



### ***Gestión de comunicación para industrias 4.0***

(Communication management for industries 4.0)

Reyes S, Luis M

[Rysluis25@gmail.com](mailto:Rysluis25@gmail.com)

Asesores de Servicios Tecnológicos C.A

Ordóñez S, Bárbara A.

[baordonez@urbe.edu.ve](mailto:baordonez@urbe.edu.ve)

Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín

### **RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo proponer el uso de una red de comunicaciones heterogénea que integre diferentes tecnologías de comunicaciones, con el objetivo de explotar las distintas capacidades de gestión tecnológica que ofrecen las comunicaciones ante los requisitos impuestos por la Industria 4.0 de una manera fiable y eficiente. El diseño de esta investigación es descriptiva investigación ya que se plantea el estudio del funcionamiento de una industria 4.0 y a partir de allí se determinan las variables necesarias para lograr su arquitectura de gestión, del tipo desarrollo tecnológico y proyectiva ya que plantea una propuesta de arquitectura para la gestión de comunicación de una fábrica considerando la cadena de suministro realizada a partir de un prototipo ya establecido para resolver problemas de integración de tecnologías e información para el desarrollo de aplicaciones en la industria, según las teorías propuestas por Salinas (2012) y Cortés e Iglesias (2004), a su vez, los sustentos teóricos fundamentados en autores como Kagermann, Helbig, Hellinger y Wahlster (2013), Blanchet Rinn, Thaden y Thieulloy (2014), Lu, L. (2016), entre otros. Los resultados evidencian un enfoque jerárquico dentro de las arquitecturas de gestión en la cual una entidad central garantiza la coordinación de las decisiones tomadas por gestores locales y distribuidos; por tanto la gestión de comunicación de la estructura puede basarse en el uso de RAN Slicing (Radio Access Network) y Cloud RAN como tecnologías habilitadoras que permitirán alcanzar los niveles de flexibilidad, escalabilidad y adaptación requerida.

**Palabras claves:** Gestión, Industrias 4.0, Tecnologías.

### **ABSTRACT**

The present research aims to propose the use of a heterogeneous communications network that integrates different communications technologies, with the aim of exploiting the different technological management capabilities offered by communications in the face of the requirements imposed by Industry 4.0 in a reliable



and efficient. The design of this research is descriptive research since it proposes the study of the operation of an industry 4.0 and from there the variables necessary to achieve its management architecture are determined, of the technological and projective development type since it raises an architecture proposal for the communication management of a factory considering the supply chain made from an already established prototype to solve problems of integration of technologies and information for the development of applications in the industry, according to the theories proposed by Salinas (2012), Cortés and Iglesias (2004) and Salinas (2012), in turn, the theoretical underpinnings based on authors such as Kagermann (2013), Blanchet, 2014, C. Lu, L. (2016, among others. The results show a hierarchical approach within the architectures of management in which a central entity guarantees the coordination of decisions made by local and distributed managers; both the communication management of the structure can be based on the use of RAN Slicing (Radio Access Network) and Cloud RAN as enabling technologies that will allow to achieve the required levels of flexibility, scalability and adaptation.

**Keywords:** Management, Industry 4.0, Technologies.

### Introducción

La conceptualización que existe sobre industria 4.0 es reciente, sin embargo, ha sido definida como una maquinaria física y dispositivos con sensores y software que trabajan en red los cuales permiten predecir, controlar y planear mejor los negocios y por ende los resultados organizacionales. También se conoce, como un término asociado con las tecnologías y los conceptos de la cadena de valor de la organización (Kagermann, Helbig, Hellinger y Wahlster, 2013), el cual describe una producción orientada a los sistemas ciberfísicos (CPS); sistemas con capacidades físicas y de cómputo que pueden interactuar con humanos, que integran las instalaciones de producción, los sistemas de almacenamiento y logística, así como el establecimiento de redes de trabajo para la creación de valor (Riedl, Zipper, Meier y Diedrich, 2014).

Esta conceptualización, representa un enfoque a la innovación de productos y procesos, a través de fábricas inteligentes, totalmente integradas en redes de trabajo (a lo largo de la cadena de valor) que propician nuevas formas de colaboración e infraestructuras sociales. Aun cuando est  en proceso de desarrollo, sus bondades permiten anticipar grandes cambios, ya que se le asocia con la digitalización de los sistemas de información y producción para las actividades de gestión; los sistemas de automatización para la adquisición de datos de las máquinas y líneas de producción; con el intercambio de información para el monitoreo y control de los procesos y la toma de decisiones en tiempo real (Almada, 2016), por mencionar algunos.

En este mismo orden de ideas, la manufactura inteligente es considerada como la habilidad de representar digitalmente cada aspecto de la manufactura, desde el diseño hasta el proceso de fabricación haciendo uso de herramientas de software como el de diseño y manufactura asistida por computadora (CAD/CAM), los



sistemas para la gestión del ciclo de vida de los productos (PLM) y el uso de software de análisis, simulación y gestión, etc. (Dalton, 2005).

Este tipo de manufactura enfatiza el empleo de métodos digitales para la planeación y validación de todas las etapas de fabricación, desde el desarrollo del producto hasta la planeación de la producción y las instalaciones (Christopher y Holweg, 2011); para lo cual, se apoya en un conjunto de tecnologías que no sólo facilitan la validación previa de los productos y procesos de manufactura, sino que además permiten reducir los tiempos de desarrollo de nuevos productos, los costos de fabricación y los lotes de manufactura (Ruffo y Hague, 2007).

Desde esta óptica, los cambios que se están dando en la manufactura son producto de las tecnologías que se están desarrollando para: 1) La digitalización de la producción, 2) La automatización, 3) La integración de capacidades (a través de sistemas ciberfísicos) 4) Y para la manufactura como la impresión 3D, la ingeniería inversa, el maquinado inteligente, etc. (Schlechtendahl, Keinert, Kretschmer, Lechler y Verl, 2015). Por lo que, en este contexto, la industria 4.0 es un nuevo nivel de organización de la cadena de valor y gestión (Plattform Industrie 4.0. 2014), que es probable cambie la forma en que operan los procesos, la cadena de suministro y los modelos de negocio (Blanchet, Rinn, Thaden y Thieulloy, 2014), razón por la cual, muchas empresas están evaluando los conceptos y aplicaciones sintetizadas bajo el término Industria 4.0 para desarrollar sus propias estrategias de negocio (Sommer, 2015), que bajo esta nueva disrupción industrial, está cimentada en algunos principios básicos como la interoperabilidad, virtualización, descentralización, capacidades en tiempo real, orientación al servicio, entre otro., (Schlick, Stephan, Loskill y Lappe, 2014), y donde existen, por ejemplo, fábricas inteligentes capaces de crear copias virtuales del mundo físico, monitorear los procesos físicos, auto-gestionarse, optimizarse y tomar decisiones de forma autónoma en tiempo real.

En este orden de ideas, es importante destacar que en este nuevo entorno coexistirán un amplio conjunto de aplicaciones y servicios con requisitos de comunicación diferentes; por tanto, las redes de comunicaciones deben construirse sobre una arquitectura flexible que satisfaga los requisitos de las aplicaciones industriales y en especial que cubra los estrictos requisitos de tiempo de las aplicaciones de automatización; todo este aparataje como tal se conocerá como la gestión de comunicación de la industria; y englobará el monitoreo y variable de todo y cada uno de los procesos relacionados en ella.

Tradicionalmente, las redes de comunicación en sistemas industriales han estado basadas en tecnologías cableadas como HART, PROFIBUS, Foundation Fieldbus H1 (Gerrero, Yuste y Martínez, 2010), entre otras, o en tecnologías basadas en Ethernet. Mientras las tecnologías cableadas proporcionan comunicaciones con muy alta fiabilidad, estas fallan en proporcionar flexibilidad y adaptabilidad, requisitos indispensables para la Industria 4.0. Este es el caso de la introducción de tecnologías inalámbricas (González, 2012), que pueden proporcionar conectividad a objetos móviles (robots, maquinaria o trabajadores), y que a su vez ofrecen flexibilidad al suprimir el despliegue de cables.

WirelessHART, ISA100.11a e IEEE802.15.4e son algunas de las tecnologías de comunicación inalámbricas desarrolladas para dar soporte a aplicaciones de control



y automatización industrial (Salas, 2014), las cuales operan sobre bandas de frecuencia sin licencia y est n basadas en un sistema de gestión centralizado. Aunque la gestión centralizada proporciona comunicaciones con altos niveles de fiabilidad, también conlleva un elevado intercambio de se nalizaci n y elevados tiempos de reconfiguración que limitan las capacidades de escalabilidad y reconfiguración de estas redes (Lucas-Estaún, M., Sepulcre, M. y Gozalvez, J. 2018).

Para mejorar la flexibilidad y escalabilidad de las redes industriales inalámbricas, se ha presentado trabajos como los mostrados por Lu, L. (2016), donde se proponen arquitecturas jerárquicas en las que la red es dividida en múltiples subredes. Cada subred tiene su propio controlador local y una entidad global gestiona la red completa y coordina las decisiones de los gestores de cada subred. Los autores proponen además el uso de tecnologías heterogéneas en distintas subredes. Mientras la arquitectura propuesta está principalmente diseñada para garantizar los requisitos de comunicaciones inalámbricas con estrictos requisitos de tiempo, este trabajo se centra en el diseño de una arquitectura de gestión de las comunicaciones flexible, que sea capaz de satisfacer los variados y exigentes requisitos de comunicación de las aplicaciones y servicios que coexistirán en las fábricas del futuro.

### Metodología

Según Salinas, P. (2012), la investigación descriptiva es aquella que se refiere a la descripción de algún objeto, sujeto, fenómeno, entre otros; en total o en parte del mismo. Sin embargo, se acepta como perfectamente válida y original, la descripción de alguna variación o modificación de algo ya descrito, por ejemplo, en un aparato o técnica o proceso, se pueden modificar sus componentes y así obtener resultados diferentes y mejores a los anteriormente descritos. De manera semejante, Cortés, M. e Iglesias, L., definen la investigación descriptiva como aquella que busca especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

En tal sentido, los autores coinciden en la definición del tipo de investigación descriptiva como aquella que describe un proceso o evento cualquiera sea su naturaleza y a partir de allí se da un aporte al conocimiento científico. Tomando esto en consideración, se tiene que el estudio obedece a este tipo de investigación ya que se plantea el estudio del funcionamiento de una industria 4.0 y a partir de allí se determinan las variables necesarias para lograr su arquitectura de gestión.

Dentro del mismo orden de ideas, Salinas, P (2012), presenta otra clasificación para el tipo de investigación que consiste en la adaptación, complementación o mejoría de los resultados de un proceso de investigación para ponerlo en práctica. Generalmente el fin principal es masificar la producción para su comercialización. Este es el procedimiento que usa, básicamente, la industria en general. Esta definición corresponde a la investigación del tipo desarrollo tecnológico, la cual se adapta al presente trabajo de investigación.



De otro modo, también se puede clasificar la investigación como de tipo proyectiva, ya que siguiendo la teoría de Hurtado, J (2008), se trata de la elaboración de una propuesta o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras.

Esta teoría totalmente adaptable al proceso de investigación que se está desarrollando ya que plantea una propuesta de arquitectura para la gestión de comunicación de una fábrica considerando la cadena de suministro realizada a partir de un prototipo ya establecido para resolver problemas de integración de tecnologías e información para el desarrollo de aplicaciones en la industria, en la cual se establecieron y explicaron de manera explícita los elementos, autores y partes interesadas que componen dicha arquitectura logrando establecer una arquitectura de gestión que incluye los elementos de monitoreo y control de información junto a la integración de la capa de sensores con la capa de aplicación y sus correspondientes tecnologías.

### Resultados

El amplio rango de requisitos de comunicación demandado por las aplicaciones industriales es difícil de satisfacer de manera eficiente con una única tecnología de comunicaciones. Por este motivo, deben explotarse las diferentes capacidades que presentan las distintas tecnologías de comunicaciones disponibles. Por ejemplo, tecnologías inal bricas sin licencia como por ejemplo Wireless HART, ISA100.11a o IEEE802.15.4e son adecuadas para satisfacer de manera eficiente los requisitos de aplicaciones de monitorización y producción que no presentan estrictos requisitos en términos de latencia. Sin embargo, estas tecnologías no son capaces de satisfacer demandas de mayor ancho de banda que surgen por la digitalización de la industria, ni de integrar nodos móviles como robots que se desplazan por la fábrica.

Por otro lado, los estándares celulares que operan en bandas licenciadas introdujeron en el Release 14 (3GPP TS 36.881) mecanismos para reducir la latencia de la comunicación con el objetivo de soportar aplicaciones con estrictos requisitos de retardo. Además, las fábricas del futuro constituyen uno de los sectores principales para el 5G-PPP. La tecnología 5G está siendo desarrollada para dar soporte a una gran variedad de aplicaciones, siendo un objetivo importante las comunicaciones ultra fiables y con baja latencia o URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications) con requisitos de latencia de 1 ms y fiabilidad de 1-10<sup>-9</sup> (ITU-R M.2083-0, IMT Vision, 2015).

En este contexto, se puede proponer un despliegue de varias subredes o celdas (en el resto del artículo se utilizará el término celda) implementando tecnologías heterogéneas para cubrir una planta industrial. Cada nodo de la red se conectará a la celda que sea capaz de satisfacer de manera más eficiente sus necesidades de comunicación. Como ejemplo para documentar la arquitectura a proponer; se puede plantear un modelo presentado por Audi en 2015 del aspecto que tendrá una fábrica



en el 2035 en donde se explica cómo funcionará la fábrica en este entorno; en primera instancia todos los procesos productivos se realizarán en las llamadas islas de competencia (celdas) en lugar de líneas de producción, en ellas trabajarán tanto empleados como robots asistentes.

Para el caso mencionado, los productos o coches, se moverán entre estaciones por medio de transportes no pilotados, los cuales conocerán qué proceso necesita a continuación el vehículo, llevándolo así a una estación u otra. Cada pieza se fabricará a partir de impresoras 3D de metal; todo el proceso se controlará mediante la llamada torre, la cual funcionará como central de datos u orquestador, conociendo así gran cantidad de información en tiempo real. Pese a que las tareas productivas se harán en gran medida de manera automatizada, esto no conllevará que el número de empleados se vea reducido; se utilizarán drones para transportar piezas individuales de forma rápida.

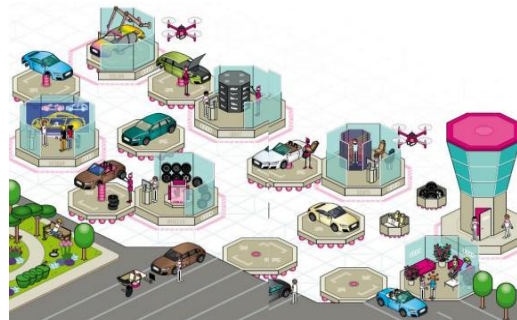


Figura 1. Aspecto de la fábrica de Audi en el año 2035

Fuente: Audi (2016)

A este modelo, podemos aplicarle una arquitectura en donde se monitoree con WirelessHART el trabajo realizado en cada gestor local en donde se realiza el trabajo o competencia para desarrollar el vehículo, mientras que las comunicaciones 5G pueden emplearse para la comunicación entre sensores, actuadores y robots con estrictos requisitos de tiempo. La figura número 2 ilustra el concepto de celdas en la arquitectura propuesta.

Es importante destacar, al generarse una cadena de suministro inteligente, lo importante que es el flujo de información, que empieza con la obtención de datos a través de la aplicación de Internet de las cosas en todos los eslabones de la cadena de suministro, pasa por la limpieza y selección de datos en los procesos de big data, y posteriormente envía esta información a la computación en la nube, en la cual el aprendizaje automático brinda las soluciones óptimas (Blanco, M., González, K. y Rodríguez, J. 2017). Luego de esto se alimenta la cadena de suministro enviando la información transformada a cada sección y tal como predicciones de oferta y demanda, planeaciones de rutas de distribución, pronósticos de fallas de maquinaria, planeación óptima de la producción, ventas asertivas satisfaciendo las necesidades de los clientes, entre otros.

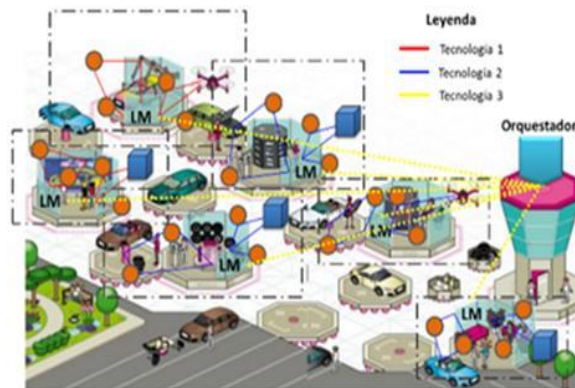


Figura 2. Arquitectura de comunicaciones y gestión de datos jerárquica y heterogénea.  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

La arquitectura de gestión de datos propuesta es la integración de la revisión de la literatura académica estudiada junto con los estudios que se describen a continuación, que cumplen con el modelo de arquitectura propuesta, junto con lo cual se realizó el ciclo de interacción de actores y elementos, y la adaptación de la arquitectura a la cadena de suministro con el planteamiento de sus componentes. El objetivo es explotar las distintas capacidades de distintas tecnologías de comunicaciones para satisfacer el amplio rango de requisitos impuesto por la Industria 4.0 de una manera fiable y eficiente. Con este objetivo, la arquitectura propone un enfoque jerárquico en el que una entidad central garantiza la coordinación de las decisiones tomadas por gestores locales y distribuidos. La arquitectura propuesta está basado en el uso de RAN (Radio Access Network) Slicing y Cloud RAN como tecnologías habilitadoras que permitirán alcanzar los niveles de flexibilidad, escalabilidad y adaptación requerida. (Lucas-Estañ, M. Sepulcre, J. Gozalvez . 2018)

Se tomó como base la propuesta de Manuel, Lovelle, Enrique y Marín (2014 ), donde se presentan tres niveles: en el primero se encuentran los sensores, los cuales obtienen información en tiempo real; la capa intermedia, denominada de comunicación, integra redes cableadas e inalámbricas que transfieren la información y por último, está la capa superior, donde se encuentran las aplicaciones y que a su vez consta de tres capas: capa de tecnología, capa de middleware y la capa de aplicación; la propuesta de Arvind y Bourne (2016), del cual se analizaron las capas de interfaz, procesamiento de información e inteligencia, y que sirvió como parámetros para los elementos que se utilizaron y por último los lineamientos de la arquitectura de gestión de comunicaciones definidas en el Proyecto H2020 de AUTOWARE (Lucas-Estañ, Sepulcre, y Gozalvez, 2018).

### Propuesta de la Arquitectura de Gestión Jerárquica

De acuerdo con los artículos estudiados, se puede señalar que la Industria tiene cuatro pilares, que son la interconexión, la transparencia de la información, las



decisiones descentralizadas y la asistencia técnica (Hermann, Pentek y Otto, 2016); adicionalmente, se busca que la fabricación sea inteligente, es decir, que sea autoconsciente, autooptimizada y autoconfigurada para generar beneficios económicos en las compa as que lo empleen (Qin, Liu y Grosvenor, 2016). Cuando se implementa con éxito la industria 4.0 en la cadena de suministro, puede transformar la producción tradicional de células dispersas y aisladas a un flujo de producción totalmente integrado, automatizado y optimizado para lograr mayores eficiencias y relaciones de fabricación más cercanas entre los proveedores, productores y clientes (Ang, Goh y Li, 2016).

La arquitectura propuesta considera una estructura de gestión de comunicaciones jerárquica que combina decisiones locales y descentralizadas con decisiones centralizadas con el objetivo de lograr una gestión eficiente de la red. La figura número 2 muestra la estructura de gestión propuesta; sus componentes principales son el orquestador y los gestores locales o Local Managers (LMs); cada LM está a cargo de la gestión local de los recursos radio dentro de su celda, y toma decisiones locales para asegurar que se satisfacen los requisitos de comunicación de cada nodo en su celda. Como muestra la figura número 3, los LMs son los encargados de ejecutar funciones como asignación de recursos Radio, Control de Potencia o Scheduling.

Estas funciones coordinan de manera local el uso de los recursos radio entre dispositivos asignados a la misma celda, y requieren tiempos de respuesta muy cortos. El control de interferencia dentro de la celda debe realizarse también por el LM si varias transmisiones dentro de una misma celda pueden compartir los recursos radio; a su vez, envían información al orquestador sobre el rendimiento experimentado dentro de la celda. Gracias a su visión global, el orquestador tiene la capacidad y la información necesaria para adaptar la configuración de la red de manera global, y por tanto está a cargo de gestionar y coordinar el uso de los recursos radio en las diferentes celdas; por lo cual puede establecer restricciones en el uso de los recursos radio que cada celda debe cumplir con el objetivo de garantizar la coordinación entre diferentes celdas.

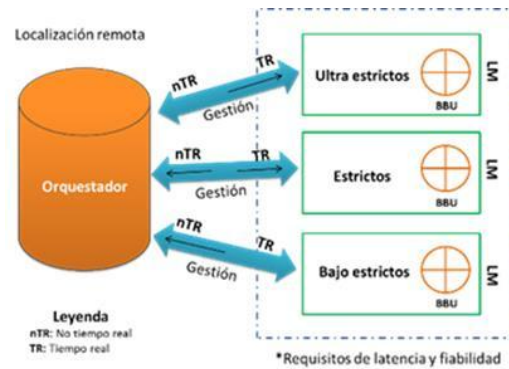
Por ejemplo, ante cambios en la configuración de la planta industrial o en el sistema de producción de los vehículos, el orquestador puede reasignar bandas de frecuencia a las celdas que utilizan espectro con licencia en base a las nuevas condiciones de carga o los nuevos requisitos de comunicación; el orquestador debe evitar interferencias entre celdas que implementan la misma tecnología (tecnología que puede utilizar espectro con licencia).

Por otro lado, debe garantizar la integración e interacción entre celdas que implementan diferentes tecnologías inalámbricas normalmente que utilizan espectro sin licencia, evitando interferencias entre sistemas, por ejemplo, realizando la asignación dinámica de canales no interferentes a diferentes celdas en base a la demanda actual. Tamb n puede establecer restricciones sobre la potencia de transmisión máxima a utilizar o los recursos radio a asignar a determinadas transmisiones para garantizar la coordinación entre celdas.

Además, es el responsable del Control de Admisión, decidiendo a qué celda se debe conectar cada nuevo nodo en base a sus capacidades de comunicación y las condiciones de operación actuales. Los dispositivos también pueden participar en



funciones de gestión, por ejemplo, en el caso de implementar técnicas de gestión distribuidas para comunicaciones D2D en celdas 5G, tal y como se muestra en la figura número 3.



*Figura 3.* Funciones de gestión de la comunicación de las diferentes entidades que componen la arquitectura de gestión jerárquica  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

En la arquitectura propuesta, las celdas se organizan en capas diferentes en función de los requisitos de comunicación de la aplicación industrial a la que dan soporte; cada LMs el uso de algoritmos de gestión de recursos radio diferentes para cumplir de manera eficiente con los estrictos requisitos de las diferentes aplicaciones industriales a fin de validar los diferentes requisitos del sistema; por ende, si se utiliza como ejemplo el mecanismo de scheduling.

Piquer 82018), expone que scheduling es la asignación estratégica del procesador a los procesos; las celdas que implementan LTE pueden aplicar un mecanismo de scheduling, semi-persistente para garantizar comunicaciones con ultra baja latencia; este mecanismo de scheduling asigna recursos a los usuarios de manera semi-persistente evitando el retardo que conlleva el intercambio de mensajes de señalización para solicitar y garantizar el acceso a los recursos.

Los requisitos de las aplicaciones industriales que soportan las distintas celdas también influyen en el tipo de interacción entre el LM de la celda y el orquestador, por lo cual, si la aplicación no presenta requisitos de bajas latencias, el LM correspondiente puede delegar algunas de las funciones de gestión al orquestador. Esto permite llevar a cabo una mejor coordinación entre este tipo de celdas. Cuando las aplicaciones presentan requisitos de latencia muy estrictos es preferible que las decisiones de gestión sean tomadas de forma local por los LMs. (Ver figura 4).

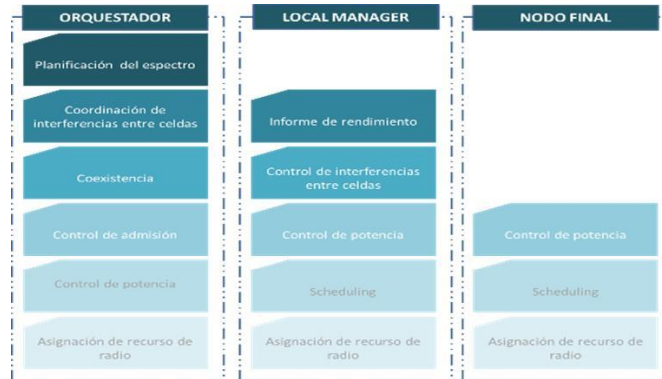


Figura 4. Interacción LM-Orquestador en diferentes capas de la arquitectura de gestión

Fuente: Elaboración Propia (2019).

Ahora bien, la arquitectura de comunicaciones y gestión de datos propuesta en este artículo para un modelo en donde se utilizan automatización digital, se considerara el uso de RAN Slicing y Cloud RAN como tecnologías habilitadores para alcanzar la flexibilidad y eficiencia buscada; es importante destacar que en esta capa se encuentra la infraestructura que se almacena en una nube industrial. Acá es donde se da la integración entre las capas que recibe los datos y suministra información a las aplicaciones externas.

En este contexto, la arquitectura propuesta considera que cada celda puede soportar varias aplicaciones industriales que pueden requerir diferentes funciones o técnicas de gestión para garantizar sus requisitos en términos de tasas de transmisión, retardo o fiabilidad. En este caso, además resulta muy importante asegurar la independencia en el rendimiento experimentado entre las distintas aplicaciones. Para alcanzar estos objetivos, se considera que la arquitectura propuesta se construye sobre una red virtualizada que permite la implementación de RAN Slicing.

Por otro lado, RAN Slicing está basado en las tecnologías Software Defined Networking (SDN) y Network Function Virtualization (NFV) las cuales proponen dividir los recursos físicos y las funciones de gestión de una única RAN en diferentes rebanadas o slices para crear múltiples redes lógicas virtuales. Cada una de estas slices, en este caso RANs virtuales, debe tener asignados los recursos necesarios para satisfacer los requisitos de comunicación de la aplicación o servicio al cual da soporte.

Esto para garantizar la independencia en términos de rendimiento entre aplicaciones o servicios soportados por distintas slices de una misma red física. Como resultado, RAN Slicing produce una tecnología clave para desplegar arquitecturas de comunicaciones flexibles capaces de satisfacer los variados y exigentes requisitos de comunicación de las aplicaciones industriales, y en particular, de las comunicaciones URLLC.

En este trabajo nos referiremos a cada slice de una celda física como celda virtual; ver figura número 5, propuesta en el Proyecto H2020 de AUTOWARE (Lucas-Estañ, Sepulcre, y Gozálvez, 2018) y adaptada para fines consiguientes;

cada celda virtual debe tener asignados la cantidad de recursos RAN necesarios para satisfacer los requisitos de los enlaces de comunicación a los que da servicio. La cantidad de recursos RAN (por ejemplo, recursos radio, de computación, o de almacenamiento de datos, entre otro.) asignados a cada celda virtual se debe adaptar de manera dinámica en base a las condiciones variantes de operación como la cantidad de tráfico o la calidad de los enlaces. El orquestador es la entidad de gestión encargada de crear y gestionar los distintos slices o celdas virtuales, ya que gracias a la información recibida desde los LMs, el orquestador tiene una visión global del rendimiento experimentado en cada celda (o celda virtual).

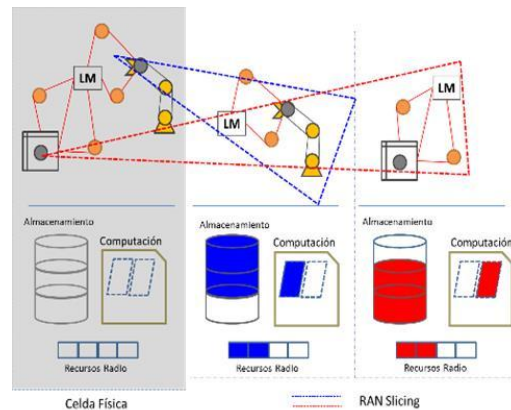


Figura 5. Celdas virtuales basadas en RAN Slicing.  
Fuente: Elaboración Propia (2019).

Ahora bien, toda tecnología propuesta necesita tener una tecnología base para la implementación; para este caso; Cloud RAN será clave para alcanzar una coordinación precisa entre celdas y controlar interferencias entre celdas y entre distintas tecnologías; centralizar funciones de procesamiento y gestión en la misma localización permite mejorar la coordinación e interacción entre distintas celdas, por tanto se infiere que puede soportar diferentes divisiones funcionales que están perfectamente alineadas con las necesidades de las aplicaciones en Industria 4.0 (Checko, A. Christiansen, L.; Yan, Y.; Scolari, L.; Kardaras, G.; Berger, M.; Dittmann, L., 2015), algunas funciones de procesamiento pueden ser ejecutadas de manera remota mientras otras con fuertes requisitos de tiempo real pueden ejecutarse localmente en la celda.

Por otro lado, esta tecnología que será usada como base, propone mover las BBUs a la nube o cloud cambiando el concepto de arquitectura distribuida tradicional a un nuevo concepto centralizado (Monsalve, 2017), en el que algunas o todas las funciones de gestión y procesamiento de las estaciones base son implementadas en un entorno centralizado de BBUs virtuales (un conjunto de procesadores que realizan funciones de procesamiento de señal y que es compartido por todas las celdas, ver figura número 6 propuesta en el Proyecto H2020 de AUTOWARE por Lucas-Estañ, Sepulcre, y Gozalvez, (2018) y adaptada para fines consiguientes) . Se espera que esta versión de C-RAN sea un activador fundamental para 5G.

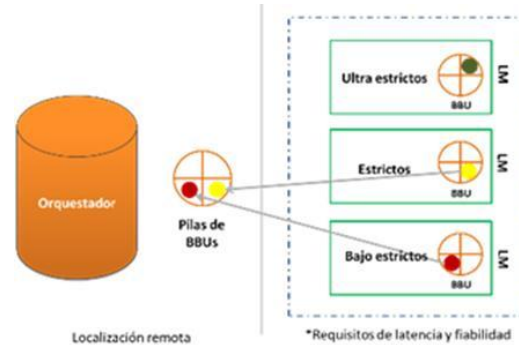


Figura 6. Unidades de procesamiento de la señal (BBUs)

Fuente: Elaboración Propia(2019)

### Discusión

Con la introducción del concepto de Industria 4.0 se incluye un nuevo entorno de comunicación en donde debe considerarse la gestión de las diferentes aplicaciones y servicios que compartirán escenario en cada uno de los procesos que desarrolle la planta o fábrica inteligente; es por ello, que los requisitos para estas estructuras deben ser más exigentes en términos de latencia, fiabilidad, disponibilidad, tasa de transmisión, desempeño y fallas; incluyendo los lazos de control con sus estrictos requisitos de tiempo para que los nodos de sensores transmitan los datos del proceso de manera efectiva.

Los puntos focales son: desarrollo de sistemas de IT verificables y consistentemente seguros, nuevos enfoques en el análisis y validación de sistemas de las TICs, garantizar la seguridad en entornos inseguros, protección de infraestructuras de la Internet; Seguridad por Diseño (Security by Design), identificación de puntos débiles, comunicación cuántica para el intercambio seguro de datos, condiciones y tecnologías de marco para una nueva cultura de la confianza y la privacidad en la Internet.

Por otro lado, es importante destacar, que la forma de garantizar la integración de distintas tecnologías en redes únicas, es la gestión de híbrida de redes locales y centralizadas coordinadas por un solo punto central y orquestador, lo cual garantizará las decisiones tomadas en el proceso así como el rendimiento de la estructura completa de la red.

### Conclusiones

El modelo propuesto explota las distintas capacidades de tecnologías de comunicación heterogéneas para satisfacer el amplio rango de requisitos de comunicación demandados por distintas aplicaciones industriales; para el caso se tomó como referencia el modelo presentado por la fábrica Audi para el 2035.

A su vez, puede inferirse que existe una relación positiva entre la arquitectura propuesta y la eficiencia de la cadena de suministro, debido a dos factores



principales: el primero está relacionado con interacción en tiempo real entre los eslabones de la cadena de suministro apoyado en la computación en la nube. El segundo factor es el aprendizaje automático que permite la toma de decisiones óptimas y eficientes.

Los esfuerzos que hacen las empresas para crear ventajas competitivas pueden reforzarse debido a la inmersión en la i4; sin embargo, las organizaciones deben tener en cuenta que la inclusión en la nueva revolución industrial trae consigo cambios en las tecnologías que se utilizan para la recolección de datos, el análisis y su transformación, y estos cambios de tecnología representan una inversión que deben hacer las organizaciones.

Para garantizar la integración de distintas tecnologías en una única red de manera que se garanticen comunicaciones fiables y eficientes, la arquitectura propuesta permite la implementación de una gestión híbrida con decisiones locales y descentralizadas (que proporcionan flexibilidad y adaptabilidad a requisitos particulares) coordinadas por un orquestador central que toma decisiones para garantizar el rendimiento óptimo de la red que a su vez permite bondades en el monitoreo y control de la actividades de la planta.

#### Referencias bibliográficas

- Checko, A. Christiansen, L.; Yan, Y.; Scolari, L.; Kardaras, G.; Berger, M.; Dittmann, L., (2015). Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17
- Almada, L. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management, JIM* 3 (4) 16-21
- Ang, J., Goh, C. y Li, Y. (2016). Smart Design for Ships in a Smart Product Through-Life and Industry 4.0 Environment, 2016 *IEEE Congr. Evol. Comput.*, 5301-8, 2016. [Online]. doi: <https://doi.org/10.1109/CEC.2016.7748364>
- Arvind, A. and Bourne, D. (2016). Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems, July, 2016. [Online]. Recuperado de: <http://ri.cmu.edu/publications/architecture-for-industry-4-0-based-manufacturing-systems/>
- AUDI (2016). *Ingolstadt, Germany - Automotive industry - References – Company ART Advanced Realtime Tracking.Ar-tracking.com*. Recuperado de: <http://www.artracking.com/company/references/automotive-industry/audi-ingolstadt-germany/>
- Blanchet, M., Rinn, T., Thaden, G. y Thieulloy, G. (2014). Industry 4.0. The new industrial revolution. How Europe will succeed. Hg V Roland Berg. Strategy Consult. GmbH Münch.





[https://www.researchgate.net/publication/274894802\\_Industry\\_40 -  
Potentials for Creating Smart Products Empirical Research Results](https://www.researchgate.net/publication/274894802_Industry_40_-_Potentials_for_Creating_Smart_Products_Empirical_Research_Results)

Blanco, M., González, K. y Rodríguez, J. (2017). Propuesta de una arquitectura de la industria 4.0 en la cadena de suministro desde la perspectiva de la ingeniería industrial, *Ingeniería Solidaria*, 13 (23), 77-90. doi: <https://doi.org/10.16925/in.v23i13.2007>

Christopher, M. y Holweg. M. (2011). Supply Chain 2.0: managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41 (1), 63-82

Cortés, M. e Iglesias, L. (2004). Generalidades sobre metodología de investigación. 10. Colección Material. Autónoma del Carmen. Ciudad del Carmen, Campeche, México  
[http://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia\\_investigacion.pdf](http://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf)

Lu, L., (2016). Real-Time Wireless Sensor-Actuator Networks for Industrial Cyber-Physical Systems, *Proc. of the IEEE*, 104 (5).

Gerrero, V., Yuste, R. y Martinez, L. (2010). *Comunicaciones Industriales II*. México: Alfaomega Marcombo ediciones técnicas.

González (2012). Soluciones para monitorización. Comunicaciones inalámbricas. Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.

Hermann, M.; Pentek, T. y Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, 2016. *49th Hawaii Int. Conf. Syst. Sci., iee*, 3928–3937. doi: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HICSS.2016.488>

ITU-R M.2083-0, IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, Sept. 2015. <https://standards.globalspec.com/std/9964221/ITU-R%20M.2083>.

Hurtado, J. (2008) El proyecto de investigación : metodología de la investigación holística. Recuperado en: [https://www.researchgate.net/publication/44465356\\_El\\_proyecto\\_de\\_investigacion\\_metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_holistica\\_Jacqueline\\_Hurtado\\_de\\_Barrera](https://www.researchgate.net/publication/44465356_El_proyecto_de_investigacion_metodologia_de_la_investigacion_holistica_Jacqueline_Hurtado_de_Barrera)

Kagermann, H.; Helbig, J.; Hellinger, A. y Wahlster, W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Forschungsunion.



<https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>

Lucas-Estañ, M., Sepulcre, M. y Gozalvez, J. (2018). Arquitectura de Red de Comunicaciones Inalámbricas para la Industria 4.0 UWICORE Laboratory, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), Elche, España. [https://www.researchgate.net/publication/327573941\\_Arquitectura\\_de\\_Red\\_de\\_Comunicaciones\\_Inalambricas\\_para\\_la\\_Industria\\_40](https://www.researchgate.net/publication/327573941_Arquitectura_de_Red_de_Comunicaciones_Inalambricas_para_la_Industria_40)

Manuel, J., Lovelle, C., Enrique, C. y Marín, M. (2014). Metamodelo para la integración de la Internet de las cosas y redes sociales. Recuperado de: <http://di002.edv.uniovi.es/~cueva/investigacion/tesis/Tesis-Joselgnacio.pdf>

Monsalve, J. (2017). *Arquitectura C-RAN para las futuras redes 5G*. Recuperado de: <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/arquitectura-c-ran-las-futuras-redes-5g/>

Plattform Industrie 4.0 (2014). Plattform Industrie 4.0, 2014: Industrie 4.0. Whitepaper FuEThemen. <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Standardartikel/handlungsfelder-forschung-innovation.html>

Qin, J.; Liu, Y. y Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia cirp*, vo52, 173-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>

Riedl, M., Zipper, H., Meier, M. and Diedrich, C. (2014). Cyber-physical systems alter automation architectures. *Annual Reviews in Control*, 38, (1), 123–133

Ruffo, M. y Hague, R. (2007). Cost estimation for rapid manufacturing simultaneous production of mixed components using laser sintering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(11), 1585-1591.

Salas, J. (2014). *Redes Wireles Industriales*. Universidad Oberta de Catanluya. [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/33381/1/Herciano\\_TFG\\_0614.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/33381/1/Herciano_TFG_0614.pdf)

Salinas, P. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Venezuela: Universidad de los Andes.

Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A. y Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. *Prod. Eng. Res. Devel.* 9, 143-148.



Schlick, J., Stephan, P, Loskill, M. y Lappe, D. (2014): Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung In: Bavernhansl, T., M. ten Hompel and B Vogel-Heuser, eds 2014. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung. Technologien und Migration.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-04682-8\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-04682-8_3)

Sommer, L. (2015). Industrial revolution—Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8, 1512-1532.