
















## Integración de Arquitecturas Edge-Fog-Cloud en Procesamiento Distribuido. Aspectos de Eficiencia y Resiliencia

Armando De Giusti <sup>(1)(2)</sup> , Marcelo Naiouf<sup>(1)</sup> , Santiago Medina, Joaquín De Antueno<sup>(1)</sup>, Laura De Giusti<sup>(1)(3)</sup> , Julieta Lanciotti<sup>(1)</sup>, Fernando G. Tinetti <sup>(1)(3)</sup> , Franco Chichizola<sup>(1)</sup> , Enzo Rucci<sup>(1)(3)</sup> , Adrián Pousa<sup>(1)</sup> , Victoria Sanz <sup>(1)(3)</sup> , Diego Montezanti <sup>(1)</sup> , Diego Encinas <sup>(1)</sup> , Ismael Rodríguez<sup>(1)</sup> , Sebastián Rodríguez Eguren<sup>(1)</sup> , Juan Manuel Paniego<sup>(1)</sup> , Martín Pi Puig<sup>(1)</sup> , Leandro Libutti<sup>(1)</sup> , Manuel Costanzo <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI),  
Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata – Comisión de Investigaciones Científicas de la  
Provincia de Buenos Aires

<sup>2</sup>CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>3</sup>CICPBA – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

{degiusti, mnaouf, fernando, smedina, jdeantueno, ldgiusti, jlanciotti, fernando, francoch, erucci, apousa, vsanz, dmontezanti, dencinas, ismael, seguren, jmpaniego, mpipuig, llibutti, mcostanzo,}@lidi.info.unlp.edu.ar

### Resumen

El eje de esta línea de I/D lo constituye el estudio de la integración de arquitecturas distribuidas que van desde el nivel de los nodos sensores basados en microcontroladores (Edge Computing), pasando por una capa intermedia de preprocesamiento (Fog Computing) y finalmente la capa de procesamiento en la nube (Cloud Computing).

Los temas centrales son:

- Distribución equilibrada del procesamiento y almacenamiento de datos en cada nivel.
- Análisis de integridad y performance en las comunicaciones, según el grado de distribución del procesamiento.
- Migración de “inteligencia” al nivel “Edge” para reducir consumo y comunicaciones.
- Control de tolerancia a fallos de la arquitectura.
- Evaluación e integración de plataformas y servicios
- Desarrollo y evaluación de aplicaciones que integran niveles de procesamiento.
- Análisis de eficiencia en tiempo, consumo energético y comunicaciones.

**Palabras clave:** *Sistemas Distribuidos. Cloud Computing. Fog Computing. Edge Computing. IoT, Algoritmos distribuidos. Eficiencia.*

### Contexto

Se presenta una línea de Investigación que es parte del proyecto “Computación de Alto Desempeño: Arquitecturas, Algoritmos, Métricas de Rendimiento y Aplicaciones en HPC, Big Data, Robótica, Señales y Tiempo Real.” del III-LIDI y de proyectos específicos apoyados por organismos nacionales e internacionales. También del proyecto “Procesamiento Eficiente de Grandes Datos mediante Cómputo de Altas Prestaciones, Fog y Edge” financiado por la Facultad de Informática de la UNLP y el proyecto “Unidad Inteligente para Control de Consumo Energético” financiado por la Secretaría de Políticas Universitarias y la UNLP.

En el tema hay cooperación con varias Universidades de Argentina y se está trabajando con Universidades de América Latina y Europa en proyectos financiados por ERASMUS, CyTED y la OEI (Organización de Estados Iberoamericanos). En particular con el proyecto “Computación de Altas Prestaciones Eficiente y Segura para Aplicaciones de Servicios de Salud Inteligentes” de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Por otra parte, se tiene financiamiento de diferentes empresas de Argentina, en particular en la formación de recursos humanos en la temática de Cloud/Fog y Edge Computing.

Se participa en iniciativas como el Consorcio en temas de Cloud Computing-Big Data y Temas Emergentes, con Universidades de Argentina y España.

Asimismo, el III-LIDI forma parte del Sistema Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (SNCAD) del Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación.

## Introducción

El constante aumento de la cantidad de datos a procesar que generan los múltiples sensores “inteligentes” en la actualidad y la necesidad de tiempos de respuesta menores trae como consecuencia plantear nuevas arquitecturas que gestionen esa información.

La integración de capas de procesamiento y servicios, en lo que se denomina Edge y/o Fog Computing ha dado lugar a un nuevo modelo de arquitectura denominado “Edge-Fog Cloud Computing” [1] que trata de generar una serie de ventajas:

- Reducir el tráfico de comunicaciones, con un mayor procesamiento en los mismos nodos sensores o en una capa intermedia, anterior al Cloud.
- Reducir los tiempos de respuesta evitando la comunicación con el Cloud resolviendo en instancias anteriores.
- Resiliencia a fallos de comunicación o cortes de conexión.
- Capacidad de adaptar las instancias de procesamiento en función del contexto, incluyendo mayor procesamiento en los nodos sensores.

Este modelo de arquitectura trae nuevos desafíos, tales como [2], [3], [4], [5]:

- Administración de varios niveles de procesamiento y almacenamiento de datos heterogéneos que aseguren integridad al sistema.
- Definición de protocolos y mecanismos de interoperabilidad entre las diferentes capas de la arquitectura y los servicios en el Cloud.
- Desarrollo de estrategias para el control de fallos.

- Análisis de la distribución óptima de tareas en cada nivel, en función de mejorar los tiempos de respuesta.
- Análisis de estrategias para disminuir el consumo energético.
- Estudio e integración de diferentes plataformas, aplicaciones y servicios.
- Seguridad e integridad en los datos.
- Estudios de escalabilidad (no lineal) con el crecimiento de los sensores en la capa “Edge”.

## Cloud Computing

Cloud Computing, proporciona grandes conjuntos de recursos físicos y lógicos (como pueden ser infraestructura, plataformas de desarrollo, almacenamiento y/o aplicaciones), fácilmente accesibles y utilizables por medio de una interfaz de administración web, con un modelo de arquitectura “*virtualizada*” [6] [7]. Estos recursos son proporcionados como servicios (“*as a service*”) y pueden ser dinámicamente reconfigurados para adaptarse a una carga de trabajo variable (escalabilidad), logrando una mejor utilización y evitando el sobre o sub dimensionamiento (elasticidad) [8].

En nuestro modelo de procesamiento distribuido que integra desde sensores a la nube, Cloud Computing se reserva para el procesamiento centralizado de algoritmos complejos, con gran volumen de datos. Parte de estos datos podrán haber sido “preprocesados” en las capas “Edge” o “Fog”. [9] [10] [11] [12].

## Fog Computing

El modelo de Fog Computing surge como respuesta al crecimiento de los desarrollos relacionados con el Internet de las Cosas. Estos desarrollos requieren procesamiento en la nube, pero presentan características que hacen complejo su armado haciendo uso exclusivo de tecnologías de Cloud Computing. Fog Computing consiste entonces en una plataforma intermedia que provee procesamiento, almacenamiento y servicios de comunicación en red entre los dispositivos “Edge” que adquieren los datos en el modelo IoT. Las características de Fog Computing son

las de una capa intermedia orientada a [13] [14] [15]:

- Aplicaciones de tiempo real distribuidas.
- Gran número de nodos, que puede escalar dinámicamente.
- Heterogeneidad de los nodos.
- Movilidad.
- Red predominante de comunicaciones inalámbricas.
- Baja latencia y conocimiento de la ubicación.

### Edge Computing

El modelo de “Edge” computing está impuesto por el crecimiento exponencial del número de dispositivos sensores con inteligencia local disponibles. Internet “de las cosas” (IoT) crece y hoy hablamos de 50.000 millones de dispositivos conectados a Internet, con un tráfico del orden de 800 Zbytes. Se requiere entonces capacidad de procesamiento cerca de los sensores, integración de datos locales y geográficamente ubicados y posibilidad de pre procesar los mismos y enviarlos con un menor overhead de comunicaciones a las capa superiores (Fog o Cloud). [16] [17] [18] [19]. Las ventajas del modelo Edge son directas [20] [21] :

- Respuestas automáticas al usuario, en tiempo real, utilizando su capacidad local.
- Disminución del tráfico de datos.
- Mayor seguridad por el procesamiento local.
- Disminución del consumo energético, por las características de los componentes.
- Mejora de la eficiencia global para un sistema distribuido, débilmente acoplado.

### Aplicaciones de tiempo real.

Este nuevo modelo Edge-Fog Cloud Computing es especialmente aplicable a problemas de tiempo real (Cloud robotics, Vehículos autónomos, Monitoreos de salud personalizados, etc.), al permitir que las capas cercanas a los sensores y al usuario resuelvan en menor tiempo y con menor overhead de

comunicaciones, la respuesta “inmediata”, dejando para el Cloud el procesamiento de los datos masivos “off-line” (por ejemplo para ajustar/perfeccionar un modelo de comportamiento que luego se transforma en ajustes a los algoritmos en las capas Edge y Fog. [22] [23].

### Eficiencia energética

La mejora de la eficiencia energética es un tema central en la informática actual, principalmente a partir de las plataformas con gran cantidad de procesadores. Muchos esfuerzos están orientados a tratar la eficiencia energética como eje de I/D, como métrica de evaluación, y también a la necesidad de metodologías para medirla. En el caso del modelo Edge-Fog Cloud Computing, hay una mejora del consumo por dos efectos:

- Normalmente los procesadores de la capa “Edge” son de bajo consumo.
- Al bajar el tráfico de comunicaciones, también se baja el consumo energético asociado al mismo.

### Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

- Arquitecturas aplicables en Edge Computing. Modelos de referencia.
- Arquitecturas aplicables en Fog Computing. Modelos de referencia.
- Administración de recursos y datos en Edge y Fog computing. Integración de los mismos.
- Seguridad e integridad en los datos.
- Vinculación de las capas Edge y Fog con el Cloud. Servicios requeridos.
- Vinculación de las capas Edge y Fog con plataformas dedicadas al Internet de las Cosas.
- Estrategias de distribución óptima de procesamiento entre capas.
- Escalabilidad en aplicaciones Edge-Fog-Cloud.
- Migración de inteligencia al nivel Edge para reducir consumo y comunicaciones.
- Métricas de eficiencia considerando tiempo de respuesta / costo

comunicaciones / consumo energético / resiliencia.

- Desarrollo de diferentes nodos: nodos sensores, robots, drones, etc.
- Algoritmos colaborativos en tiempo real integrando las tres capas.
- Aplicaciones: sistemas inteligentes distribuidos para reducir el consumo energético.

## Resultados y Objetivos

### Investigación experimental por realizar

- Análisis comparativo de tecnologías y plataformas empleadas en Edge/Fog Computing.
- Análisis comparativo de los servicios para arquitecturas Edge y Fog.
- Estudio de protocolos de comunicación con el Cloud, desde el nivel de Edge y/o Fog.
- Análisis de integridad y performance en comunicaciones de larga y corta distancia, en función del escalado de la arquitectura de sensores.
- Estudios de consumo energético en aplicaciones de Edge/Fog/Cloud.
- Estudio comparativo de la distribución de carga de procesamiento en aplicaciones distribuidas (en particular de tiempo real).
- Integración de aplicaciones móviles y relación entre las capas Edge y Fog.
- Análisis de estrategias para el control de fallos en las diferentes capas de la arquitectura.
- Aplicaciones: robots / drones colaborativos trabajando en comunicación con una capa Fog y con el Cloud.
- Aplicaciones: Sistema de tableros inteligentes para optimización de consumo energético en edificios distribuidos.

### Resultados obtenidos

- Se han configurado, desplegado y analizado plataformas orientadas a la gestión de recursos en Edge y Fog Computing.

- Se han realizado comparaciones entre diferentes tipos de servicios para la integración con el Cloud.
- Se han estudiado protocolos y tráfico de comunicaciones en aplicaciones distribuidas en tiempo real que requieren interactuar con el Cloud.
- Se desarrolló un modelo de tablero inteligente para reducción del consumo y su integración con la capa Fog y comunicación con la nube.
- Se está estudiando el tema de consumo distribuido, en el caso de los tableros inteligentes, de los robots distribuidos y del trabajo con drones.

### Organización de Eventos

En el año 2021 se han organizado las IX Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (JCC-BD&ET 2021) en Argentina, con participación de especialistas académicos del país y del exterior y de empresas con experiencia en Cloud Computing. En junio de 2022 se organizarán las X JCC-BD&ET.

### Formación de Recursos Humanos

Dentro de la temática de la línea de I/D están en curso 3 Tesis de Maestría.

Asimismo se desarrollaron 2 trabajos finales de alumnos.

Además, se participa en el dictado de las carreras de Doctorado en Ciencias Informáticas, y Magíster y Especialización en Cómputo de Altas Prestaciones de la Facultad de Informática de la UNLP (acreditadas por CONEAU), por lo que potencialmente pueden generarse Tesis de Doctorado y Maestría y Trabajos Finales de Especialización.

Existe cooperación con grupos de otras Universidades del país y del exterior con posibilidad de realizar Tesis en colaboración.

Respecto a las carreras de grado, se dictan por parte de integrantes de la línea de investigación dos asignaturas directamente relacionadas con los temas de la misma: "Cloud Computing y Cloud Robotics" y "Conceptos y Aplicaciones en Big Data".



Asimismo, todos los años se desarrollan proyectos con alumnos, relacionados básicamente con aplicaciones de tiempo real con robots y drones.

## Referencias

- [1] Mohan N., Kangasharju J. "Edge-Fog Cloud: A Distributed Cloud for Internet of Things Computations", 2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT), Paris, France, 2016, pp. 1-6.
- [2] P. Garcia Lopez et al. "Edge-centric computing: Vision and challenges," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 45, no. 5, pp. 37–42, Sep. 2015.
- [3] M. Yannuzzi et al. "Key ingredients in an iot recipe: Fog computing, cloud computing, and more fog computing," in *IEEE CAMAD*, 2014.
- [4] K. Hong et al. "Mobile fog: A programming model for large-scale applications on the internet of things," in *ACM SIGCOMM Workshop on Mobile Cloud Computing*, 2013.
- [5] A. Chandra, J. Weissman, and B. Heintz, "Decentralized edge clouds," *Internet Computing, IEEE*, vol. 17, no. 5, pp. 70–73, Sept 2013.
- [6] E. Rucci, M. Naiouf, F. Chichizola, and L. De Giusti "Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. 8th Conference, JCC-BD&ET 2020, La Plata, Argentina, September 8-10, 2020, Proceedings". Springer CCIS, ISBN: 978-3-030-61218-4, 2020.
- [7] Xing, Y., Zhan, Y.: "Virtualization and Cloud Computing". In: Proceedings pp.305-312, Springer Link. ISBN 978-3-642-27323-0. (2012). Morgan Kaufmann. 2013.
- [8] Velte, A.T., Velte, T.J., Elsenpeter, R.: "Cloud Computing: A Practical Approach". McGraw Hill Professional. 2009.
- [9] Ashkan Yousefpour, Caleb Fung, Tam Nguyen, Krishna Kadiyala, Fatemeh Jalali, Amirreza Niakanlahiji, Jian Kong, Jason P. Jue. "All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey", *Journal of Systems Architecture*, Volume 98, 2019, Pages 289-330, ISSN 1383-7621, <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.02.009>.
- [10] Pi Puig M. et al. (2019) Intelligent Distributed System for Energy Efficient Control. In: Naiouf M., Chichizola F., Rucci E. (eds) *Cloud Computing and Big Data. JCC&BD 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1050. Springer, Cham
- [11] Keyan Cao, Yefan Liu, Gongjie Meng, Quimeng Sun "An Overview on Edge Computing Research" in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 85714-85728, 2020.
- [12] W. S. Shi, X. Z. Zhang, and Y. F. Wang, "Edge computing: State-of-the-art and future directions," *J. Comput. Res. Develop.*, vol. 56, no. 1, pp. 1\_21, 2019.
- [13] X. Hong and Y. Wang, "Edge computing technology: Development and countermeasures," *Chin. J. Eng. Sci.*, vol. 20, no. 2, p. 20, 2018.
- [14] D. Evans. "The Internet of Things How The Next Evolution of the Internet is Changing Everything". Available: <https://www.researchgate.net/publication/30612290>
- [15] M. Satyanarayanan, "The emergence of edge computing," *Computer*, vol. 50, no. 1, pp. 30\_39, Jan. 2017.
- [16] Y. Q. Gao, H. Bguan, and Z. W. Qi, "Service level agreement based energy-Efficient resource man agreement in cloud data centers," *Comput. Elect. Eng.*, vol. 40, no. 5, pp. 1621\_1633, 2014.
- [17] W. Shi, H. Sun, J. Cao, Q. Zhang, and W. Liu, "Edge computing-an emerging computing model for the Internet of everything era," *J. Comput. Res. Develop.*, vol. 54, no. 5, pp. 907\_924, May 2017.
- [18] J. de Antueno, S. Medina, L. De Giusti and A. De Giusti, "Analysis, Deployment and Integration of Platforms for Fog Computing", *Journal of Computer Science and Technology*, 20(2), e12, October 2020.
- [19] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu and S. Addepalli, "Fog Computing and Its Role in the Internet of Things", in *MCC '12: Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States*, 2012.
- [20] M. Asemmani, F. Jabbari, F. Abdollahei and P. Bellavista, "A Comprehensive Fog-enabled Architecture for IoT Platforms", *High-Performance Computing and Big Data Analysis. TopHPC 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 891. Springer, Cham*, 2019.
- [21] W. S. Aung and S. Aung Nyein Oo, "Monitoring and Controlling Device for Smart Greenhouse by using Thinger.io IoT Server". *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 2019.
- [22] Dr. S. K. Selvaperumal, W. Al-Gumaei, R. Abdulla and V. Thiruchelvam, "Integrated Wireless Monitoring System Using LoRa and Node-Red for University Building". *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, Volume 16, Number 8, American Scientific Publishers*, 2019.
- [23] M. Pi Puig, J. M. Paniego, S. Medina, S. Rodriguez Eguren, L. Libutti, J. Lanciotti, J. de Antueno, C. Estrebuou, F. Chichizola and L. De Giusti, "Intelligent Distributed System for Energy Efficient Control", *Cloud Computing and Big Data. JCC&BD 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1050. Springer, Cham*, 2019.