

MULTI-ACCESS EDGE COMPUTING: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIÓN EN ENTORNOS RURALES DE BAJA DENSIDAD DE POBLACIÓN

MULTI-ACCESS EDGE COMPUTING: CHARACTERISTICS AND APPLICATION IN LOW POPULATION DENSITY RURAL ENVIRONMENTS POPULATION

Camilo ANZOLA-ROJAS¹, Ramón J. DURÁN BARROSO¹,
Ignacio DE MIGUEL¹, Javier PARRA-DOMÍNGUEZ², y André CHAVES³

¹ *Universidad de Valladolid, T.S.I. de Telecomunicación,
Campus Miguel Delibes, 47011, Valladolid, Spain*
{camilo.anzola, rduran, ignacio.demiguel}@uva.es

² *BISITE Digital Innovation Hub, University of Salamanca, I+D+i Building,
Calle Espejo, 2 - 37007, Salamanca, Spain*
javierparra@usal.es

³ *Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI),
Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolonia, 5300-253
Bragança, Portugal*
a.chave@ipb.pt

RESUMEN: Con la aparición de tecnologías disruptivas como Internet de las Cosas (IoT), Industria 4.0 o Realidad Virtual (VR), entre otras, cada vez hay más servicios y dispositivos con diferentes características que se interconectan mediante redes de comunicaciones y necesitan capacidades de computación y almacenamiento con las que, en principio, no cuentan. Para superar este problema se propuso la solución de computación en la nube (*cloud computing*), que consiste básicamente en confiar las tareas más pesadas a un servidor central con alta potencia computacional. A primera vista este enfoque resuelve el

problema, pero, como generalmente estos servidores centrales (*data centers*) se encuentran lejos de los dispositivos finales, aparecen nuevos problemas, especialmente con respecto al aumento de la latencia. La siguiente propuesta es el MEC (*Multiaccess Edge Computing*, o computación de acceso múltiple en el borde), que es similar a la computación en la nube, pero se basa en servidores más cercanos a los usuarios, esto es, «en el borde» de la red de acceso, en lugar de servidores lejanos «en la nube». Este artículo ofrece una revisión de las principales características, de MEC, haciendo énfasis en su aplicación en escenarios como muchas regiones hispano-portuguesas, con baja densidad de población, grandes distancias entre ciudades o pueblos, y con un importante porcentaje de entornos rurales.

PALABRAS CLAVE: MEC; multi-access edge computing; tecnologías disruptivas; internet of things; (Iot); latencia; 5g; virtualización.

ABSTRACT: With the emergence of disruptive technologies such as the Internet of Things (IoT), Industry 4.0 or Virtual Reality (VR), among others, there are more and more services and devices with different more and more services and devices with different characteristics that are interconnected through communication networks and require computing and storage capacities with which, in principle, they do not have. The cloud computing solution was proposed to overcome this problem by entrusting the heaviest tasks to a central server with high computational power. At first glance, this approach solves the problem, but as these central servers (data centres) are usually located far away from the end devices, especially concerning increased latency. The following proposal is MEC (Multiaccess Edge Computing), which is similar to MEC (Multiaccess Edge Computing), which is identical to MEC (Multiaccess Edge Computing), which is similar to cloud computing but relies on servers closer to the users, i.e. «at the edge» of the access network, instead of distant servers «at the edge» of the access network. This article provides a review of the main features of SCM, with an emphasis on its application in scenarios such as many Spanish-Portuguese regions, with low population density, large distances between cities or population, large distances between cities or towns, and with a significant percentage of rural environments.

KEYWORDS: multi-access edge computing; disruptive technologies; internet of things (IoT); latency; 5G; virtualisation.

1 Introducción

La evolución de Internet en las últimas décadas ha sido evidentemente rápida y acelerada, pasando de unas pocas conexiones al inicio, a los miles de millones de dispositivos diferentes que envían y solicitan datos hacia y desde la red que vemos hoy en día. Además del crecimiento en el número de conexiones, la conectividad de Internet se ha vuelto considerablemente diversa, incluyendo no solo computadoras y servidores personales tradicionales, sino también un conjunto muy variado de dispositivos con diferentes y muchas veces altos requisitos. La Fig. 1 ilustra la evolución de Internet de las conexiones desde las redes de igual a igual (P2P), al nuevo concepto llamado Internet táctil, que tiene como objetivo incluir sensaciones táctiles y hápticas en las telecomunicaciones, permitiendo que los humanos y las máquinas interactúen con su entorno en tiempo real.

La mencionada evolución de las conexiones ha hecho posible la aparición y difusión de nuevas tecnologías y aplicaciones relacionadas con la Internet de las Cosas (IoT). La evolución de IoT se ha visto impulsada con la aparición de tecnologías relacionadas con la quinta generación de comunicaciones móviles (5G) [1], lo que hace posible cumplir con nuevos requisitos como velocidades de datos más altas, latencia muy baja, permitir un número muy alto de dispositivos conectados y alta eficiencia espectral.

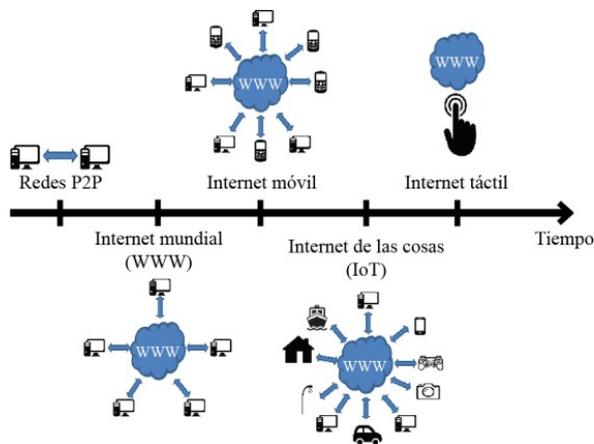


Fig. 1. Línea del tiempo de Internet.

Con estas tecnologías disruptivas, aparecen nuevos desafíos y problemas. Uno de estos desafíos surge de la existencia de dispositivos con diversas características que se interconectan mediante redes de comunicaciones y necesitan capacidades de computación y almacenamiento con las que, en principio, no cuentan. Por ejemplo, muchos dispositivos IoT tienen recursos limitados de almacenamiento, procesamiento y comunicación. Para superar este problema se propuso una nueva área de investigación denominada *Mobile Cloud Computing* (MCC) [2], que consiste básicamente en delegar las tareas más pesadas a un servidor externo con alta potencia computacional. La conexión de ambos dispositivos se hace a través de la red de comunicaciones, Internet. A primera vista, este enfoque resuelve el problema, pero, dado que generalmente estos servidores se encuentran en *data centers* lejos de los dispositivos finales, aparecen nuevos problemas, especialmente con respecto al aumento de latencia y la congestión de la red. Una representación gráfica general de la arquitectura de MCC se aprecia en la Fig. 2, en donde la información debe atravesar el borde (*edge*), y luego pasar por Internet hasta llegar al servidor *cloud*.

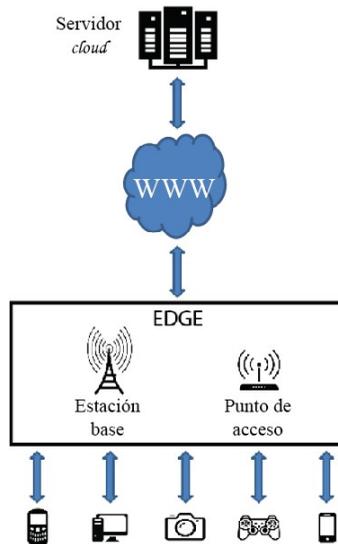


Fig. 2. Arquitectura de MCC.

Para tratar los problemas mencionados de MCC, en 2015, el Grupo de Especificación de la Industria (ISG, por sus siglas *Industry Specification Group*) del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*), introdujo el concepto de *Mobile Edge Computing* (MEC) [3]; destinado a transferir la mayoría de las funcionalidades de computación y almacenamiento de MCC al borde (*edge*) de las redes móviles (esto es, en servidores localizados en estaciones base). De esta manera, el retardo del sistema se reduce considerablemente en comparación con MCC, además, la congestión para la red de *backhaul* también disminuye ya que muchas peticiones pueden ser resueltas por los servidores MEC sin traspasar el borde (*edge*).

En 2017, la ETSI cambió la palabra «*Mobile*» en las siglas por «*Multi-Access*», de tal manera que MEC pasó a significar *Multi-Access Edge Computing*. El objetivo de este cambio de nombre era incluir no solo tecnologías móviles en el MEC, sino también otras como redes fijas y Wi-Fi.

Al igual que las tecnologías 5G impulsaron a IoT a mejorar, MEC está demostrando ser una tecnología útil que complementa a ambas. Hay varias aplicaciones que utilizan MEC en el ámbito de la industria 4.0, robótica, telepresencia, realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR), agricultura inteligente, atención médica, conducción autónoma, ciudades inteligentes y vehículos inteligentes, por nombrar solo algunas.

La motivación de este artículo es contextualizar y presentar la tecnología MEC junto con sus principales características y aplicaciones, y evaluar sus ventajas si se implementa en zonas rurales de escasa densidad de población, como muchas regiones de España y Portugal. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta una descripción general de la tecnología MEC, incluidas sus principales características, tecnologías y aplicaciones. En la sección 3 se ofrece un análisis de la relación entre la densidad de población de una zona y la cobertura de las redes de telecomunicaciones en la misma. La sección 4 presenta algunas ideas y reflexiones sobre la aplicabilidad de MEC a entornos rurales y escasamente poblados.

2 Visión general de MEC

El objetivo de esta sección es establecer un contexto para evaluar, en las siguientes secciones, la aplicabilidad de las tecnologías MEC en áreas rurales con baja densidad de población y largas distancias. En [4], se realiza un estudio completo sobre MEC hacia la inteligencia de borde (*edge intelligence*) en el contexto de 5G e IoT y se propone un caso de uso. En [5], los autores expresan la asociatividad tanto de MEC como de IoT como factores esenciales para la realización de 5G en términos de escenarios de aplicación y atributos técnicos clave (KPI, *Key Performance Indicators*). Además, el trabajo de [6] presenta un estudio sobre MEC y se centra en las tecnologías clave fundamentales que habilitan el 5G.

2.1 Principales características

Para tener una perspectiva más clara de las características y posibles ventajas o desventajas de MEC, mostramos en la Tabla 1 una comparación entre MEC y las dos principales alternativas: MCC y computación local. La computación local se caracteriza por ser los dispositivos finales los que realizan todas las operaciones requeridas por sí mismos, incluidas las tareas de computación y almacenamiento, sin delegar ninguna responsabilidad a fuentes externas de MEC o MCC. Definimos seis parámetros para evaluar y comparar las tres tecnologías: latencia, coste, disponibilidad, capacidad, flexibilidad y seguridad.

Latencia. En cuanto a la latencia, la computación local es el enfoque más conveniente, ya que todos los procesos se realizan dentro del mismo dispositivo. El problema de esta solución es que solo es factible si el equipo local cuenta con todos los requisitos de la aplicación en particular: capacidad de computación, capacidad de almacenamiento y autonomía energética. De lo contrario, es mejor utilizar MCC o MEC. Por otro lado, MCC ofrece generalmente un buen desempeño en términos de capacidades informáticas y energéticas, pero la latencia puede llegar a ser alta ya que los servidores en la nube pueden ubicarse a grandes distancias del usuario (cientos de kilómetros o incluso más). Finalmente, MEC se presenta como un punto intermedio, en el que existen

servidores externos que dan soporte a los usuarios finales que lo necesitan, pero estos servidores no son dispositivos centralizados en algún centro de datos lejano, sino dispositivos más cercanos, generalmente en el borde de la red de acceso de radio (RAN, *Radio Access Network*), por ejemplo, en estaciones base, proporcionando baja latencia y alto ancho de banda a las aplicaciones sin necesidad de que el usuario posea equipos costosos capaces de realizar todas las tareas requeridas.

Coste. En la computación local, los dispositivos finales deben poder realizar todas las tareas requeridas por sí mismos, lo que se traduce en la necesidad de un hardware más potente y, por lo tanto, mayores costes para el usuario. Este no es el caso de MCC y MEC, donde los servidores pueden ofrecer soporte a los dispositivos finales con una gran carga sin importantes inversiones en hardware por parte del usuario. Además, las tareas más pesadas suelen consumir grandes cantidades de energía, y muchas aplicaciones, como la instrumentación IoT, están muy limitadas por la batería.

Disponibilidad. Entendiendo la disponibilidad como la posibilidad de acceder a los recursos en cualquier momento, los tres enfoques ofrecen buenos resultados, pero dependiendo del punto de vista, la computación local podría ser mejor o peor, dado que, al poseer todos los recursos y tenerlos todos en un dispositivo local, siempre están disponibles, incluso cuando falla la conexión a internet o el servidor, pero por otro lado, si el dispositivo local es el que falla o falta, el usuario no podrá acceder a la información, lo que hace que MEC y MCC tengan una mejor disponibilidad. Si se produce un fallo en la conexión o en el servidor usando MEC o MCC, el sistema fallará, pero sin embargo, hoy en día este tipo de fallos son poco probables en la mayoría de escenarios (debido a mecanismos de restauración y redundancia). Por lo tanto, la disponibilidad de MCC y MEC también se considera alta.

Capacidad. En términos de capacidad o potencia computacional, en computación local tenemos valores muy bajos, a menos que el usuario final posea equipos muy sofisticados, lo cual no es tan frecuente, principalmente teniendo en cuenta que muchas aplicaciones modernas son sistemas IoT compuestos por una gran cantidad de pequeños sensores o actuadores sin capacidades informáticas destacadas. El caso contrario es MCC, en el que, generalmente,

el servidor en la nube cuenta con una alta potencia de procesamiento y almacenamiento. Un punto intermedio podría ser MEC. Los servidores *edge* generalmente no tienen capacidades tan altas como los servidores en la nube, pero resultan útiles y suficientes para numerosas aplicaciones.

Flexibilidad. En este contexto, consideramos la flexibilidad como la capacidad del servicio para ser modificado sin importantes esfuerzos o inversiones. Cuando el servicio está basado en MEC, en caso de que los requisitos cambien en algún aspecto, o incluso si se convierte en un servicio completamente diferente, no es un problema reorganizar los recursos destinados a este servicio en el servidor MEC, e incluso es posible redistribuir la carga entre múltiples servidores en caso de que sea necesario [7]. También hay propuestas que combinan de forma cooperativa los recursos de la nube y del borde para realizar la descarga de cálculo (*offloading*) [8]. Gracias a tecnologías como máquinas virtuales (VM), virtualización de funciones de red (NFV) y contenedores [6], es muy fácil asignar solo los recursos necesarios a cada servicio, y eliminarlos o modificarlos sin esfuerzos considerables y sin ningún cambio de hardware. Estas técnicas de virtualización están disponibles tanto en MCC como en MEC. MCC comparte la mayoría de las ventajas de flexibilidad de MEC, pero como es un sistema más centralizado que MEC, es un poco menos flexible.

Tabla 1. Comparación cualitativa entre Computación local, MEC y MCC.

	Computación local	MEC	MCC
Latencia	Muy baja	Baja	Alta
Coste	Alta	Baja	Baja
Disponibilidad	Alta	Alta	Alta
Capacidad	Baja	Media	Alta
Flexibilidad	Baja	Muy alta	Alta
Seguridad	Alta	Alta	Media

Seguridad. En materia de seguridad, la computación local tiene ventaja desde el punto de vista de que la información no se transmite al exterior, evitando cualquier posibilidad de fuga o corrupción de datos. Por otro lado, MEC y MCC ofrecen un aspecto positivo si los dispositivos finales fallan o pierden la información, pues los servidores suelen tener una copia y no sería un problema mayor. MEC también es más seguro que MCC en términos de que, debido a que los servidores MEC están más cerca del usuario que los servidores MCC, reduciendo la probabilidad de fuga o corrupción de datos. Además, MCC usualmente presenta gran concentración de la información dado que se basa en grandes servidores centralizados, mientras que MEC utiliza servidores distribuidos y de menor escala, disminuyendo la probabilidad de ataques [4].

2.2 Tecnologías principales

En este apartado revisamos algunas tecnologías importantes para el desarrollo de sistemas basados en MEC.

Virtualización de funciones de red (NFV, *Network Function Virtualization*). Una de las principales ventajas de MEC es la capacidad de los servidores de ser «independientes del hardware», lo que significa que los dispositivos no tienen que estar especializados físicamente para realizar una función en particular, sino que se utilizan plataformas de computación universales. NFV permite descomponer un servicio dado en funciones de red virtual (VNF, *Virtual Network Functions*), de tal manera que cada VNF realice una tarea específica, y para un servicio en particular, se instancia un conjunto específico de VNF, que se pueden modificar, mezclar o eliminar si necesario, ofreciendo un alto nivel de flexibilidad [9].

***Slicing* (rebanado) de red.** Al igual que NFV, el *slicing* de red tiene como objetivo aumentar la flexibilidad y escalabilidad de los servicios ofrecidos, ofreciendo la posibilidad de admitir servicios personalizados bajo demanda en una red física compartida. El *slicing* de red puede asignar porciones o *slices* de recursos de red de forma dinámica y eficiente [6]. Un *slice* se conoce como una instancia de red optimizada para una aplicación o servicio específico [10].

***Offloading* (descarga) de cómputo.** Una de las principales ventajas de MEC es la capacidad de hacer uso de los servidores *edge* para «descargar» los dispositivos finales. Con el *offloading* de cómputo surgen múltiples ventajas,

como el ahorro de energía y la no necesidad de tener dispositivos finales potentes [11].

Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT, *NarrowBand IoT*). NB-IoT es una nueva y prometedora tecnología de acceso por radio que puede coexistir con las implementaciones existentes de GSM, UMTS y LTE. De hecho, las especificaciones NB-IoT se han integrado en los estándares LTE [12]. NB-IoT funciona muy bien para dispositivos que tienen un bajo consumo de energía, bajas demandas de transferencia de datos y están geográficamente dispersos o remotos.

2.3 Aplicaciones de MEC

Gracias a las ventajas de MEC y las múltiples tecnologías habilitadoras que lo respaldan, se pueden lograr diversas aplicaciones. La Fig. 3 representa gráficamente algunas de las ramas o aplicaciones que se benefician de MEC, que se describen brevemente a continuación, junto con algunas menciones de trabajos relacionados.

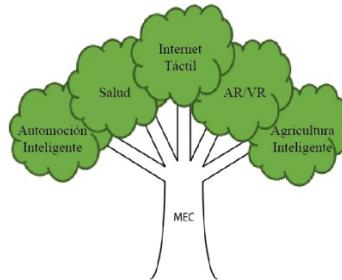


Fig. 3. Campos de aplicación de MEC.

Automoción inteligente. Un campo de aplicación importante de MEC es el sector de la automoción. Por ejemplo, en [13], los autores demuestran cómo las aplicaciones de conducción remota y autónoma, como el rastreo de carriles y la detección de objetos, pueden descargarse a una red 5G habilitada para MEC. Además, la sensorización virtual extendida, o *Extended Virtual Sensing (EVS)*, integrada en los automóviles, les permite acceder a sensores externos

de una ciudad inteligente, brindando una mayor seguridad y comodidad a los pasajeros, así como a otros actores viales. Este tipo de aplicaciones son especialmente sensibles a la latencia, por lo que el uso de tecnologías MEC es adecuado. Un ejemplo de sistema EVS que utiliza MEC se presenta en [14].

Internet táctil. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) define Internet táctil como el próximo salto evolutivo después de IoT, en el que la alta disponibilidad y seguridad, los tiempos de reacción ultrarrápidos y la confiabilidad de nivel de operador agregarán una nueva dimensión a la interacción entre humanos y máquinas al permitir la interacción táctil y sensaciones hápticas, que permiten a los humanos y las máquinas interactuar con su entorno en tiempo real [15]. Evidentemente, MEC es un habilitador clave para las tecnologías táctiles de Internet, como se describe en [16].

AR/VR. Debido a su naturaleza en tiempo real, la realidad aumentada y la realidad virtual (AR y VR) exigen latencias bajas para ofrecer una experiencia inmersiva y realista. El uso de MEC en aplicaciones AR/VR ya ha sido estudiado. En [17], los autores diseñan un sistema de almacenamiento en caché de realidad virtual de 360° sobre la red de acceso de radio a la nube (C-RAN), donde se implementa un servidor MEC con capacidades de almacenamiento y síntesis de vistas, de tal manera que si el contenido solicitado de una vista de realidad virtual específica está almacenado en el *edge* o se puede sintetizar con la ayuda de las vistas adyacentes almacenadas en caché, no es necesario solicitar el contenido del servidor de fuente de video VR remoto.

Agricultura inteligente. La agricultura inteligente tiene como objetivo mejorar muchos procesos de la agricultura y la ganadería tradicionales mediante la aplicación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Actualmente existen muchas tecnologías operativas de agricultura inteligente, y muchos otros proyectos y propuestas aún se encuentran en fases de investigación o desarrollo y parecen tener un futuro muy prometedor. En la producción de cultivos se han propuesto tecnologías IoT y MEC. En [18], por ejemplo, se muestra una arquitectura general centrada en la nube, con un nodo *edge* que se utiliza para recopilar datos de una red de sensores distribuidos con el fin de monitorear y predecir algunas enfermedades de los viñedos.

Cuidado de la salud. La implementación de tecnologías sanitarias también está muy relacionada con IoT, 5G y MEC. Hay muchas aplicaciones que ya se están ejecutando y otras están en etapa de investigación. Las tecnologías

sanitarias también están relacionadas con algunas otras aplicaciones mencionadas anteriormente, como AR, VR e Internet táctil. Las aplicaciones tecnológicas en el cuidado de la salud incluyen la monitorización de signos vitales y la prevención automática de enfermedades. También se han estudiado propuestas futuristas como la cirugía remota [19]. Gracias a la cirugía remota, en muchos casos en los que se necesita una cirugía de alta dificultad y el especialista adecuado está lejos, será posible realizar la operación sin la necesidad de que el especialista sea trasladado, potencialmente salvando muchas vidas.

3 Impacto de la densidad de población en la infraestructura de telecomunicaciones

Para poder establecer las características y solucionar los retos del despliegue de redes de telecomunicaciones en zonas rurales poco pobladas y con grandes distancias entre ellas, como la región transfronteriza de España y Portugal, evaluaremos la densidad de población, y la calidad de las redes desplegadas en las respectivas zonas.

A continuación se muestra una comparación entre un mapa de densidad de población de España en 2015 (ver Fig. 4) y dos mapas de cobertura de un proveedor de servicios (ver Fig. 5) a fecha de noviembre de 2020. Los mapas de cobertura incluyen el estado real de la implementación de las redes de 4G+ y 5G de un proveedor de servicios específico [21].

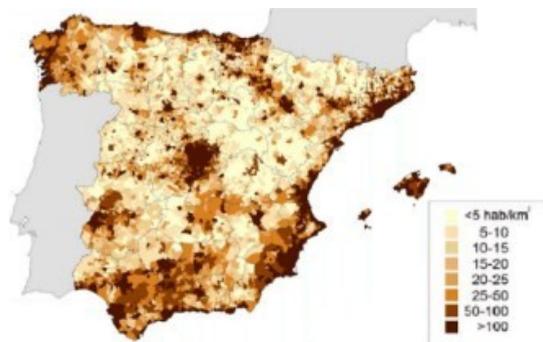


Fig. 4. Densidad de población en España en 2015 [20].

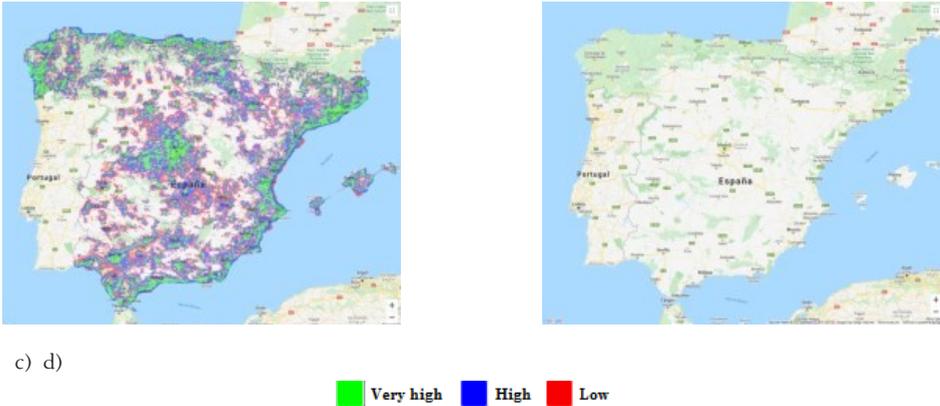


Fig. 5. Cobertura de red de un proveedor de servicio específico: a) 4G+, b) 5G [21].

A primera vista existe una clara correlación entre la densidad de población y una mejor cobertura. Además, según el Tribunal de Cuentas Europeo [22], existe una discrepancia significativa entre la cobertura en las zonas urbanas y rurales. En toda la UE, la cobertura en las zonas rurales fue del 47% de los hogares en 2016, frente a la media general del 80%. A pesar de la aparente correlación, hay algunos estudios que sugieren que la densidad de población no está correlacionada con la calidad de la infraestructura móvil [23]. Sin embargo, independientemente de la correlación causal de la densidad de población con la infraestructura, es un hecho que existen múltiples zonas de baja densidad de población, en las que la cobertura de los sistemas de telecomunicaciones 4G+ y 5G es baja. Una descripción de 4G+ se ofrece en [24].

4 Reflexiones finales: MEC aplicado a áreas de baja densidad de población

Dado que las distancias para interconectar áreas de baja densidad de población suelen ser grandes, la latencia introducida puede ser mayor de lo esperado para muchas aplicaciones. Además, con la aparición de IoT, los dispositivos conectados no están necesariamente en manos de un humano, lo que significa que no es estrictamente necesario que exista una gran población en una zona para que haya muchas conexiones.

El crecimiento en la cantidad de conexiones representa un desafío importante, sumado a la falta de conectividad estable de muchas regiones rurales. Sin embargo, es interesante examinar los proyectos e inversiones actuales que se están llevando a cabo en materia de infraestructuras TIC. Por ejemplo, en julio de 2020, la Junta de Castilla y León (España) aportó 4 millones de euros a la convocatoria estatal de subvenciones para la extensión de Internet en el medio rural [25].

A pesar de las dificultades de acceso a Internet en entornos mayoritariamente rurales, tecnologías como la agricultura inteligente son muy útiles y están creciendo. Además, en regiones donde hay que recorrer grandes distancias, el transporte en coche está muy valorado y, por tanto, las nuevas tecnologías de automoción inteligente también tienen una gran demanda. Otro campo de acción importante de MEC en este tipo de entornos es el cuidado de la salud, que no distingue entre ubicación o densidad de población. Si una persona necesita atención médica en un lugar remoto, la atención médica remota podría incluso salvarle la vida. Resulta importante también que con la implementación de MEC, los problemas causados por una conexión a Internet intermitente y/o baja capacidad, frecuente en áreas rurales, se pueden aliviar porque, en ciertas aplicaciones los servidores MEC se pueden usar para atender solicitudes sin necesidad estricta de tener una conexión a Internet estable y de alta capacidad.

El Foro Económico Mundial (WEF) estimó que si las soluciones de IoT se implementaran en el 50-75% de las cadenas de suministro en los países desarrollados para 2020, se generarían ahorros de 10 a 50 millones de toneladas de alimentos [26]. Esta cadena de suministro involucra el trabajo realizado en áreas rurales, donde generalmente se producen los alimentos para las ciudades. Gracias a las tecnologías de Internet táctil, se podrán controlar dispositivos desde ubicaciones diferentes, esto puede mejorar la productividad de áreas escasamente pobladas al disminuir la necesidad de desplazamiento físico humano, por ejemplo, en la recolección de cultivos, el mantenimiento de infraestructura y tareas tan importantes como cirugías remotas.

En regiones rurales de escasa densidad de población, las tecnologías MEC tienen un gran potencial y muchas aplicaciones. La mayoría de estas aplicaciones se complementan con tecnologías de 5G y, como vimos en la Fig. 5, el despliegue comercial de 5G está básicamente empezando. Eso quiere decir que

hay mucho trabajo por hacer para implementar este tipo de tecnologías, pero también significa una gran oportunidad de progreso y desarrollo si el trabajo se hace bien.

Agradecimientos

La investigación desarrollada en este artículo ha sido financiada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER a través del proyecto DISRUPTIVE del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020, el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España (ONOFRE-2: TEC2017-84423-C3-1P y Go2Edge: RED2018-102585-T), y la Consejería de Educación de Castilla y León y el FEDER (ARTEMIS: VA231P20). Las opiniones son de exclusiva responsabilidad de los autores que las emiten.

Referencias

1. Chettri, L., Bera, R.: A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems, (2020). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2948888>
2. Fan, Q., Liu, L.: A survey of challenging issues and approaches in mobile cloud computing. En: Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, PDCAT Proceedings. pp. 87-90. IEEE Computer Society (2016). <https://doi.org/10.1109/PDCAT.2016.032>
3. Hu, Y.C., Patel, M., Sabella, D., Sprecher, N., Young, V.: Mobile Edge Computing A key technology towards 5G. ETSI White Pap. No. 11 Mob. 1-16 (2015)
4. Liu, Y., Peng, M., Shou, G., Chen, Y., Chen, S.: Toward Edge Intelligence: Multi-access Edge Computing for 5G and Internet of Things. IEEE Internet Things J. 7, 6722-6747 (2020). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3004500>
5. Porambage, P., Okwuibe, J., Liyanage, M., Ylianttila, M., Taleb, T.: Survey on MultiAccess Edge Computing for Internet of Things Realization, (2018). <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2849509>
6. Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta, S., Sabella, D.: On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration. IEEE Commun. Surv. Tutorials. 19, 1657-1681 (2017). <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2705720>

7. Dong, Y., Han, C., Guo, S.: Joint optimization of energy and qoe with fairness in cooperative fog computing system. En: 2018 IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage, NAS 2018 Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2018). <https://doi.org/10.1109/NAS.2018.8515738>
8. Ning, Z., Dong, P., Kong, X., Xia, F.: A cooperative partial computation offloading scheme for mobile edge computing enabled internet of things. *IEEE Internet Things J.* 6, 4804-4814 (2019). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2868616>
9. Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J.L., Bouten, N., De Turck, F., Boutaba, R.: Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutorials.* 18, 236-262 (2016). <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2477041>
10. Description of Network Slicing Concept | NGMN. <https://www.ngmn.org/publications/description-of-network-slicing-concept.html>, accedido 2020/11/20
11. Prensankar, G., Di Francesco, M., Taleb, T.: Edge Computing for the Internet of Things: A Case Study. *IEEE Internet Things J.* 5, 1275-1284 (2018). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2805263>
12. Zayas, A.D., Merino, P.: The 3GPP NB-IoT system architecture for the Internet of Things. En: 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops, ICC Workshops 2017. pp. 277-282. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2017). <https://doi.org/10.1109/ICCW.2017.7962670>
13. Coronado, E., Cebrian-Marquez, G., Riggio, R.: Enabling autonomous and connected vehicles at the 5G network edge. En: Proceedings of the 2020 IEEE Conference on Network Softwarization: Bridging the Gap Between AI and Network Softwarization, NetSoft 2020. pp. 350-352. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2020). <https://doi.org/10.1109/NetSoft48620.2020.9165444>
14. Avino, G., Giordanino, M., Frangoudis, P.A., Vitale, C., Casetti, C., Chiasserini, C.F., Gebu, K., Ksentini, A., Stojanovic, A.: A MEC-based Extended Virtual Sensing for Automotive Services; A MEC-based Extended Virtual Sensing for Automotive Services. (2019). <https://doi.org/10.23919/EETA.2019.8804512>
15. Fettweis, G.: The Tactile Internet. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 64-70 (2014)
16. Aazam, M., Harras, K.A., Zeadally, S.: Fog Computing for 5G Tactile Industrial Internet of Things: QoE-Aware Resource Allocation Model. *IEEE Trans. Ind. Informatics.* 15, 3085-3092 (2019). <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2902574>
17. Dai, J., Zhang, Z., Mao, S., Liu, D.: A view synthesis-based 360° VR caching system over MEC-Enabled C-RAN. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 30, 3843-3855 (2020). <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2019.2946755>

18. Oliver, S.T., González-Pérez, A., Guijarro, J.H.: An IoT proposal for monitoring vineyards called senviro for agriculture. En: ACM International Conference Proceeding Series. pp. 1-4. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2018). <https://doi.org/10.1145/3277593.3277625>
19. Fang, Y., Bin, W., Huang, F., Tang, W.: Research on teleoperation surgery simulation system based on virtual reality. En: Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). pp. 5830-5834. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2015). <https://doi.org/10.1109/WCI-CA.2014.7053716>
20. Fernández, L.C., Urrecho, J.: Envejecimiento y desequilibrios poblacionales en las regiones españolas con desafíos demográficos / Ageing and population imbalances in the Spanish regions with demographic challenges. *Ería*. 1, 21 (2017). <https://doi.org/10.17811/er.1.2017.21-43>
21. Consultar el mapa de cobertura móvil 5G, 4G+,LTE 4G, 3G o 2G | Vodafone particulares, <https://www.vodafone.es/c/conocenos/es/vodafone-espana/mapacobertura-movil/>, accedido 2020/11/19
22. Brokopp, E., Manager, P., Kayibanda, R., of Task, H., Dowgialo, P., Falcinelli, A., Fiteni, A., Marczinko, A., Popescu, A., Spang, M., Venske, L., Zych, A., Brokopp, N.E., Verity, J., Ivanova, I., Stefanov, M.: Special Report: Broadband in the EU Member States: despite progress, not all the Europe 2020 targets will be met. (2018)
23. DeMaagd, K.: The myth of population density and ICT infrastructure. En: Proceedings of the 42nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS (2009). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2009.442>
24. Qué es el 4G+ o cuánto del 5G se está incorporando a las redes actuales, <https://www.xataka.com/moviles/que-4g-cuanto-5g-se-esta-incorporando-a-redesactuales>, accedido 2020/11/20
25. La Junta de Castilla y León aporta 4 millones de euros a la convocatoria estatal de subvenciones para la extensión de Internet en el medio rural | Comunicación | Junta de Castilla y León, https://comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/12847212_58244/NotaPrensa/1284970591667/Comunicacion, accedido 2020/11/25
26. Maclennan, D.W., Meyerson, B., Shah, R., Lambertini, M.: Innovation with a Purpose. World Economic Forum. (2018)

