debe realizar en el Dominio de Información. Asimismo, como una medida de contingencia, el Dominio de Información debe estar en el exterior de la empresa, situación que cloud computing también facilita.

Por último, el crecimiento del volumen de datos de los sistemas de Industrial Internet of Things (IIoT) es constante, así como su complejidad. Por eso, requiere el uso de enfoques analíticos avanzados de big data para correlacionar la información del ciclo de vida del producto, que incluye la postventa [16]. La conectividad en IIRA se realiza mediante el Connectivity Core Standard [17].

3.2. RAMI 4.0

La arquitectura RAMI 4.0 combina aspectos relacionados al proceso de fabricación, al producto y a las TI mediante una estructura tridimensional jerárquica orientada al servicio.

En esta arquitectura, el eje uno representa la jerarquía de la fabricación y se basa en la norma IEC 62264 /IEC 61512. En este eje se inicia el proceso de producción de los productos inteligentes, e incluye la fábrica inteligente (campo de dispositivo, control de dispositivo, estación, centros de trabajo, empresa) y el mundo conectado.

El eje dos corresponde al producto, y está basado en la norma internacional IEC 62890. Este eje está relacionado con el ciclo de vida del producto, comprendiendo el desarrollo, las ventas, el soporte después de la venta y la obsolescencia. En RAMI 4.0 se representa el ciclo de vida del producto mediante el tipo y la instancia [18]. El tipo comprende el desarrollo (plan de construcción, incluido el desarrollo, construcción, prototipo, pruebas, etc.) y el mantenimiento para el uso (actualización, mantenimiento, etc.). La instancia abarca a la producción (producto) y su mantenimiento (gestión de instalación, incluido el servicio, mantenimiento, reciclaje, etc.).

El eje tres denominado de la Arquitectura y relacionado con la Tecnología de la Información comprende seis niveles denominados: Activos, Integración, Comunicación, Información, Funcional y de Negocio. El nivel de Activos contiene información digital de los elementos físicos del mundo real. El nivel de Integración es el nexo entre el mundo real y el digital. Los siguientes cuatro niveles corresponden al mundo digital [19]. El nivel

de Comunicación comprende el acceso a la información y las funciones de un activo conectado con otros, usa un formato específico con información sobre los datos que se usan, donde se usan y como se distribuyen. El nivel de Información comprende los datos relacionados con la funcionalidad del activo y del lote en tiempo real. Esta información puede impactar en el siguiente nivel. El nivel Funcional describe las funciones lógicas y técnicas de un activo y de la plataforma para la integración con otros activos. Por último, el nivel de Negocio contiene información de la organización, procesos comerciales, la visión del negocio y aspectos legales [20] (ver Figura 4).

Figura 4. RAMI 4.0 – Eje de la Arquitectura. Niveles de TI



La arquitectura de referencia RAMI 4.0 es una red de componentes interconectados todos entre todos mediante el “*Administration Shell*” que contiene los datos de la representación virtual de un objeto del mundo real con sus características y funcionalidades propias [21].

En la arquitectura RAMI 4.0 existe un intercambio constante de datos que generan grandes volúmenes de información que, preferentemente, deben ser almacenados en la nube y analizados por técnicas de big data [22]. La comunicación se establece por medio estándar *OPC Unified Architecture* (OPC-UA) – un estándar para intercambio de información para comunicación industrial [23].

4. Comparación entre IIRA y RAMI 4.0

En el 2015, representantes de Plattform I4.0 y el IIC unieron esfuerzos para identificar aspectos en común de las dos arquitecturas de referencia IIRA y RAMI 4.0 concluyendo que presentan más similitudes que diferencias y pueden ser complementarias. RAMI 4.0 se enfoca en fabricar inteligentemente mientras que IIRA en construir, desplegar y operar grandes sistemas conectados. A modo de ejemplo, partes y

piezas fabricadas de acuerdo con RAMI 4.0, son elementos de los sistemas operados por IIRA. Esta característica sirve para resaltar la importancia de cloud computing y big data en la Industria 4.0, independiente del modelo.

Las dos arquitecturas son similares porque se centran en la interoperabilidad, consideran como punto de partida los activos y los niveles del eje de arquitectura de RAMI 4.0 son compatibles con los dominios funcionales de IIRA como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Comparación IIRA y RAMI 4.0

IIRA	RAMI 4.0
Dominios Funcionales	Niveles de Arquitectura
Sistemas físicos	Nivel de Activos
Dominio de Control	Nivel de Integración Nivel Funcional Nivel de Comunicación
Dominio de Información. Recopila los datos de los otros dominios en especial del Dominio de Control, para su análisis. Transforma y analiza los datos	Nivel de Información. Contiene los datos de la funcionalidad del activo en tiempo real y en lote. La información de tiempo real impacta al siguiente nivel, pero es en este nivel donde se la almacena y analiza, siendo necesario el uso del cloud computing y big data.
El volumen de datos es creciente y requiere de cloud computing y big data.	
Dominio de Operación y Aplicación	Nivel Funcional
Dominio del Negocio	Nivel de Negocio

Los sistemas físicos y el nivel de activos comprenden los componentes físicos del mundo real, los documentos, el software y personas. El dominio de control obtiene los datos de los activos para controlarlos inmediatamente y de manera similar en el nivel de integración se relaciona la información del activo real con la información digital. El Dominio de Información en IIRA y el Nivel de Información en RAMI 4.0 tienen funcionalidad similar, concentran los datos y la funcionalidad técnica de los activos, como pueden ser sensores, máquinas, herramientas, aplicaciones, etc., se encargan de analizar los datos para proporcionar inteligencia al sistema [4]. El flujo de datos de estos niveles con sus adyacentes se caracterizan por la variedad, la integridad y la integración, siendo relevante el uso del cloud computing y big data [24]. Cabe desatacar que en el reporte técnico del Industrial Internet Consortium publicado en diciembre de 2017 [4] consta que “la comunicación de nube a nube y de empresa a nube está aún en discusión dentro de la comunidad de la Industria 4.0”.

En este contexto, empresas alemanas como Bosch, Siemens y Deutsche Telekom han emprendido en

proyectos para implementar la Industria 4.0 y también ofrecen portafolios de soluciones de Industria 4.0. Volkswagen, Bayer, Mercedes Benz, BMW tienen en marcha proyectos de Industria 4.0; IBM, SAP, Microsoft, Deutsche Telecom, Oracle, Software AG y otras ofrecen plataformas de integración en la nube como servicio; Bosch SI, IBM, SAP, Microsoft, Deutsche Telekom, Cisco, entre otras ofrecen soluciones de software, soluciones big data y de big data industrial para recopilación y tratamiento de datos masivos de activos industriales [25]. Por su parte, Adidas está implementando este enfoque en su planta de México [26]. Cabe destacar que Bosch presentó en el 2016, en la conferencia “Bosh ConnectedWorld IoT, en Berlín un proyecto para su planta de Homburg en Alemania, para gestionar y optimizar la producción de una válvula hidráulica que permita reducir el consumo eléctrico utilizando las dos arquitecturas de referencia: RAMI 4.0 e IIRA [27].

5. Conclusiones

La Industria 4.0 digitaliza la producción mediante la representación del mundo real y la interconectividad de sus actores. En este proceso, se generan datos en tiempo real de diferentes fuentes y de diversos tipos, que generan grandes volúmenes de datos. Estos datos deben ser almacenados y analizados a fin de crear valor para la industria para satisfacer a un mercado globalizado y competitivo que demanda productos personalizados.

El campo de investigación sobre las TI que habilitan la Industria 4.0 es muy amplio y cambiante. Asimismo, depende del surgimiento de tecnologías disruptivas que se relacionen con la fabricación. Sin embargo, dos pilares tecnológicos clave para la Industria 4.0 son: 1) cloud computing – para facilitar el almacenamiento de los datos de producción de forma tal que se soporte y permita la interconectividad de los procesos de producción con proveedores y clientes; y 2) big data – da soporte al análisis avanzado de la información recolectada que crece en tamaño y complejidad. El uso de estas tecnologías es independientemente del tamaño de la industria y está de acuerdo con la estrategia empresarial de innovación y enfoque en el cliente.

El uso de cloud computing y big data para la Industria 4.0 abre un abanico de oportunidades para futuros trabajos de investigación. Los mismos se discuten a continuación.

El desarrollo de big data y su relación con temas de seguridad de la información y de ciberseguridad es aún muy incipiente y presenta grandes desafíos. Un

tema sumamente relevante para investigaciones futuras es la seguridad de la información administrada por los procesos de la Industria 4.0, como así también cuestiones relacionadas a la propiedad de la información, el control de acceso, la identidad digital, criptografía, y cifrado, entre otras. De manera similar, el alto grado de interconexión de la Industria 4.0 requiere de estándares para facilitar su implementación. Por esto, se debe profundizar el estudio de los estándares existentes actualmente sobre cloud computing y big data, para identificar cuáles deben ser adaptados y cuales se deben definir para hablar el mismo idioma. El comité ISO/IEC JTC 1/SC 38 Cloud Computing and Distributed Platforms está elaborando estándares para usar el cloud computing para el almacenamiento de datos y la comunicación entre máquinas y humanos. El comité ISO/IEC JTC 1/WG 9 Big Data está trabajando en la elaboración de una norma para definir la arquitectura que permita realizar el uso eficiente del Big Data, evaluar la recopilación de datos no estructurados para optimizar los procesos de producción y logística. Aspectos como sistemas de gestión de continuidad del negocio, ciberseguridad de los sistemas de control y automatización industrial, evaluación del riesgo de seguridad y diseño del sistema, requisitos de desarrollo del producto, robótica, también deben ser estandarizados [28]. Asimismo, actualmente está en discusión la comunicación de cloud a cloud, y de empresa a cloud, ofreciendo oportunidades para investigaciones futuras. Por último, es necesario contar con profesionales calificados en estas técnicas. Por eso, el desarrollo de programas de formación de recursos humanos especialistas en temas de cloud computing y big data para la Industria 4.0 es crítico.

Referencias

- [1] A. T. Kearney, “Readiness for the Future of Production : Country Profiles,” 2017.
- [2] Plattform Industrie 4.0, “Digitization of Industrie – Plattform Industrie 4.0,” no. April, pp. 6–9, 2016.
- [3] S. Schrecker *et al.*, “Industrial Internet of Things Volume G4 : Security Framework,” *Ind. Internet Consort.*, pp. 1–173, 2016.
- [4] A. Industrial, I. Consortium, and Plattform Industrie 4.0, “Architecture Alignment and Interoperability,” 2017.
- [5] Plattform Industrie 4.0, “Digitization of Industrie – Plattform Industrie 4.0,” *Plattf. Ind. 4.0*, no. April, p. 28, 2016.
- [6] I. M. S. Board and F. I. for M. E. and A.

- IPA, "Factory of the future," 2015.
- [7] R. G. White and P. Ramachandran, "in a Global Context," pp. 257–283, 2013.
- [8] Fundación Telefónica, "La transformación digital de la industria española. Informe preliminar.," *Ind. Conectada 4.0*, p. 120, 2015.
- [9] L. Thames and D. Schaefer, "Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0," *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 12–17, 2016.
- [10] A. Gilchrist, *Industry 4.0 The Industrial Internet of Things*, 2016th ed. Bangken, Nonthaburi, Thailand, 2016.
- [11] D. Protection, "Data Protection & Industrie 4.0."
- [12] G. Lars Adolph, Bundesanstalt, "DIN / DKE – Roadmap G E R M A N S T A N D A R D I Z A T I O N."
- [13] P. G. Morales, J. A. A. España, J. E. G. Zárate, C. C. O. González, and T. E. R. Frías, "La Nube Al Servicio De Las Pymes En Dirección a La Industria 4.0," *Pist. Educ.*, vol. 39, no. 126, pp. 85–98, 2017.
- [14] J. Lee, B. Bagheri, and H.-A. Kao, "Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics," *Int. Conf. Ind. Informatics*, no. November 2015, pp. 1–6, 2014.
- [15] M. C. Vega, P. O. Vivas, C. M. Ríos, C. G. Luis, B. C. Martín, and A. H. Seco, "las tecnologías IoT," Madrid, 2015.
- [16] S.-W. (Thingswise/Intel) Lin *et al.*, "Reference Architecture," *Ind. Internet Consort.*, vol. 1.80, no. November, pp. 1–7, 2017.
- [17] A. Industrial, I. Consortium, R. Neubert, and H. Munz, "Architecture Alignment and Interoperability."
- [18] P. Adolphs, "Rami 4.0," 2015, no. June.
- [19] Dr. Kartsen Schweichhart, "Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0): An Introduction," in *Publikationen der Plattform Industrie 4.0*, 2016, vol. 0, no. April.
- [20] M. Nardello, C. Möller, and J. Götze, "Organizational Learning Supported by Reference Architecture Models : Industry 4 . 0 Laboratory Study," no. 12, pp. 22–38, 2017.
- [21] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), "Structure of the Administration Shell," p. 52, 2015.
- [22] S. Yin and O. Kaynak, "Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 2, pp. 143–146, 2015.
- [23] O. P. C. Ua, "Industrie 4.0 Communication Guideline."
- [24] M. Hankel and B. Rexroth, "The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)," *ZWEI Die Elektroind.*, vol. 1, no. April, pp. 1–2, 2015.
- [25] D. Migu and O. Econ, "La industria 4.0 en Alemania," 2017.
- [26] G. Figueroa, "Adidas se suma a la industria 4.0 de la mano de Siemens," Mexico, pp. 4–5, 28-Apr-2017.
- [27] infopl, "Bosch y un proyecto con RAMI 4.0 e IIRA," 2016. [Online]. Available: <http://www.infopl.net/noticias/item/103262-bosch-connectedworld-iot>.
- [28] UNE, "Estandarización," 2017.