

Computación en la niebla: conceptualización y aplicaciones

DOI: 10.29236/sistemas.n156a8

Resumen

El concepto de computación en la niebla es quizá tan difuso como el fenómeno meteorológico que representa, y es que cuando se trata de acercar de manera física la capacidad de almacenamiento, computación y comunicación de la nube a los billones de dispositivos que hoy componen internet de las cosas, son múltiples los caminos y las aproximaciones posibles. Por lo tanto, con el fin de aplicar el concepto adecuado en el contexto adecuado, el presente artículo pretende presentar y diferenciar los distintos conceptos relacionados con computación en la nube y en el borde, así como ofrecer claridad en sus dominios de aplicación, los cuales tienen en común el aprovechamiento de la localidad para optimizar tiempos de respuesta, mejorar la privacidad de los datos, ampliar la capacidad de personalización de los servicios y reducir el consumo de los recursos de red mediante el filtrado o tratamiento local de los datos.

Palabras claves

Computación en la niebla, computación en el borde, computación móvil, Internet de las Cosas (IoT), aplicaciones.

Introducción

En la era de la información, los datos son el bien máspreciado por las organizaciones como el combustible que alimenta sus estrategias de direccionamiento basado en datos, por lo tanto, no es de sorprender que cuando se afirma que para el año en curso la cantidad de dispositivos en Internet de las Cosas (IoT) será de 50 mil millones, es decir, un promedio de 7 dispositivos por humano (McAfee & Brynjolfsson, 2012), se genere un amplio interés por los detalles técnicos y de arquitectura para la correcta explotación de los datos producidos. Este fenómeno se contrasta con la creciente adopción de la nube para procesos analíticos (Rai, Sahoo, & Mehruz, 2015), pues es la nube la tecnología preferida a la hora de tratar gran cantidad de datos dadas sus capacidades virtualmente ilimitadas de almacenamiento, procesamiento y comunicación. Esta convergencia de fenómenos descrita, ha llevado a que la nube sea el lugar natural para realizar el procesamiento de los datos producidos por IoT (Yousefpour, y otros, 2019).

Sin embargo, utilizar las bondades de las nubes públicas implica la transmisión de datos a través de varios dispositivos de comunicación a centros de datos potencialmente distantes, lo que no es permisible para algunas aplicaciones

IoT críticas que necesitan tiempos de respuesta inmediatos, sensibles a la ubicación o con dispositivos en ubicaciones remotas con comunicación intermitente. Por lo tanto, se hace necesario acercar físicamente las capacidades de la nube a los dispositivos IoT, lo que permitiría superar los retos anteriormente descritos, pero además, ampliar la cantidad de datos centralizados en la nube, pues en la actualidad alrededor del 20% es almacenado en la nube y únicamente el 5% de ellos es procesado para generar valor (Salem & Nadeem, 2016).

Ante el reto de acercar la nube a los dispositivos IoT, son múltiples las alternativas propuestas, los autores en (Yousefpour, y otros, 2019) hacen un recorrido extensivo de cada una de ellas, desde las más extremas que llevan la computación y almacenamiento a los dispositivos mismos como la computación en la bruma hasta las más sofisticadas como los *cloudlet*. De cualquier forma, la lista dista de ser exhaustiva y el lector podrá tener casos de aplicación en donde sea necesaria una combinación de aproximaciones o incluso una aproximación totalmente nueva, por lo tanto, se presentan también los pilares de arquitectura definidos por el consorcio *OpenFog* como una guía para la reproducción de buenas prácticas en toda arquitectura de computación en el borde o en la niebla.

Así pues, el presente artículo inicia con la definición de los conceptos asociados, seguido de los pilares de arquitectura para cualquier solución de computación en el borde o en la niebla, seguido de una presentación de dominios de aplicación idóneos o en los que ya se aplica el paradigma y termina con conclusiones y discusiones finales.

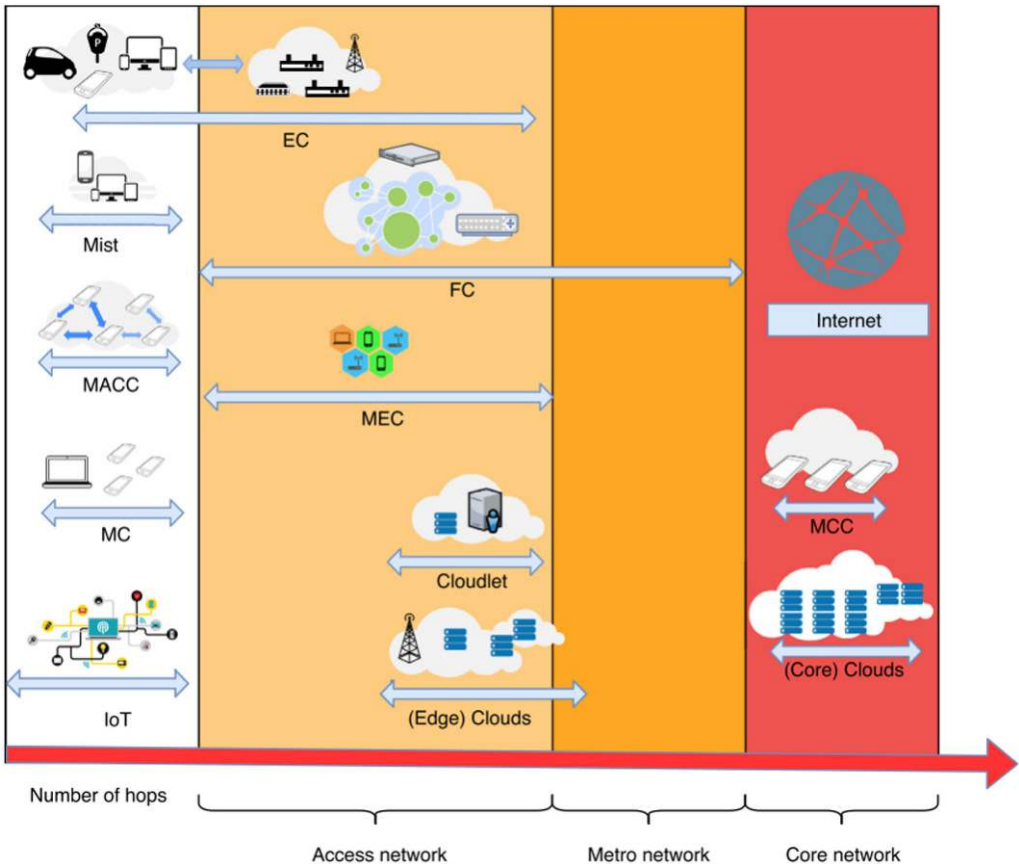
Conceptualización

La computación en la niebla extiende el paradigma de la computación en la nube a las redes de co-

municación cercanas a los dispositivos IoT, esto permite contar con características adicionales como: baja latencia y sensibilidad a la ubicación, distribución geográfica expandida, movilidad, soporte a gran cantidad de dispositivos, comunicación inalámbrica predominante, soporte a aplicaciones en línea y heterogeneidad (Bonomi, Milito, Zhu, & Addepalli, 2012).

No obstante, cuando se trata de computación en la niebla no se cumple el precepto de “one-size-

Figura 1.



fits-all". Con esto presente, se describen a continuación algunas de las aproximaciones encontradas en la literatura desde la más próxima a la más lejana de los dispositivos IoT.

Figura 1. Comparación de la computación en la nube y sus paradigmas computacionales relacionados en términos de su ubicación y distancia a las nubes centrales (traducción propia) (Yousefpour, y otros, 2019, pág. 295).

- *Computación en la bruma (Mist Computing)*: Se trata de la forma más extrema de computación en el borde, pues se trata de usar los dispositivos IoT para realizar las tareas de computación y almacenamiento de datos. Por supuesto, esta aproximación tiene las limitaciones propias de los dispositivos y no es adecuada para el tratamiento de datos históricos o de grandes cantidades de datos (*big data*), pero es una gran alternativa para aplicaciones que usan exclusivamente datos recientes (*hot data*) o que pueden usar resultados de procesamiento de capas de mayor capacidad como datos en caché.
- *Computación ad hoc móvil (Mobile Ad Hoc Computing – MAHC)*: Se tratan de redes de comunicación que se generan de manera espontánea y temporal entre distintos dispositivos móviles y que permite generar
- *Computación móvil (Mobile Computing – MC)*: Se trata de un subconjunto de la computación en la bruma, en el cual los dispositivos son únicamente móviles e.j. celulares, tabletas o laptops y que merece su categoría aparte, pues estos dispositivos pueden tomar ventaja de las redes móviles y los servicios de ubicación con los que cuentan, para crear aplicaciones sensibles al contexto tales como recordatorios basados en la ubicación (Yousefpour, y otros, 2019).
- *La nube de las cosas (Cloud of Things)*: En la misma línea de la computación en la bruma, la nube de las cosas propone agregar una capa de virtualización a los recursos computacionales en el borde con el fin de ofrecer servicios de comunicación, almacenamiento y computación similares a la nube. Teniendo en cuenta la gran cantidad de dispositivos en el borde y la creciente capacidad de cómputo con la que cuentan, esta aproximación promete ser una solución para una

amplia gama de aplicaciones críticas de IoT. Sin embargo, tiene retos en términos de privacidad de los datos y motivación de los dispositivos para participar.

- *Computación en el borde (Edge computing)*: Se trata de la computación que se lleva a cabo en la red local de los dispositivos IoT. Es decir, permite agregar nodos computacionales distintos a los dispositivos IoT, siempre y cuando los mismos se encuentren a máximo un dispositivo de comunicación (*hop*) de los mismos. En estas capas es común encontrar dispositivos como las tarjetas *Raspberry pi* que permiten la ejecución de código C++/Python de manera eficiente permitiendo la ejecución de servicios de coordinación y/o procesamiento.
- *Computación en la niebla (Fog Computing)*: El paradigma de la computación en la niebla pretende cerrar la brecha existente entre la computación en la nube y los dispositivos IoT, mediante la generación de servicios intermedios que permitan por un lado responder a tiempo para las aplicaciones críticas de IoT y por otro lado, filtrar y comprimir la cantidad de datos que llegan a la nube para ganar eficiencias tanto en costos como en procesamiento. La visión de la computación en la niebla es que las funciones de comunicación, almacenamiento, procesamiento y aceleración tan avanzadas en la nube, puedan ser parte de un flujo continuo nube a dispositivo (*cloud to thing continuum*) aprovechando las ventajas de cada una de las capas de comunicación y con consideraciones de latencia y localidad.
- *Computación móvil en el borde (Mobile Edge Computing – MEC)*: Así como la computación en la bruma se extiende a la red de acceso con la computación en el borde, la computación móvil se extiende a la red de acceso con la computación móvil en el borde, permitiendo la integración de mayor cantidad de dispositivos móviles. Un ejemplo de configuración de redes que permite este tipo de computación son las redes locales inalámbricas (WLAN).
- *Cloudlets*: Se tratan de pequeños centros de datos ubicados en la red de acceso de los dispositivos móviles que permiten disminuir la carga de los dispositivos IoT mediante la generación de servicios de computación usando técnicas de virtualización. Dado que se pueden establecer relaciones de confianza entre los dispositivos IoT y los *cloudlet*, este paradigma encuentra amplia aplicación en situaciones en donde la privacidad y seguridad de los datos es una preocupación mayor, además al tratarse de recursos vir-

tualizados, pueden ser fácilmente llevados a la nube en caso de necesitar mayor escala.

- **Nube en el borde:** En la actualidad las nubes públicas *Amazon Web Services* (AWS) y *Azure* ofrecen servicios para la instalación de capacidades de almacenamiento y procesamiento de sus respectivas nubes en el borde, mediante el envío de dispositivos computacionales con algunos de sus servicios preinstalados y configurados. En el caso de AWS, la oferta recibe el nombre de *Snowball Edge*¹ y en el caso de *Azure*, *Azure Stack*².
- **Computación en la nube:** Ofrece servicios de comunicación, almacenamiento, procesamiento como servicio a distintos niveles: infraestructura, plataforma y software. La computación en la nube se basa en múltiples centros de datos geográficamente distribuidos alrededor del mundo con capacidades tan amplias que para efectos prácticos son consideradas ilimitadas. Los casos de uso que soporta la computación en la nube son mucho más amplios que IoT, sin embargo, los principales proveedores han entendido la importancia y crecimiento exponencial de este ámbito y han creado ser-

vicios para soportar el desarrollo de aplicaciones IoT por ejemplo: AWS IoT³, Azure IoT⁴ y GCP IoT⁵.

Pilares de arquitectura

De acuerdo con el consorcio *OpenFog* estos son los pilares sobre los que se debería construir cualquier arquitectura que acerque la computación, almacenamiento, comunicación, control y aceleración a los dispositivos IoT (*OpenFog Consortium*, 2017):

- **Seguridad:** Se debe garantizar la cadena de confianza entre los nodos, así como la privacidad de los datos y la fiabilidad de los canales de comunicación.
- **Escalabilidad:** La niebla debe poder escalar tanto vertical como horizontalmente, esto con el fin de soportar nodos con cargas desbalanceadas bien sea adyacentes o en capas adyacentes. Así mismo, se deben poder agregar o eliminar nodos de la red de manera flexible y de acuerdo con la carga actual.
- **Naturaleza Abierta:** La computación en la niebla debe ser descentralizada e interoperable sin parcialidades hacia algún proveedor de software o hardware específico, esto con el fin de permitir la integración de cualquier tipo de nodo en cualquier tipo de red.
- **Autonomía:** Los nodos de la niebla deben poder seguir prestan-

¹ <https://aws.amazon.com/es/snowball/>

² <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/azure-stack/>

³ <https://aws.amazon.com/es/iot/>

⁴ <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/iot/>

⁵ <https://cloud.google.com/solutions/iot?hl=es>

do servicio incluso ante fallas en capas superiores de jerarquía, es decir que debe existir inteligencia local y autonomía en las redes locales de nodos para poder tomar decisiones ante situaciones extremas.

- **Robustez, Alta Disponibilidad y Servicio Continuo:** Los servicios ofrecidos deben tener consideraciones de robustez, alta disponibilidad y servicio continuo, en especial teniendo en cuenta las condiciones desafiantes que pueden tener algunas capas de la jerarquía con dispositivos en ubicaciones remotas con comunicación limitada. La principal consideración en este pilar es la dispensabilidad de todos los nodos de la red como principio básico de diseño y el uso de la nube como lugar de almacenamiento de copias de apoyo e históricos.
- **Agilidad:** Este pilar hace referencia a la capacidad de la red de nodos de tomar decisiones operacionales sin la intervención humana, lo anterior data la imposibilidad humana de analizar toda la información producida y la necesidad de decisiones ágiles. Además, este pilar hace referencia a la capacidad de adaptación frente a la dinámica de cambio de la niebla.
- **Programabilidad:** Así como se soporta la programación tanto a nivel del procesamiento de los

datos o los servicios ofrecidos, como a nivel de infraestructura. Es decir, se debe soportar el paradigma de infraestructura como código.

- **Jerarquía:** A pesar de no ser esencial para una arquitectura en la niebla, se expresa en la mayoría de los despliegues, pues cada una de las capas que de los dispositivos llevan a la nube tienen requerimientos y características diferenciadas lo que hace que sea necesario no solo coordinación sino jerarquía entre los despliegues de la niebla en cada una de estas capas. Por ejemplo, una gran organización puede contar con inteligencia local en cada una de sus sedes, no obstante, la evolución y monitoreo de esa inteligencia se monitorea desde la sede central.

Aplicaciones

Son numerosas las industrias que hoy en día están tomando ventaja de la computación en el borde y en la niebla, a continuación, algunos ejemplos encontrados en la literatura:

- **Agricultura inteligente (Galvão, y otros, 2019):** monitoreo de cultivos a través de múltiples sensores.
- **Transporte Inteligente (Galvão, y otros, 2019):** monitoreo de flotas de buses para mejorar agendamiento de salidas y proveer de

servicios inteligentes a los usuarios.

- Salud y bienestar inteligente (Galvão, y otros, 2019) (Preden, y otros, 2015): uso inteligente de datos producidos por dispositivos *wearable* de usuarios de parques públicos para mejorar infraestructura.
- Recolección de desechos inteligente (Galvão, y otros, 2019): despliegue de dispositivos inteligentes a nivel metropolitano para medir niveles de contenedores y planear inteligentemente rutas de camiones recolectores
- Redes eléctricas inteligentes (Galvão, y otros, 2019): Dominio con necesidad de respuesta inmediatas y colaboración entre los distintos nodos, propicio para despliegues en la niebla.
- *Retail* inteligente (Galvão, y otros, 2019): Dominio de aplicación con necesidades jerárquicas de respuesta, en donde la operación, inventario y publicidad necesitan respuestas inmediatas, pero el direccionamiento basado en inteligencia de negocios evoluciona a menor ritmo y con necesidades de procesamiento de gran cantidad de datos.
- Parqueo Inteligente (Grassi, Bahl, Jamieson, & Pau, 2017): Tratamiento de imágenes producidas en vehículos inteligentes

de manera colaborativa para el mapeo de espacios libres de parqueo en una ciudad.

- Vehículos Conectados (Bonomi, Milito, Zhu, & Addepalli, 2012): Redes *ad hoc* de vehículos formados por cercanía que colaboran entre sí para mayor seguridad en la vía.

Conclusiones

Con un estimado de 7 dispositivos interconectados por cada ser humano que habita la tierra y el alto dinamismo del mundo actual que exige información con sentido, en tiempo real, y extraída de una inmensa cantidad de datos que deben ser interpretados en un contexto particular, la computación en la niebla se perfila como una alternativa que permite reducir los tiempos de comunicación y tomar ventaja de la colaboración para producir un *cloud to thing continuum* que permita acercar las bondades de la nube a los dispositivos. Sin embargo, como lo evidencia el presente artículo, son diversas las alternativas que se han propuesto para la computación en la niebla y en el borde, por lo que es importante reconocerlas y poder discernir el caso de aplicación específico, para el cual se adapta cada una.

Referencias

- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. MCC'12 - Proceedings of the 1st ACM Mobile Cloud Computing Workshop, 13-15.

- Galvão, J., Sousa, J., Machado, J., Mendonça, J., Machado, T., & Silva, P. (2019). Mechanical design in industry 4.0: Development of a handling system using a modular approach. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 505(3), 508-514.
- Grassi, G., Bahl, P., Jamieson, K., & Pau, G. (2017). ParkMaster: An in-vehicle, edge-based video analytics service for detecting open parking spaces in urban environments. *2017 2nd ACM/IEEE Symposium on Edge Computing, SEC 2017*.
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big Data: The Management Revolution. *Harvard business review*, 90, 60-66, 68, 128.
- OpenFogConsortium. (Febrero de 2017). Obtenido de Open Fog Consortium: <https://www.openfogconsortium.org/ra/>
- Preden, J., Tammemae, K., Jantsch, A., Leier, M., Riid, A., & Calis, E. (2015). The Benefits of Self-Awareness and Attention in Fog and Mist Computing. *Computer*, 48(7), 37-45.
- Rai, R., Sahoo, G., & Mehruz, S. (2015). Exploring the factors influencing the cloud computing adoption: a systematic study on cloud migration. *Springer-Plus*, 4(1), 1-12.
- Salem, A., & Nadeem, T. (2016). LAMEN: Leveraging resources on anonymous mobile edge nodes. *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, 03-07-Octo, 15-17.
- Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., . . . Jue, J. (2019). All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *Journal of Systems Architecture*, 98(February), 289-330. 🌐

Andrés Felipe Cantor Albarracín. Ingeniero de Sistemas y Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Nacional de Colombia, cuenta con más de cinco años de experiencia en la implementación de soluciones Big Data y analítica para organizaciones que han decidido tomar estrategias dirigidas por los datos. Su investigación se centra en Internet de las Cosas y semántica para la interoperabilidad.