

# Edge Computing vs Cloud Computing: Optimizando el Consumo energético

Armando De Giusti <sup>(1)</sup> , Diego Montezanti <sup>(1)</sup> , Santiago Medina <sup>(1)</sup> ,  
Leandro Libutti <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

{degiusti, dmontezanti,  
smedina, llibutti}@lidi.info.unlp.edu.ar

**Resumen.** En este artículo, se plantea una línea de investigación orientada a la optimización del consumo energético en sistemas distribuidos que incluyen una capa *Edge*, con capacidad de procesamiento local, vinculada con el *Cloud* donde se integra información ya procesada o se realiza cómputo de mayor complejidad. Debido al constante crecimiento de los sistemas de IoT basados en redes de sensores inalámbricas (WSN's) conectadas con servidores en la nube, este problema es de gran actualidad. El trabajo analiza los principales factores que componen el consumo energético y su peso relativo, y define una primera métrica que permite predecir el consumo de estos sistemas, buscando su optimización. Por último, se discute brevemente el impacto del consumo de este tipo de sistemas en la huella de carbono.

**Keywords:** Edge Computing, Cloud Computing, IoT, Consumo Energético

## 1 Introducción

### 1.1 Importancia creciente de la computación en el borde (Edge Computing)

En los últimos años ha habido una expansión del empleo de las redes de sensores inalámbricas (*Wireless Sensor Networks* - WSN's) en aplicaciones de IoT distribuidas. Estos nodos sensores, basados mayormente en microcontroladores, cuentan con una capacidad de procesamiento creciente, dando origen al paradigma denominado "computación en el borde" (*Edge Computing*) [1] [2] [3]. El campo de las aplicaciones va en aumento, abarcando desde la industria de procesos hasta las ciudades inteligentes, pasando por áreas como el agro, la salud o la educación [4] [5] [6]. Por otro lado, la incorporación de algoritmos inteligentes en la capa de *Edge* es una línea de investigación relevante en la actualidad [7] [8].

La expansión de los dispositivos de *Edge* se produce simultáneamente a la penetración de las comunicaciones 4G y 5G en la interconexión entre los nodos sensores y en el intercambio de datos con servidores cercanos (nivel *Fog*) o vinculados vía Internet (nivel *Cloud*). Todo esto tiene un impacto directo en la energía demandada por los niveles de *Edge*, de *Cloud* y por las comunicaciones entre ellos [9] [10] [11].

## 1.2 Escalabilidad de los sistemas de *Edge Computing*

Parte de la fundamentación para el fuerte crecimiento de los sistemas distribuidos de *Edge Computing* [11] se encuentra en el reporte de *Fortune Business Insights* [12], donde se indica que el mercado global relacionado con *Edge Computing* representó USD 15.96 billones en 2023, y se proyecta que crezca de USD 21.41 billones en 2024 a USD 216.76 billones en 2032, mostrando una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) de 33.6% durante este período.

Según este reporte, los campos de aplicación del *Edge Computing* se pueden segmentar en:

- Aplicaciones IoT (28%)
- Monitoreo remoto (25%)
- Mantenimiento preventivo (22%)
- Robótica y Automatización (14%)
- Otras aplicaciones (Ciudades y Casas inteligentes, analítica de video, etc.) 12%

Una parte de la relevancia que ha cobrado la computación en el borde reside en el empleo de algoritmos de Inteligencia Artificial para predecir y mejorar el rendimiento de aplicaciones [13] [14]. Sin embargo, este crecimiento se refleja en el consumo energético, obligando a un esfuerzo por optimizar la distribución de procesamiento entre la capa *Edge* y la capa *Cloud*, así como también para reducir las comunicaciones entre ambos niveles y dentro del mismo nivel.

## 1.3 Consumo energético de *Edge Computing* en el área TICs

En la actualidad, entre el 8 % y el 10% del consumo energético global está asociado con las TICs (representando unos 2000 TWh). Este porcentaje viene creciendo en los últimos 10 años, duplicando el 4.5% que representaba en 2010 [15] [16].

Como se sugiere en la Figura 1, un factor importante en la demanda de energía viene dado por la combinación de *Edge Computing*, *Cloud Computing* y las comunicaciones entre ellas. Si se toman en cuenta únicamente las aplicaciones industriales, el consumo energético a nivel de *Edge* es cada vez más significativo, debido al crecimiento del número de sensores, su capacidad de procesamiento en tiempo real y sus constantes comunicaciones a través de la red. A esto se le agrega la necesidad de comunicar los procesadores de la capa *Edge* con los niveles superiores (servidores locales y/o el *Cloud*). Estas comunicaciones inciden significativamente en el consumo energético, debido a la transmisión y recepción permanentes de información, con el agregado de ciertos niveles de redundancia para corregir fallos o incrementar la seguridad de los datos [17].

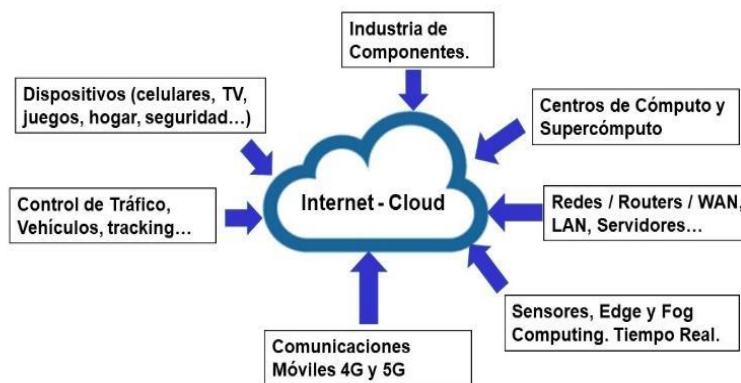


Fig 1: Factores de consumo energético en el área TIC.

#### 1.4 Consumo energético en los servidores de la capa *Cloud*

La eficacia en el uso de la energía (PUE: *Power Usage Effectiveness*) es una métrica que se utiliza para determinar la eficiencia energética de un centro de datos. El PUE se obtiene como el cociente entre la cantidad total de energía que ingresa a un centro de datos y la energía utilizada para que los equipos de TI que contiene realicen tareas en beneficio de las aplicaciones; como parte de la energía entrante se consume en (por ejemplo) mantenimiento del sistema, el PUE es siempre mayor a 1. En teoría, es posible obtener el PUE específico de una aplicación que se ejecuta en un servidor dedicado. Sin embargo, cuanto mayor es la complejidad del servidor/centro de datos, la determinación del PUE resulta más difícil debido a la gestión dinámica de recursos que puede hacer el sistema operativo.

El valor del PUE ha registrado una caída constante (acercándose a 1) durante la última década, lo cual indica que la energía se utiliza más eficientemente. Sin embargo, en términos absolutos el consumo general de los centros de datos ha aumentado de la mano de la expansión de las instalaciones. Uno de los aspectos que influye en el valor del PUE es el consumo energético “de base” que requieren los procesadores del servidor/centro de datos que no está siendo empleados en un momento determinado. La reducción de este consumo es un objetivo que se persigue mediante la optimización en la gestión de las máquinas virtuales que se activan/apagan en un servidor en la nube [16].

Informes recientes [16] indican que una gestión eficiente de los equipos existentes dentro de los centros de datos (incluyendo su reparación y actualización correcta y planificada), puede aumentar significativamente la eficiencia energética general de una instalación, con mejoras de hasta el 50%.

Por otra parte, se debe considerar el impacto de la fuente del suministro eléctrico de los centros de datos en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, los centros de datos alimentados con energía hidroeléctrica o nuclear presentan emisiones de CO<sub>2</sub> de órdenes de magnitud menores de que las de instalaciones similares alimentadas con electricidad obtenida en base a combustibles fósiles [18].

## 2 Objetivos de Investigación

En el contexto descrito, esta línea propone los siguientes objetivos de investigación:

- Estudiar el consumo energético en sistemas distribuidos de tiempo real, en los que existe procesamiento a nivel *Edge* y a nivel *Cloud*, en la búsqueda del balance óptimo de la distribución del procesamiento desde el punto de vista energético. Como estudios preliminares, se han realizado algunos trabajos con pequeños sistemas de tiempo real, comunicados con la nube [17].
- Considerar la incidencia de las comunicaciones en el análisis el consumo energético. En particular, caracterizar el consumo en función del tráfico y de las tecnologías empleadas. En relación con esto, se ha estudiado el volumen de comunicaciones y cómo escala en función de la cantidad de sensores que se comunican en tiempo real. Además, se han considerado las ventajas y desventajas de utilizar una capa intermedia con servidores locales (*Fog*) para reducir el tráfico de datos a la nube [17].
- Definir una métrica integral, que extienda el PUE a sistemas con niveles de *Edge*, *Cloud* y comunicaciones entre ellos. Para cumplir con este importante objetivo central, se considera definir el valor de PUE-DS (*PUE-Distributed System*), relacionado con sistemas distribuidos de bajo acoplamiento como los conformados por redes de sensores locales, comunicaciones dentro de la red local, comunicaciones vía internet a la nube y procesamiento en el *Cloud*. Se busca optimizar la eficiencia del sistema integral, (PUE-DS con valor cercano a 1), pero a la vez minimizar el valor de energía consumida.
- Estimar la huella de carbono producida por el sistema integrado *Edge-Cloud*, mediante la consideración de datos técnicos sobre el origen del suministro eléctrico en cada nivel. Esto es posible si se conoce la fuente de suministro energético que alimenta cada nivel del sistema y los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a cada clase de generación eléctrica.
- Esto es simple, cuando conocemos la fuente de generación energética que alimenta cada nivel del sistema *Edge-Cloud* y tiene diferencias significativas según la contribución de CO<sub>2</sub> de cada tipo de generación eléctrica.

## 3 Desarrollos/Experimentación a realizar

Para cumplir con los objetivos planteados, se propone llevar a cabo el siguiente trabajo experimental:

- Implementar casos concretos, como robots o pequeñas redes de sensores, que comunican la capa *Edge* con el *Cloud*, midiendo consumo eléctrico para diferentes esquemas de distribución de la carga de procesamiento entre ambas capas. Se ha avanzado en algunas de estas implementaciones en los últimos años [19].
- Medir el consumo representado por el flujo de paquetes de datos que se comunican entre las capas de *Edge* y *Cloud*.
- Estimar el consumo en la nube, en base al tiempo de procesamiento de la aplicación específica. En principio, se puede trabajar con un *Cloud* privado, para garantizar que el consumo proviene de un servidor conocidos que puede monitoreado con certeza.
- Validar la definición de la fórmula de PUE-DS, en base a las mediciones realizadas, y analizar la variación de la eficiencia energética en función de la distribución del procesamiento y del flujo de comunicaciones.
- Analizar el origen del suministro eléctrico en cada nivel, para obtener una estimación de la huella de carbono que produce el sistema integrado *Edge-Cloud* para diferentes aplicaciones.

## 4 Conclusiones

En los últimos años, se ha vuelto significativo el problema del consumo energético derivado del crecimiento de las aplicaciones TIC, en particular en sistemas distribuidos que utilizan la capa *Edge* para realizar procesamiento en tiempo real.

Este trabajo apunta a impulsar una línea de investigación (y posibles trabajos de Tesis de Postgrado) sobre esta temática, considerando especialmente su relevancia en el ámbito industrial en Argentina y en el mundo.

Se espera que la definición y las pruebas de una métrica de eficiencia energética para sistemas de este tipo produzcan como resultado directo la estimación de la huella de carbono que el sistema genera.

## Referencias bibliográficas

1. P. Lea, "IoT and Edge Computing for Architects: Implementing edge and IoT systems from sensors to clouds with communication systems, analytics, and security". Packt Publishing, 2020.
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. 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.
4. Keyan Cao, Yefan Liu, Gongjie Meng, Quimeng Sun "An Overview on Edge Computing Research" in IEEE Access, vol. 8, pp. 85714-85728, 2020
5. Abbas, Assad, Khan, Konal. "Edge Computing: Extending the Cloud to the Edge of the Network". 2023. <https://www.researchgate.net/publication/372826188>

6. Jorge Pérez, Jessica Díaz, Javier Berrocal, Ramón López-Viana, Ángel González-Prieto. "Edge computing A grounded theory study" Springer. *Computing* (2022) 104:2711–2747 <https://doi.org/10.1007/s00607-022-01104-2>
7. Armando De Giusti et al "Arquitecturas Multiprocesador en HPC: Aspectos de Portabilidad, Resiliencia y Eficiencia Energética" Proceedings del XXVI Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación. Puerto Madryn. Argentina. Abril 2024.
8. Armando De Giusti et al "Procesamiento Distribuido: Cloud, Fog y Edge Computing. Aplicaciones en Tiempo Real". Proceedings del XXVI Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación. Puerto Madryn. Argentina. Abril 2024.
9. Zhike Lv, Wangxin Liu, Ting XuSalam Hamdan, Moussa Ayyash, Sufyan Almajali "Evaluating the impact of information and communication technology on renewable energy consumption: A spatial econometric approach" Elsevier. *Renewable Energy*. Volume 189, April 2022, Pages 1-12.
10. E. Gelenbe, J. Domanska, P. Fröhlich, M. P. Nowak and S. Nowak. "Self-Aware Networks that Optimize Security, QoS, and Energy" Proceedings of the IEEE, vol. 108, no. 7, pp. 1150-1167, July 2020.
11. Salam Hamdan, Moussa Ayyash, Sufyan Almajali "Edge-Computing Architectures for Internet of Things Applications: A Survey" *Sensors* 2020, 20(22), 6441; <https://doi.org/10.3390/s20226441>.
12. Edge Computing Market Size, Share & Industry Analysis, By Component (Hardware, Application/Software, Edge Cloud Infrastructure, Services, and Network), By Enterprise Type (Small & Medium Enterprises and Large Enterprises), By Application (IoT Applications, Robotics & Automation, Predictive Maintenance, Remote Monitoring, Smart Cities, and Others), By Industry (Manufacturing, Oil & Gas, BFSI, Healthcare, Retail, IT & Telecom, Automotive, and Others), and Regional Forecast, 2024 – 2032, Online: <https://www.fortunebusinessinsights.com/edge-computing-market-103760>
13. Bourechak , A.; Zedadra, O.; Kouahla, M.N.; Guerrieri, A.; Seridi, H.; Fortino, G. "At the Confluence of Artificial Intelligence and Edge Computing in IoT-Based Applications: A Review and New Perspectives." *Sensors* 2023, 23, 1639. <https://doi.org/10.3390/s23031639>
14. Haochen Hua, Yutong Li, TongheWang, Nanqing Dong,Wei Li, and Junwei Cao. "Edge Computing with Artificial Intelligence: A Machine Learning Perspective". *ACM Comput. Surv.* 55, 9, Article 184 (January 2023), 35 pages.
15. Armando De Giusti. "Descarbonización y cero emisiones en el área TIC" *Revista INGENIUM – Mayo 2024* Pag. 61-73. Academia de Ingeniería de la Provincia de Bs. As.
16. International Council of Academis of Engineering and Technological Sciences (CAETs) "Towards Low-GHG Emissions From Energy Uses in selected Sectors" CAETs Report Jan. 2023. <https://www.newcaets.org/statements-reports/caets-reports/>
17. Medina, S., Montezanti, D., Gómez D’Orazio, L., Garay, F., De Giusti, A., & Naiouf, M. (2023, June). Distributed Architectures Based on Edge Computing, Fog Computing and End Devices: A Conceptual Review Incorporating Resilience Aspects. In *Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics* (pp. 31-44). Cham: Springer Nature Switzerland.
18. G. Kamiya. "Data Centers and Data Transmission Networks" International EnergyAgency, Paris, June 2020 <https://www.iea.org/reports/data-centers-and-data-transmission-networks>.
19. Pi Puig, M., Paniego, J. M., Medina, S., Rodríguez Eguren, S., Libutti, L., Lanciotti, J. & De Giusti, L. (2019). Intelligent Distributed System for Energy Efficient Control. In *Cloud Computing and Big Data: 7th Conference, JCC&BD 2019, La Plata, Buenos Aires, Argentina, June 24–28, 2019, Revised Selected Papers 7* (pp. 51-60). Springer International Publishing.