

## Arquitecturas de Referencia Edge Computing para la Industria 4.0: una revisión. Edge Computing Reference Architectures for Industry 4.0: a review.

Inés Sittón-Candanedo <sup>1\*</sup>, Ricardo S. Alonso <sup>1</sup>, Lilia Muñoz <sup>2\*</sup>, Sara Rodríguez-González <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Bisite Reasearch Group, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

<sup>2</sup> Grupo GITCE, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

\*Autor de correspondencia: isittonc@usal.es, lilia.munoz@utp.ac.pa

---

**RESUMEN**– Investigaciones recientes intentan demostrar que las arquitecturas de Edge Computing representan soluciones óptimas para minimizar la latencia, mejorar la privacidad y reducir el ancho de banda y los costos relacionados con los desarrollos para escenarios basados en el Internet de las Cosas (IoT), tales como: ciudades inteligentes, consumo eficiente de energía, agricultura inteligente o industria 4.0. Este trabajo es una revisión de las principales arquitecturas de referencia existentes de Edge Computing dirigidas a la Industria 4.0 propuestas por el Edge Computing Consortium, el Proyecto FAR-Edge Project, el Industrial Internet Consortium y finalmente por la asociación entre INTEL y SAP. Este trabajo incluye una comparación entre estas arquitecturas de referencia, así como sus características más importantes con el objetivo de proponer como trabajo futuro, el diseño de una Arquitectura de Referencia de Edge Computing aplicable a otros escenarios que no necesariamente estén relacionados con la industria 4.0.

**Palabras clave**– *Arquitecturas de Referencia, Computación en la Nube, Edge Computing, Industria 4.0, Internet de las Cosas.*

**ABSTRACT**– Recent research attempts to demonstrate that Edge Computing architectures represent optimal solutions for latency reduction, improve privacy, bandwidth and cost reduction related to application development for Internet of Things (IoT) scenarios, such as: smart cities, energy efficient consumption, smart farming or industry 4.0. This work is a review of the main existing Edge Computing reference architectures addressed to Industry 4.0 designed by the Edge Computing Consortium, the FAR-Edge Project, the Industrial Internet Consortium and finally by the partnership between INTEL and SAP. This work conducts a comparison between these reference architectures, as well as their most important characteristics with the aim of designing an Edge Computing Reference Architecture in the future, applicable to other scenarios that are not necessarily related to industry 4.0.

**Keywords**– *Cloud Computing, Edge Computing, Industry 4.0, Internet of Things, Reference Architecture.*

---

### 1. Introducción

En los últimos años, el Edge Computing ha generado el interés de empresas, universidades, industrias e investigadores, en este sentido, la primera plataforma móvil de EC, denominada RACS (*Radio Applications Cloud Server*), fue presentada por Nokia e IBM en 2013 [1]–[3]. En 2015, el Cisco Global Cloud estimó que para 2019 los datos producidos por máquinas y humanos alcanzarían los 500 zettabits y en 2020 cerca de 50 mil millones de dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) estarían conectados a Internet. Edge Computing se presenta como una solución potencial a este problema al optimizar los procesos informáticos y no depender de la computación en la nube para procesar los datos recolectados por los dispositivos IoT [2], [3].

Se denomina computación de borde (“*Edge*”) porque el procesamiento de la información ya no se realiza únicamente en nodos centralizados o distribuidos (*core*), sino que se realiza también en el extremo *edges*, alejando

los procesos de computación centralizada de la nube. Toda la información producida por el IoT se procesa en el extremo, liberando así la carga computacional de los servidores centralizados, reduciendo el tráfico de la red y el tiempo de respuesta requerido por las aplicaciones [4].

Existen actualmente diversas líneas de investigación orientadas a establecer estándares para el desarrollo de conceptos, arquitecturas o procesos implementados en soluciones de Edge Computing. En este sentido, importantes organizaciones han presentado diferentes especificaciones que van desde protocolos de comunicación, seguridad, protección de datos hasta arquitecturas de referencia, un ejemplo, las que se han propuesto para la Industria 4.0 por INTEL-SAP [5], el Edge Computing Consortium [6] o el Industrial Internet Consortium en Estados Unidos [7].

La siguiente sección describe el paradigma del Edge Computing. La sección Arquitecturas de Referencia presenta cuatro arquitecturas dirigidas a la Industria 4.0

y basadas en la norma ISO/IEC/IEEE 2010:2011 [8]. Posteriormente se incluye una comparación de sus principales características, con el objetivo de proponer como trabajo futuro el diseño de una arquitectura de referencia. Por último, se presentan las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## 2. Internet de las Cosas y Edge Computing.

El Internet de las Cosas, puede verse como la interacción y comunicación llevada a cabo entre los dispositivos que generan e intercambian datos con las cosas u objetos del mundo real. Entre las principales características del IoT destacan:

- Heterogeneidad de dispositivos y redes [9].
- Un gran volumen de eventos y datos generados por objetos en el mundo real [10].
- Permiten la digitalización del mundo físico mediante la medición y transmisión de datos que pueden ser procesados y analizados por las máquinas, transformándolos en información utilizada para construir sistemas inteligentes en una amplia gama de escenarios como la salud, el transporte o la energía inteligente, entre muchos otros [11].

Con estas características, cada vez es más difícil cumplir con los requisitos para el desarrollo de aplicaciones donde todo se gestione mediante la nube. El gran volumen de datos que deben ser procesados mediante técnicas de análisis de datos o de aprendizaje automático (*machine learning*) es un desafío que requiere un ancho de banda de red elevado y costos asociados por parte de los proveedores de servicios cloud [12].

En este sentido, el paradigma de Edge Computing permite encontrar soluciones que cumplan con sus requisitos y permitan aprovechar al máximo el potencial y las capacidades del IoT; los grandes datos generados por los diferentes objetos IoT pueden ser filtrados y pre-procesados en el borde de la red en lugar de ser transmitidos a la nube para ser procesados allí. Esto permite servicios más rápidos y tiempos de respuesta reducidos en comparación con los escenarios basados únicamente en Cloud Computing [13][14].

Existen diversas definiciones de Edge Computing, pero todas suelen incluir tres términos en común: plataforma abierta, tecnologías habilitadoras, y recursos informáticos. En este artículo se mencionan las siguientes:

- Shi *et al.*(2016): Edge Computing se refiere a las tecnologías que permiten realizar cálculos en el

borde de la red para que la computación se realice más cerca de las fuentes de datos [15].

- Satyanarayanan (2017) considera que el Edge Computing es un nuevo paradigma en el que recursos sustanciales de computación y almacenamiento, también conocidos como *cloudlets*, microcentros de datos o incluso nodos *fog (de niebla)*, se sitúan en el borde de Internet, cerca de dispositivos de detección [16].
- El *Edge Computing Consortium* define EC como una plataforma abierta distribuida en el borde de la red, cerca de las cosas o fuentes de datos, e integrando las capacidades de redes, almacenamiento y aplicaciones [17].
- Para el *Industrial Internet Consortium* (IIC), el EC permite el procesamiento cerca de la fuente de datos, y no necesita ser enviado a una nube remota u otros sistemas remotos centralizados o distribuidos para ser procesados posteriormente [7].

Al ofrecer servicios de inteligencia de vanguardia, el Edge Computing, cumple con los requisitos clave de la digitalización de la industria para una conectividad ágil, servicios en tiempo real, optimización de datos, inteligencia de aplicaciones, seguridad y protección de la privacidad [17]. Por otro lado, al eliminar la distancia y el tiempo necesario para transmitir datos desde las fuentes a la Nube, la velocidad y el rendimiento del transporte de datos mejora [18].

Por lo tanto, las arquitecturas basada en Edge Computing son capaces de desplazar una parte de la capacidad de cálculo que se realiza en la nube, a los nodos situados en el extremo de la red [19]. Al desplazar la capacidad procesamiento a los nodos, las arquitecturas Edge, ofrecen las siguientes ventajas [2]:

- Los flujos de datos procedentes de diferentes fuentes de datos son procesados por los nodos para filtrar información sin valor. Esto permite ahorrar ancho de banda y recursos de almacenamiento.
- Proximidad y baja latencia gracias a procesos de información cercanos a su fuente de origen.
- El almacenamiento y procesamiento descentralizado de los artículos mejora la escalabilidad.
- Los nodos de las arquitecturas Edge proporcionan a cada nodo de la red aislamiento y privacidad.

### 3. Arquitecturas de Referencia Edge Computing.

Una arquitectura de referencia (AR) es un documento o conjunto de documentos que proponen estructuras, productos y servicios recomendados para formar una solución. Una arquitectura de referencia incorpora las mejores prácticas aceptadas por la industria y proporcionan directrices para el método de entrega o tecnologías óptimas específicas y da respuesta a las preguntas más frecuentes que puedan surgir [20]. En consecuencia, al proporcionar un conjunto probado de mejores prácticas y soluciones, ya que una vez diseñadas, la mayoría de las AR se validan exhaustivamente antes de ser documentadas. Posteriormente se implementan en situaciones diferentes y sobre la base de esas experiencias reales, los expertos realizan ajustes en etapas posteriores. Como resultado de estas iteraciones de desarrollo, las empresas se benefician.

Las arquitecturas de referencia no se empaquetan de forma compleja y en muchos casos adoptan un enfoque descriptivo. Esto significa que son flexibles, permitiendo a los clientes crear una solución que incluye componentes de sus proveedores de TI. Algunas de las AR diseñadas con Edge Computing están basadas en la norma ISO/IEEE 42010:2011 [21]. Esta norma describe los requisitos para el desarrollo de sistemas y arquitecturas de software a través de una convención, una terminología común y las mejores prácticas de diseño y descripción de la Arquitectura Empresarial y se basa en un modelo conceptual o meta-modelo de descripción de la arquitectura (AD) [22].

En esta sección se presentan tres arquitecturas de referencia del Edge Computing diseñadas para la Industria 4.0.

#### 3.1. Arquitectura de Referencia FAR-EDGE

Esta arquitectura de referencia fue diseñada en el marco del Proyecto FAR-EDGE (*Factory Automation Edge Computing Operating System Reference Implementation*) con financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea [23]. La arquitectura es un marco conceptual para el diseño e implementación de la plataforma del proyecto y está basada en Edge Computing (EC) y *Distributed Ledger Technologies (DLT)*, estrechamente relacionado con la tecnología de cadena de bloques (*Blockchain*) [24]. Los dos conceptos principales de

FAR-Edge son ámbitos (*scopes*) y niveles (*tiers*). Los *scopes* se refieren a los elementos de una planta, su ecosistema (maquinaria, dispositivos de campo, estaciones de trabajo), sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos, MES (Sistema de Ejecución de Fabricación) y ERP (Sistema de Planeación de Recursos Empresariales). Y los *tiers* proporcionan información sobre los componentes de la arquitectura y su relación entre ellos.

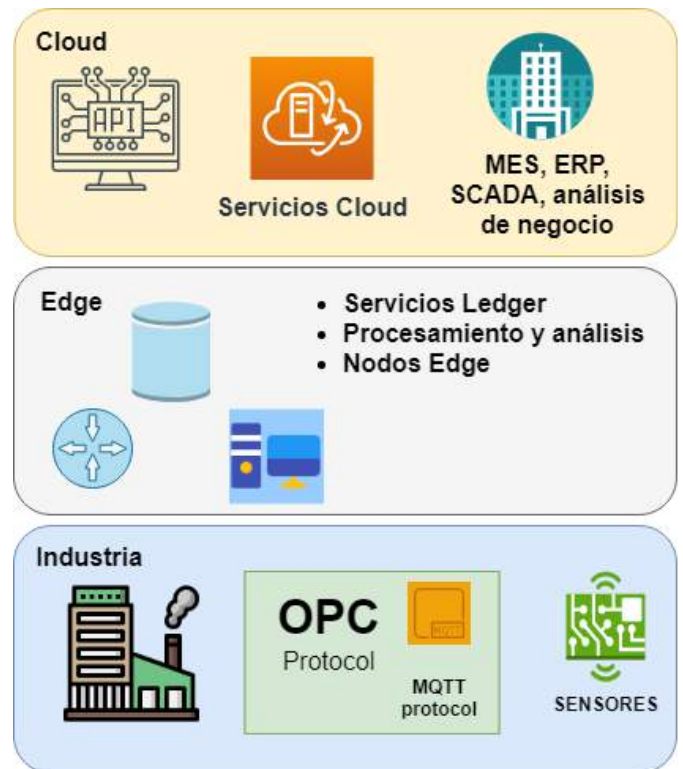


Figura 1. Arquitectura de Referencia FAR-EDGE.

La Figura 1 basada en el trabajo de [19] muestra las tres principales capas de la arquitectura :

- Campo o Industria: es la primera capa de la arquitectura y está formada por diferentes tipos de dispositivos que van desde un teléfono inteligente, un PDA (asistente digital personal), hasta un sensor o un actuador.
- Edge: se ubican los dispositivos Edge que funcionan como puertas de enlace entre el nivel de Campo y el entorno digital. Su principal función es realizar un análisis de los datos en tiempo real. En esta capa se incluyen los servicios *ledgers* mediante contratos inteligentes basados en la tecnología blockchain, con

el objetivo de proporcionar soporte de seguridad a la arquitectura.

- Cloud: consiste en servidores *cloud* (en la nube) que alojan el software responsable de la planificación, monitorización y gestión de los recursos. Esta capa se ocupa de la ejecución lógica de los componentes funcionales de la arquitectura.

Esta arquitectura de referencia se distingue por la implementación del Edge Computing, garantizando la seguridad de la información mediante contratos inteligentes. Sus creadores sugieren su aplicación en entornos Industria 4.0 vinculados con automatización, análisis y simulación digital.

### 3.2. Edge Computing 2.0:

El Edge Computing Consortium (ECC) fue creado en 2016 por varias organizaciones como Huawei, Shenyang Institute of Automation (SIA) de la Academia China de Ciencias, Intel, ARM, iSoftStone y la Academia China de Tecnología de Información y Comunicaciones (CAICT). Además, la Academia China de Investigación en Telecomunicaciones (CATR) junto con el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (MIIT) formaron en 2016 la Alianza de Internet Industrial (IIA) con el objetivo de desarrollar la Internet industrial en China [6]. Posteriormente, la Arquitectura de Referencia de Edge Computing (EC-RA) 2.0 fue propuesta por el trabajo conjunto entre la ECC y la AII, basándose en estándares internacionales como ISO/IEC/IEEE 42010:2011.

Verticalmente la arquitectura se basa en la gestión, el ciclo de vida de los datos y la seguridad, mediante servicios inteligentes a lo largo de todo el ciclo de vida. Horizontalmente, sigue un modelo de capas con interfaces abierta, como se observa en la Figura 2 y que se describe en el siguiente orden:

- Servicios Inteligentes: esta capa está basada en un marco de servicios basado en modelos. La coordinación inteligente entre el desarrollo y el despliegue de servicios se logra a través del marco de servicios de desarrollo y el marco de servicios de despliegue y operación. Estos marcos permiten interfaces coherentes de desarrollo de software e implementación y operaciones automáticas.
- Servicios de fábrica: define las tareas, los procesos tecnológicos, los planes de ruta y los parámetros de control de las fases de procesamiento y ensamblaje, implementando el rápido despliegue de políticas de

servicio y el rápido procesamiento de múltiples tipos de productos.

- Cómputo y conectividad: La infraestructura de Operación, Tecnología de la Información y las Comunicaciones (OICT) se encarga de desplegar las operaciones y coordinar entre los servicios de recursos computacionales y las necesidades de la organización.

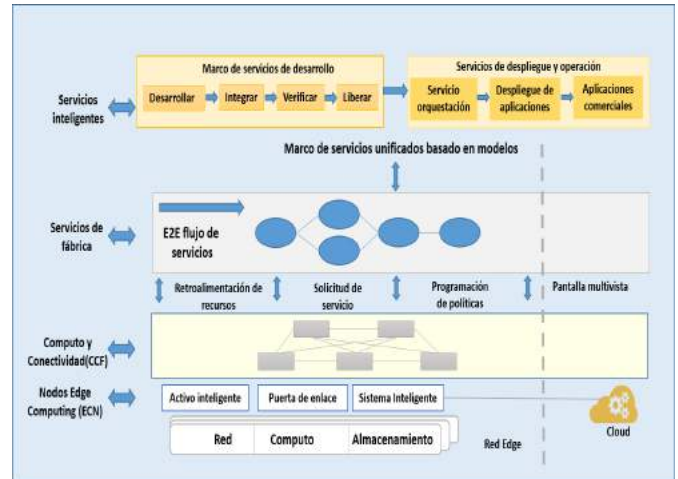


Figura 2. Arquitectura de Referencia ECC 2.0.

### 3.3. Industrial Internet Consortium:

Como el Edge Computing Consortium, el Industrial Internet Consortium también ha desarrollado su arquitectura de referencia utilizando el estándar ISO/IEC/IEEE 42010:2011. Esta norma es la principal guía para identificar convenciones, principios y mejores prácticas para arquitecturas y marcos coherentes basados en la Internet de los objetos. La norma ISO/IEC/IEEE 42010:2011 facilita la evaluación, comunicación, documentación y resolución sistemática o efectiva en una arquitectura de referencia [7]. La Figura 3 presenta la Arquitectura de Referencia del Industrial Internet Consorcio (IIC-RA) y sus tres capas principales:

- Edge: esta capa recoge datos de los nodos Edge a través de una red de proximidad. Las principales características arquitectónicas de esta capa incluyen la amplitud de la distribución, la ubicación, el alcance de la gobernanza y la naturaleza de la red de proximidad. Cada una de estas características cambiará según cada caso de uso.



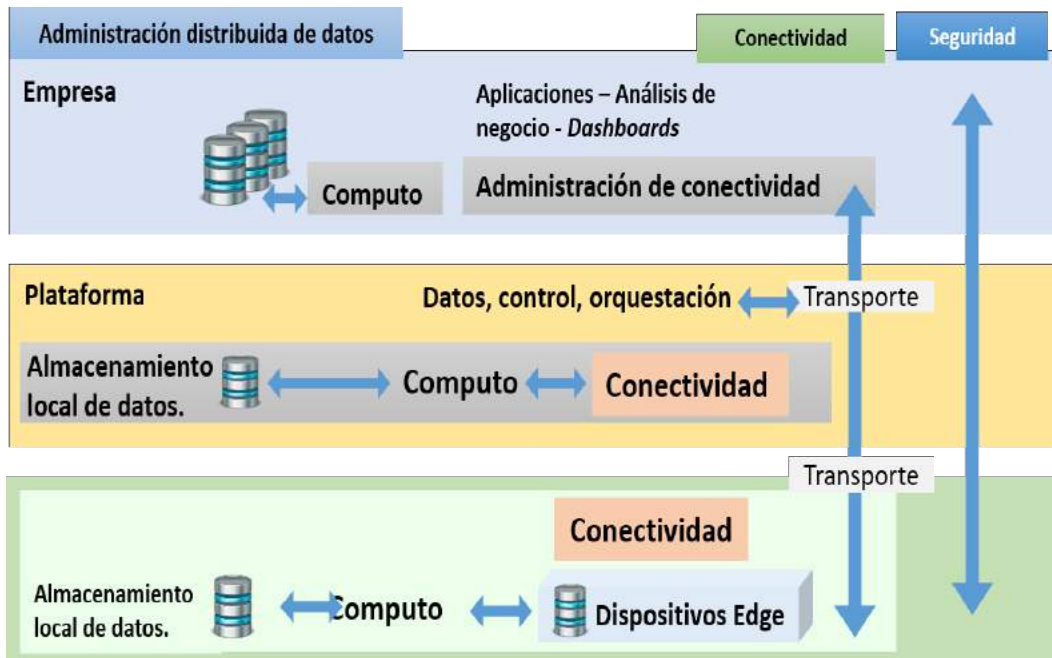


Figura 3. Arquitectura de Referencia Industrial Internet Consortium

- **Plataforma:** esta capa es responsable de procesar y enviar comandos de control desde la tercera capa Empresa a la capa Edge. Su función principal es agrupar los procesos y analizar los flujos de datos de la capa Edge y las capas superiores. Gestiona los dispositivos activos en la capa Edge para la consulta y análisis de datos a través de servicios de dominio.
- **Empresa:** Finalmente, esta capa alberga aplicaciones específicas como sistemas de soporte a la toma de decisiones, interfaces de usuario final o gestión de operaciones, entre otras. Esta capa genera comandos de control para ser enviados a las capas Plataforma y Borde y también recibe flujos de datos de ellas.

### 3.4. INTEL-SAP:

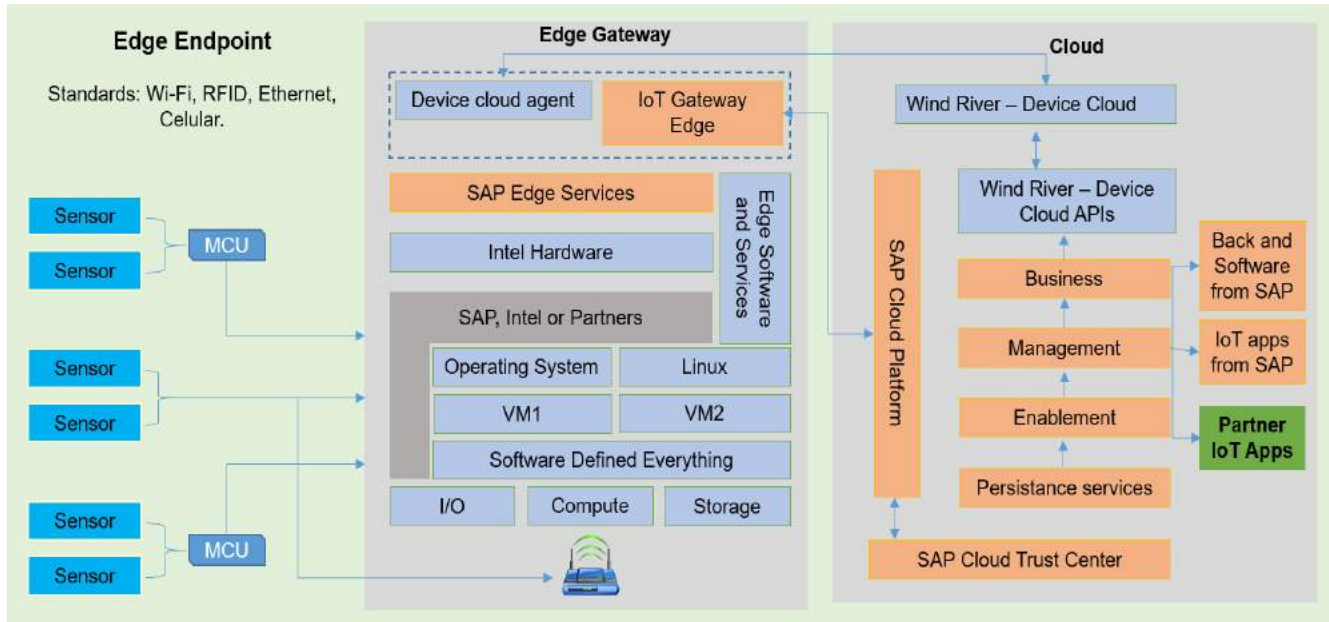
INTEL y SAP han desarrollado una arquitectura de referencia basada en Edge Computing. El principal objetivo de esta arquitectura es permitir el desarrollo rápido y escalable de proyectos de IoT. La Figura 4 muestra los bloques funcionales utilizados por esta RA. A continuación se muestra un resumen de estos bloques (arquitectura de referencia conjunta Intel-SAP) [5]:

- **Edge Endpoint:** Los módulos IoT-Edge de la arquitectura reciben mensajes enviados por dispositivos autorizados y envían mensajes desde la pasarela al servidor en la Nube. La INTEL-SAP RA

utiliza servicios de análisis de persistencia y *streaming* para el almacenamiento local de datos generados por sensores o dispositivos de IoT. Realiza el análisis de los flujos de datos del IoT en busca de excepciones y patrones que permitan la creación de eventos o alertas según el tipo de caso de uso.

- **Edge Gateway:** En esta arquitectura su *gateway* se autentica a través del certificado de dispositivo y establece una ruta de datos al proveedor de Cloud Computing. Aquí se completa la incorporación del dispositivo para establecer los flujos de control y ruta de datos. El dispositivo se enciende y se comunica con un agente en la nube de INTEL. Este agente proporciona la dirección IP y redirige el dispositivo al SAP Cloud Trust Center. Las aplicaciones en el *gateway* son alimentadas con los datos provenientes de los sensores conectados y éstos son enviados a través de protocolos soportados por la arquitectura.
- **Cloud:** En este bloque, el SAP Cloud Trust Center es responsable de verificar la firma de Intel EPID y la propiedad del dispositivo y luego registrarlos. Genera un certificado de autenticidad y mantiene actualizada la lista de dispositivos autorizados. Se establece la ruta de conectividad entre el dispositivo y la Nube. Los certificados generados se envían para la configuración de las publicaciones - suscripciones en el *gateway*. Una vez que los datos han sido enviados a los servicios

Cloud, se distribuyen a diferentes aplicaciones para su procesamiento y pueden ser enviados a aplicaciones back-end para su uso en otros procesos organizativos.



**Figura 4.** Arquitectura de Referencia INTEL-SAP

Las cuatro arquitecturas de referencia descritas en esta sección se basan en un modelo de tres capas para Edge Computing, que no sustituye a los servicios *cloud*, sino que los integra en el nivel final de la arquitectura. En los casos en que el volumen de datos es alto, los nodos Edge de estas RA son los primeros en procesar, controlar y reducir el volumen de datos transferidos a los servicios que se ejecutan en la Nube. De este modo, los nodos Edge reducen los requisitos de almacenamiento, reducen la latencia y proporcionan respuesta en tiempo real.

## Conclusiones

El crecimiento actual de las industrias es el resultado de la irrupción de nuevas tecnologías como sensores, dispositivos y objetos inteligentes, tabletas, teléfonos, computadoras y otros. Esto a su vez ha contribuido a un aumento en la cantidad y variedad de datos, llevando a las empresas a adoptar soluciones tecnológicas cuyas arquitecturas son más robustas, facilitando el acceso a los datos y visualizando los datos de múltiples sistemas conectados (inalámbricos o cableados). El objetivo de las industrias es reducir costos, agilizar los tiempos de acceso

y distribución, mejorar o implementar nuevos servicios y tecnologías que cumplan con los estándares de calidad, fiabilidad, supervisión y seguridad exigidos por un mercado cada vez más dinámico y competitivo.

En este trabajo se han revisado las arquitecturas de referencia más destacadas, propuestas por influyentes fabricantes de tecnología. Todas las RA presentadas se centran en el uso de Edge Computing como método para reforzar las capacidades de sus implementaciones de tecnología basada en la nube. Este campo de investigación ha sido impulsado de manera significativa por el desarrollo y la popularización de tendencias como el IoT y la comunicación máquina a máquina (*Machine to Machine Communication o MTC*) que promueven la generación de datos, una mayor independencia geográfica en el almacenamiento, la inmediatez en el acceso y nuevas formas de distribución y presentación.

Los autores han identificado un vacío en el desarrollo de las arquitecturas de referencia de Edge Computing aplicadas a otros escenarios diferentes a la Industria 4.0. Esto motiva como trabajo futuro el diseño de una nueva Arquitectura de Referencia de Edge Computing teniendo en cuenta las principales fortalezas de las cuatro

arquitecturas de referencia analizadas. Esta nueva arquitectura de referencia tendrá como objetivos principales lograr un análisis en tiempo real de los datos a nivel de dispositivos locales y nodos de borde y no en la nube; reducir los costos operativos y de gestión mediante la reducción del tráfico y la transferencia de datos entre el Edge y la nube; mejorar el rendimiento de la aplicación, ya que las aplicaciones que toleran la latencia pueden alcanzar niveles más bajos de latencia en los límites de la red, en comparación con la nube; y mejorar la seguridad a través de las tecnologías de cadena de bloques que se incorporan a la arquitectura desde las capas inferiores de IOT a las capas superiores de la nube.

### Agradecimiento

Inés Sittón-Candanedo, dispone de una beca del programa SENACYT – IFHARU, del Gobierno de la República de Panamá. Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto: “Virtual-Ledgers-Tecnologías DLT/Blockchain y Cripto-IOT sobre organizaciones virtuales de agentes ligeros y su aplicación en la eficiencia en el transporte de última milla”, ID SA267P18, proyecto cofinanciado por la Junta de Castilla y León, Consejería de Educación, and FEDER funds., Salamanca, España.

### Referencias

- [1] Nokia Solutions and Networks, “Increasing Mobile Operators’ Value Proposition With Edge Computing,” 2013.
- [2] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, “Edge Computing: Vision and Challenges,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016.
- [3] D. Evans, “The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything,” *CISCO white paper*, 2011. [Online]. Available: [http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf).
- [4] P. Garcia Lopez *et al.*, “Edge-centric Computing,” *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 45, no. 5, pp. 37–42, 2015.
- [5] INTEL-SAP, “IoT Joint Reference Architecture from Intel and SAP,” USA, 2018.
- [6] C. Edge Computing and A. of I. I. (AII), “Edge Computing Reference Architecture 2.0,” 2017.
- [7] M. Tseng, T. E. Canaran, and L. Canaran, “Introduction to Edge Computing in IIoT,” 2018.
- [8] ISO/IEC/IEEE 29148, “Systems and software engineering - engineering,” 2011.
- [9] R. S. Alonso, D. I. Tapia, J. Bajo, Ó. García, J. F. de Paz, and J. M. Corchado, “Implementing a hardware-embedded reactive agents platform based on a service-oriented architecture over heterogeneous wireless sensor networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 1, pp. 151–166, 2013.
- [10] M. Razzaque, M. Milojevic-Jevric, A. Palade, and S. Clarke, “Middleware for Internet of Things: a Survey,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 1, pp. 70–95, 2016.
- [11] Ó. García, R. S. Alonso, J. Prieto, and J. M. Corchado, “Energy {Efficiency} in {Public} {Buildings} through {Context}-{Aware} {Social} {Computing},” *Sensors*, vol. 17, no. 4, p. 826, 2017.
- [12] Q. Jing, A. V Vasilakos, J. Wan, J. Lu, and D. Qiu, “Security of the Internet of Things: perspectives and challenges,” *Wirel. Networks*, vol. 20, no. 8, pp. 2481–2501.
- [13] A. Brogi and S. Forti, “QoS-aware deployment of IoT applications through the fog,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1–8.
- [14] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao, “A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1125–1142, 2017.
- [15] W. Shi and D. Schahram, “The promise of Edge Computing,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 49, no. 18, pp. 78–81, 2016.
- [16] M. Satyanarayanan, “The Emergence of Edge Computing,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 50, no. 1, pp. 30–39, 2017.
- [17] Edge Computing Consortium and Alliance of Industrial Internet, “Edge Computing Reference Architecture 2.0.”
- [18] C.-W. Tseng, F.-H. Tseng, Y.-T. Yang, C.-C. Liu, and L.-D. Chou, “Task Scheduling for Edge Computing with Agile VNFs On-Demand Service Model toward 5G and beyond,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2018, 2018.
- [19] M. Isaja, J. Soldatos, and V. Gezer, “Combining Edge Computing and Blockchains for Flexibility and Performance in Industrial Automation,” *Int. Conf. Mob. Ubiquitous Comput. Syst. Serv. Technol.*, no. c, pp. 159–164, 2017.

- [20] M. Moghaddam, M. N. Cadavid, C. R. Kenley, and A. V. Deshmukh, "Reference architectures for smart manufacturing: A critical review," *J. Manuf. Syst.*, vol. 49, pp. 215–225, Oct. 2018.
- [21] ISO/IEC/IEEE 42010, "Systems and software engineering - engineering," 2011.
- [22] U. Van Heesch, P. Avgeriou, and R. Hilliard, "A documentation framework for architecture decisions," *J. Syst. Softw.*, vol. 85, no. 4, pp. 795–820, 2012.
- [23] P. FAR-EDGE, "FAR-EDGE Project H2020," 2017. [Online]. Available: <http://far-edge.eu/#/>.
- [24] M. A. Khan and K. Salah, "IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 82, pp. 395–411, May 2018.