

Un acercamiento a *fog computing*

DOI: 10.29236/sistemas.n156a7

Conceptos claves, ventajas y principales desafíos

Resumen

Los sensores y otros dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) generan voluminosos, variados y veloces datos primarios que pueden incluir ruido, irrelevancia y poca sensibilidad al contexto, además de crearse, con bastante frecuencia, con una alta distribución geográfica. La transferencia de tales datos directamente a la nube genera incremento de errores, pérdida de datos y alta probabilidad de congestión de tráfico en la red, además de un gasto considerable de recursos, sin una ganancia asociada. Con el fin de disminuir la latencia y el tráfico innecesario de datos en Internet, mediante el aprovechamiento de recursos distribuidos geográficamente más cerca de la fuente, surge el paradigma *Fog computing*, conformando un ecosistema *IoT-Fog-Cloud*. El presente artículo ofrece un acercamiento conceptual a *fog computing*, expone sus ventajas y los tipos de aplicaciones IoT para las cuales es más apropiado su uso. Finalmente, se resumen los desafíos más importantes asociados a tal enfoque emergente.

Palabras claves:

fog computing, IoT, *edge computing*, desafíos tecnológicos

Introducción

Mientras la computación en la nube ha sido una tecnología habilitadora clave para Internet de las Cosas (IoT), el crecimiento exponencial de los datos generados que ya alcanzan varias decenas de miles de millones de sensores y actuadores, está estresando las infraestructuras actuales basadas en la nube, al tratar de satisfacer los niveles tradicionales de calidad de servicios (QoS).

Para lidiar con esta problemática, surge un nuevo paradigma de computación que fuera acuñado por Cisco en 2012 como *fog computing* (Bonomi, Milito, Zhu, & Addepalli, 2012), computación en la niebla (en castellano). Con el fin de disminuir la latencia y el tráfico innecesario de datos en Internet, mediante el aprovechamiento de recursos distribuidos geográficamente más cerca de la fuente, este paradigma complementa a la computación en la nube, sirviendo de capa entre los dispositivos de IoT y la nube (Tárrano, Delgado, & Pérez, 2018), (Buyya & Narayana-Srirama, 2019).

El presente artículo está encaminado a ofrecer un acercamiento conceptual a *fog computing*, exponer sus ventajas y los tipos de aplicaciones IoT para las cuales es más apropiado su uso. Finalmente, se resumen los desafíos más importantes asociados a tal enfoque emergente.

Breve bosquejo teórico sobre *fog computing*

Existe cierta confusión entre computación en el borde (*edge*), la niebla (*fog*), los llamados *cloudlets*, entre otros términos; todos ellos, derivados del paradigma computación en la nube (*cloud computing*).

Muy brevemente se explicarán a continuación algunos rasgos de las definiciones de varios de estos términos (Heck, Edinger, Schäfer, & Becker, 2018), con el empleo de la terminología original en inglés para evitar nuevas interpretaciones o ambigüedades en sus significados:

- *Cloudlets*: Son frecuentemente referidos como “centro de datos en una caja”. Constituyen por lo general computadoras potentes o clusters de computadoras que están bien conectados a Internet y localizados en una ubicación fija en el borde de la red. Exhiben ciertas limitaciones respecto a la niebla, por el hecho que son típicamente accedidos sobre Wi-Fi (aunque más recientemente se acceden sobre redes móviles) y no interactúan con la nube, meramente ofrecen recursos cercanos a los dispositivos IoT. En la actualidad se han extendido algunos marcos de arquitecturas de tres capas para los *cloudlets* que se interconectan con la nube, actuando como nodos niebla (*fog nodes*).

- *Fog computing*: Se define como una plataforma altamente virtualizada que provee computación, almacenamiento y servicios de red entre los dispositivos del usuario (IoT), al ubicarse cerca de ellos, y los centros de datos basados en computación en la nube. La arquitectura de tres capas de *fog computing* se abordará próximamente en la descripción de la arquitectura de referencia.
- *Edge computing*: A diferencia de la computación en la niebla, *edge computing* o computación en el borde se enfoca más en la cooperación entre dispositivos conectados de IoT, sin involucrar otros recursos de la red más poderosos, y no interactúan con la nube. Muchas veces se ubica su funcionalidad en los *gateways*

que conectan los sensores y/o actuadores.

- *Mobile Edge Computing (MEC)*: Limitado a las redes móviles, puede ser considerado un caso de *fog computing*, con interoperabilidad comprometida. Los servidores MEC proveen servicios de tecnología de información y servicios de virtualización típicamente dentro del radio de acceso de la red y en la proximidad cercana a dispositivos móviles y sensores conectados.

En la tabla 1 se resumen las características de cada uno de estos conceptos en el marco del paradigma *fog-edge computing*, atendiendo a la taxonomía de parámetros de desempeño propuesta por (Heck, Edinger, Schäfer, & Becker, 2018).

Tabla 1. Taxonomía de desempeño del paradigma *fog-edge computing*- adaptada de (Heck, Edinger, Schäfer, & Becker, 2018).

	MCC Cloudlets	Fog Computing	Edge Computing	MEC Edge Computing	Mobile Edge Computing
fiabilidad	limitada	Sí	limitada	Sí	
baja latencia	Sí	Sí	Sí	Sí	
sensibilidad al contexto	limitada	Sí	Sí	Sí	
geo-distribución	No	Sí	Sí	Sí	
soporte movilidad	No	Sí	Sí	Sí	
escalabilidad	No	Sí	limitada	Sí	
interoperabilidad	No	Sí	Sí	limitada	
eficiencia de energía	Sí	Sí	Sí	Sí	
ahorro de ancho de banda	Sí	Sí	Sí	Sí	

Se aprecia en la tabla 1 que todos los tipos de tecnologías del ecosistema *fog-edge* evaluadas cumplen los parámetros de baja latencia, eficiencia energética y ahorro de ancho de banda, que las distinguen de la computación en la nube; sin embargo, sólo el paradigma *fog computing* cumple plenamente todos los restantes parámetros de desempeño en su conjunto.

Más adelante se amplían las ventajas del mismo.

Arquitectura de referencia de fog computing - OpenFog

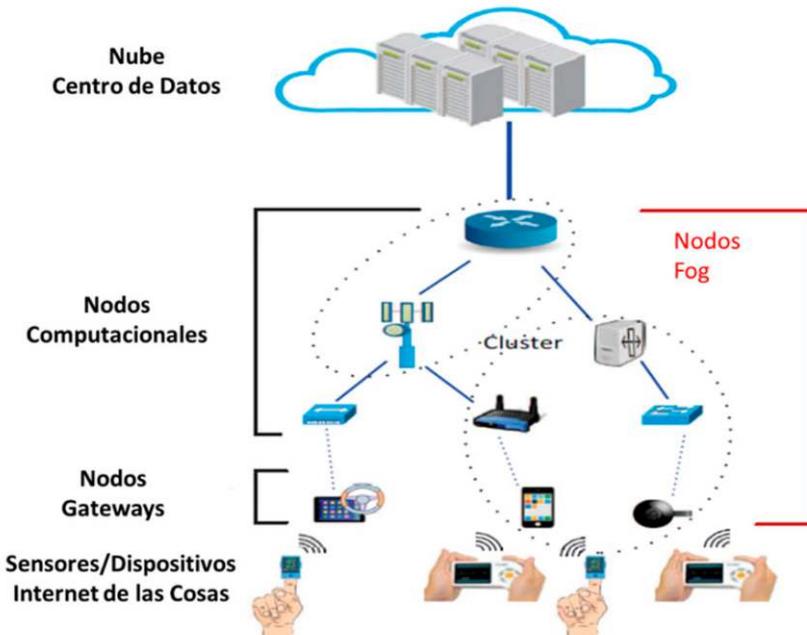
Las arquitecturas de la niebla muestran selectivamente la computación, el almacenamiento, la comunicación, el control y la toma de

decisiones más cerca del borde de la red, donde los datos están siendo generados, con vistas a resolver las limitaciones de las actuales infraestructuras para habilitar casos de uso de densidad de datos y misiones críticas (IEEE Standards Association, 2018).

Según el Consorcio *OpenFog* los pilares claves de la arquitectura de *fog computing* son: (1) seguridad, (2) escalabilidad, (3) apertura, (4) autonomía, (5) fiabilidad, disponibilidad y capacidad de ofrecer servicios, (6) agilidad, (7) jerarquía, (8) capacidad de programación.

Los nodos de niebla se distribuyen en niveles jerárquicos, como se muestra en la figura 1. Un nodo *fog*

Figura 1: Ambiente general de computación en la niebla - adaptado de (Mahmud, Koch, & Buyya, 2018)



puede ser equipado con un núcleo de procesamiento, memoria, almacenamiento y ancho de banda (Mahmud, Koch, & Buyya, 2018).

Estos recursos pueden ser virtualizados y compartidos en la forma de micro instancias de computación (MCI). El nivel inferior de los nodos niebla reside muy cerca de los dispositivos IoT y usualmente ofrece interfaces de las aplicaciones asociadas. Todos los nodos niebla no están activos al mismo tiempo, lo que asegura un uso eficiente de la energía y un nivel de escalabilidad selectivo.

Ventajas del paradigma de computación en la niebla

El modelo *fog computing* consigue reducir el tráfico en la red, al brindar una plataforma para el filtrado y análisis de los datos generados por los sensores, utilizando recursos de los dispositivos que están en el propio borde de la red (*edge*). Como se ha mencionado anteriormente, una característica inherente a la computación en la niebla es la reducción de la latencia, especialmente útil para aplicaciones que requieren procesamiento en tiempo real. En (Hu et al, 2017) se ofrecen otras ventajas de este paradigma en relación con la sensibilidad a la ubicación, la distribución geográfica, el bajo consumo de energía, y la seguridad y protección de la privacidad. La computación en la niebla soporta las demandas de la movilidad basada en la ubicación y facilita a los administradores el con-

trol de dónde los usuarios y dispositivos móviles se encuentran y cómo acceden a la información.

Tales ventajas hacen particularmente apropiado el paradigma de computación en la niebla o *fog computing* para la gestión de datos provenientes de IoT, con mayor pertinencia en aquellas aplicaciones que no requieran un uso intensivo de recursos de procesamiento y/o almacenamiento, en cuyo caso la nube sigue siendo la más adecuada.

Tipos de aplicaciones beneficiarias de *fog computing*

De acuerdo a (Bakhtyan & Zahary, 2018) y considerando las ventajas discutidas, un enfoque de *fog computing* podría beneficiar a los tipos de aplicación siguientes:

- Aplicaciones que tienen requerimientos estrictos de latencia, tales como juegos de móviles, videoconferencia, etc.
- Aplicaciones geo-distribuidas donde los datos tienen una dispersión geográfica en amplias áreas, como monitoreo ambiental, estudios epidemiológicos u otras aplicaciones con análisis espacio-temporales.
- Aplicaciones móviles que requieren respuestas en tiempo cercano al real, conectadas a usuarios móviles, como vehículos conectados, control de flotas de transporte, etc.

- Grandes sistemas de control distribuido que utilizan un gran número de sensores y actuadores, como, por ejemplo, los sistemas inteligentes de luces de tráfico.

Algunos desafíos asociados al paradigma de *fog computing*

A pesar de múltiples y crecientes aplicaciones implementadas con *edge-fog computing*, este paradigma

Tabla 2. Desafíos tecnológicos de fog computing.

Dominio tecnológico	Desafío de la combinación IoT-Fog-Cloud
Fog y 5G	Mecanismos eficientes para incrementar redes complejas y heterogéneas que adopten diversas tecnologías (ej. LoRAWAN, Sixfox, NB-IoT) y que comprendan múltiples modelos de recursos de redes desde los dispositivos IoT, el borde, la niebla y la nube
Orquestación de servicios	Proveer múltiples niveles de analíticas de datos en tiempo real junto con eficientes mecanismos de optimización, considerando la gran cantidad de datos multidimensionales en escenarios IoT basados en fog computing. Desarrollo de mecanismos de seguridad que prevengan ataques de software, hardware y de red en los nodos fog, considerando su naturaleza dinámica, distribuida y de gran escala. También debe velarse por la privacidad de los datos, que pudiera ser potencialmente violada por la cercanía de los nodos fog al usuario IoT que genera los datos Implementar la orquestación de servicios en el entorno del llamado “network slicing” de 5G.
Gestión de microservicios	Reconfiguración de servicios que consideren requerimientos de calidad del servicio (QoS) para lograr la adaptación automática y transparente de la ejecución de microservicios.
Asignación y optimización de recursos	Sistemas de gestión de recursos y esquemas de planificación multicriterio que puedan optimizar rápidamente la asignación de recursos para enfrentar la naturaleza dinámica de del sistema IoT-Fog-Cloud.
Consumo de energía	Gestión “económica” de datos, que implica una evaluación detallada de cuán frecuentemente puede ser necesario generar, transferir, almacenar o procesar todos los diferentes tipos de datos que se mueven en el ecosistema IoT-Fog-Cloud
Gestión de datos y ubicación	Medir y cuantificar el compromiso entre la ubicación de los datos y servicios en los niveles fog o cloud. Cómo seleccionar los servicios que van a ser localizados en los nodos edge-fog y por cuánto tiempo constituye un reto atendiendo a los múltiples factores que lo condicionan
Modelos de servicios y negocios	Mientras los modelos de servicio y negocio en la nube están muy bien establecidos, no está claro que las capas fog-edge puedan heredar tales modelos de forma idéntica. Es un desafío determinar cómo los servicios de IoT combinados con los de fog y cloud se ofrecen, monitorean y eventualmente se cobran, en un contexto heterogéneo de actores e intereses.

ma está aún en su infancia, por lo que existe un grupo de desafíos que marcarán investigaciones futuras en dicho campo. Existen desafíos de *fog computing* asociados tanto a dominios de aplicación, como a dominios tecnológicos. Para los dominios de aplicación, su empleo en entornos urbanos y en el contexto de Internet de las Cosas Industrial exhiben un conjunto de retos que han sido descritos en estudios recientes (Bittencourt, et al., 2018).

En cuanto a los desafíos tecnológicos, la tabla 2 resume un grupo de ellos, clasificados por dominio, que han sido extraídos de prominentes fuentes de los últimos 3 años (Bittencourt, et al., 2018), (Leoni-Santos, y otros, 2019), (von Leon, y otros, 2019).

Conclusiones

La computación en la niebla complementa al paradigma de computación en la nube, para reducir la latencia y el tráfico en la red ante la enorme generación de datos proveniente de la Internet de las Cosas, permitiendo, a su vez, un ahorro del ancho de banda y de energía. Gracias a su proximidad al borde de la red, este enfoque es sensible al contexto y a la distribución geográfica de los dispositivos; características que junto a su capacidad de hacerlos interoperar entre sí y de interactuar con la nube, les confiere a este paradigma un rol decisivo en la gestión de datos de IoT.

En este artículo se ofrece un bosquejo conceptual del paradigma *fog computing* para develar sus características, ventajas, principales aplicaciones y desafíos asociados.

Reaccionando a algunos de tales desafíos, un equipo mixto de la Unión de Informáticos de Cuba y la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” se encuentra evaluando la plataforma de código abierto y gratuita FIWARE, sobre la cual se experimentarán escenarios mayormente enfocados a gestión de datos y orquestación de servicios basados en *fog computing*.

Paralelamente, se colabora en el marco del Grupo ANGeoSC de la Universidad Nacional de Colombia, en la generación de pruebas de concepto para potenciar el rol de las redes definidas por software (SDN), con el fin de soportar la interoperabilidad entre los dispositivos IoT que están en el borde de la red, los nodos niebla y la nube.

Referencias

- Bakhtyan, A. A., & Zahary, A. T. (2018). A Review on Cloud and Fog Computing Integration for IoT: Platforms Perspective. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 4(14).
- Bittencourt, L., Immich, R., Sakellariou, R., Fonseca, N., Madeira, E., Curado, M., Ranaf, O. (2018). The Internet of Things, Fog and Cloud Continuum: Integration and Challenges. 134-155. doi:arXiv:1809.09972v1 [cs.DC] 26 Sep 2018

- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. *MCC workshop on Mobile cloud computing*. ACM.
- Buyya, R., & Narayana-Srirama, S. (2019). *Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Heck, M., Edinger, J., Schäfer, D., & Becker, C. (2018). IoT Applications in Fog and Edge Computing: Where Are We and Where Are We Going? *27th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)* (págs. 1-6). IEEE.
- IEEE Standards Association. (2018). *IEEE 1934-2018: IEEE Standard for Adoption of OpenFog Reference Architecture for Fog Computing*. <https://standards.ieee.org/standard/1934-2018.html>.
- Leoni-Santos, G., Ferreira, M., Ferreira, L., Kelner, J., Sadok, D., Albuquerque, E., . Takako-Endo, P. (2019). Integrating IoT + Fog + Cloud Infrastructures: System Modeling and Research Challenges. En R. Buyya, & S. Narayana-Srirama, *Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms* (págs. 51-78). John Wiley & Sons, Inc.
- Mahmud, R., Koch, F. L., & Buyya, R. (2018). Cloud-Fog Interoperability in IoT-enabled Healthcare Solutions. *ICDCN '18, 19th International Conference on Distributed Computing and Networking, January 4-7, 2018* (pág. 10 pages). Varanasi, India: ACM.
- Tárano, S., Delgado, T., & Pérez, A. (2018). Towards Smarter Cities Taking Advantage of the Fog Computing Paradigm. *Sistemas & Telemática*, 16(45), 19-30. 16(45)
Doi:10.18046/syt.v16i45.275.
- von Leon, D., Miori, L., Sanin, J., Ioini, N. E., Helmer, S., & Pahl, C. (2019). A Lightweight Container Middleware for Edge Cloud Architectures. En R. Buyya, & S. N. Srirama, *Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms* (págs. 145-170). NJ: John Wiley & Sons, Inc. 

Tatiana Delgado Fernández. Es vicepresidenta de la Unión de Informáticos de Cuba y profesora del Departamento Informática Empresarial en la Universidad Tecnológica de La Habana. Graduada de Ingeniería en Sistemas Automatizados de Dirección (1989), tiene una maestría en Optimización y Toma de Decisiones (1997) y un doctorado en Ciencias Técnicas (2005). Dirige la revista cubana de Transformación Digital. Coordina y participa en varias investigaciones relacionadas con Internet de las Cosas, Big Data, Web Semántica y Transformación Digital.