

## COMPARATIVA DE ESTRATEGIAS DE DESPLIEGUE DE REDES MEC EN CASTILLA Y LEÓN

### COMPARISON OF MEC NETWORK DEPLOYMENT STRATEGIES IN CASTILLA Y LEÓN

Camilo ANZOLA-ROJAS<sup>1</sup> , Ramón J. DURÁN BARROSO<sup>1</sup> ,  
Ignacio DE MIGUEL<sup>1</sup> , Javier PARRA-DOMÍNGUEZ<sup>2</sup> , Andrea GIL-EGIDO<sup>2</sup> ,  
Noemí MERAYO<sup>1</sup> , Juan Carlos AGUADO<sup>1</sup> , Patricia FERNÁNDEZ<sup>1</sup> ,  
y Evaristo J. ABRIL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> *Universidad de Valladolid, E.T.S.I. de Telecomunicación, Campus Miguel Delibes, 47011 Valladolid, España*

{camilo.anzola, rduran, noemer, juancarlos.aguado.manzano}@tel.uva.es

<sup>2</sup> *BISITE Grupo de Investigación. Universidad de Salamanca. Edificio Multiusos I+D+i, Calle Espejo, 2, 37007, Salamanca, España*

{javierparra, age}@usal.es

RESUMEN: La computación de borde multiacceso o *Multi-access Edge Computing* (MEC) es una tecnología disruptiva basada en acercar los recursos de computación distribuidos en la red a los usuarios finales. Gracias al uso de MEC se reduce la latencia y congestión en las redes haciendo posible la implementación de múltiples aplicaciones novedosas como realidad virtual, realidad aumentada y conducción autónoma, por nombrar algunas. La planificación de redes MEC no solo consiste en distribuir los servidores MEC entre sus potenciales ubicaciones sino también en diseñar la red para interconectar los recursos MEC, las estaciones base (BSs, *base stations*) y la pasarela de la red de área amplia (WAN, *Wide Area Network*) para su conexión a Internet o a recursos en la nube. Debido a su gran ancho de banda y flexibilidad, los enlaces de fibra son en muchas ocasiones la mejor opción para

estas conexiones. El coste de despliegue de la fibra es especialmente importante en zonas poco pobladas, ya que la distancia entre los puntos a conectar es mucho mayor que en entornos urbanos. En este artículo se realiza un estudio de distintas metodologías de despliegue de redes MEC en la región POCTEP de Castilla y León, España, comparando las características y los costes de cada propuesta. Los esquemas estudiados se diferencian en cuanto a la estrategia de conexión de las pasarelas WAN con los centros de datos MEC (MECDCs). Se encontró que resulta conveniente implementar conexiones en anillo tanto por razones económicas como de resistencia a fallos, además, los resultados sugieren que es preferible conectar toda la zona de Castilla y León con un único anillo, que implementar anillos más pequeños para cada provincia.

**PALABRAS CLAVE:** multi-access edge computing; MEC; Wide Area Network; WAN; servidores; redes ópticas.

**ABSTRACT:** Multi-access Edge Computing (MEC) is a disruptive technology based on bringing computing resources distributed in the network closer to end users. Thanks to the use of MEC, latency and congestion in the networks are reduced, making it possible to implement multiple innovative applications such as virtual reality, augmented reality and autonomous driving, to name a few.

MEC network planning not only consists of distributing MEC servers among their potential locations but also designing the network to interconnect MEC resources, base stations (BSs), and the Wide Area Network (WAN) gateway.

WAN, Wide Area Network) for your connection to the Internet or cloud resources. Due to its high bandwidth and flexibility, fiber links are often the best option for these connections. The cost of deploying fiber is especially important in sparsely populated areas since the distance between the points to be connected is much larger than in urban environments. In this article, a study of different MEC network deployment methodologies in the POCTEP region of Castilla y León, Spain, is carried out, comparing the characteristics and costs of each proposal. The studied schemes differ in terms of the connection strategy of the WAN gateways with the MEC data centers (MECDCs). It was found that it is convenient to implement ring connections both for economic reasons and for resistance to failures, in addition, the results suggest that it is preferable to connect the entire area of Castilla y León with a single ring, than to implement smaller rings for each province.

KEYWORDS: multi-access edge computing; MEC; Wide Area Network; (WAN); servers; optical networks.

## 1 Introducción

La importancia, complejidad y alcance de Internet ha crecido de forma acelerada durante los últimos años. El Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*) [1] está haciendo que haya cada vez más dispositivos conectados, con una amplia variedad de aplicaciones y requerimientos, por lo cual la red necesaria para mantener la conectividad debe estar en constante revisión y mejora. Es frecuente que los dispositivos conectados a una red no cuenten con todas las capacidades que necesitan, principalmente en términos de almacenamiento de información y potencia de cómputo, por lo cual resulta conveniente que estos dispositivos limitados se apoyen en servidores externos para completar sus tareas. La computación en la nube (CC, *Cloud Computing*), es el paradigma actual más popular para brindar apoyo a dispositivos que requieran de ayuda de servidores. La idea principal de CC es conectar los dispositivos finales a servidores «en la nube», es decir, en una ubicación remota que por lo general se encuentra a una distancia considerable de los dispositivos o usuarios. Si bien CC permite la implementación de múltiples aplicaciones y presenta una utilidad evidente, el hecho de que los servidores se encuentren a grandes distancias de los usuarios implica dificultades para algunas aplicaciones de altas exigencias en términos de latencia y ancho de banda, como realidad virtual, realidad aumentada y conducción autónoma, entre otras. Si los servidores están lejos, la señal tardará más en llegar, por lo que habrá mayor latencia, y a su vez, una porción mayor de la red tendrá que usarse para transportar estas señales, por lo que aumentará la congestión.

Como solución a los inconvenientes mencionados de CC surgió el paradigma de Computación móvil de Borde (MEC, *Mobile Edge Computing*) [2], la palabra «borde» o *edge* hace referencia a que, en lugar de en una «nube» lejana, los servidores se sitúan en el borde de la red local, por lo cual están mucho más cerca de los usuarios o dispositivos finales que en CC, mitigando así notablemente los problemas de latencia y congestión mencionados anteriormente. En 2017, la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*)

cambió la palabra «*Mobile*» en MEC por «*Multi-Access*», para incluir en el concepto no sólo tecnologías móviles, sino también otras como redes fijas y Wi-Fi, de tal manera que el significado estándar de MEC es ahora *Multi-Access Edge Computing*.

## 2 Planificación de redes MEC

Un problema particular en la implementación de la tecnología MEC es la planificación física de la red, cuyo objetivo es definir las ubicaciones de los servidores y de las conexiones de la manera más conveniente posible. Como en MEC los servidores deben estar cerca de los dispositivos finales, es necesario definir un conjunto de ubicaciones para los servidores de tal manera que se brinde cobertura a usuarios en distintas zonas, manteniendo los requerimientos de las aplicaciones y buscando el mayor ahorro económico. Dadas las altas exigencias de las aplicaciones de MEC, (por ejemplo, realidad virtual, que requiere gran ancho de banda y baja latencia), el medio de transmisión que se considera más conveniente para conectar servidores es la fibra óptica, que cuenta con las prestaciones adecuadas.

Un escenario común, y que será el supuesto en este artículo, es en el cual una serie de dispositivos se conectan por medios inalámbricos a una BS, la cual puede contar con servidores MEC, en cuyo caso realizará las tareas solicitadas por los usuarios de manera local. Si la BS a la que se conecta el usuario no cuenta con servidores, se redirigirán a través de fibra óptica las solicitudes de servicios a otra BS que sí tenga servidores, estas BS con servidores reciben el nombre de centros de datos MEC (MEC-DCs). Además de la comunicación entre usuarios y servidores MEC, la red necesita conexión con el exterior (Internet), por lo cual cada MEC-DC debe contar con una conexión a la pasarela WAN, a través de la cual se enviarán/recibirán aquellos datos dirigidos/provenientes de ubicaciones lejanas y que no necesiten latencias reducidas. En la Fig. 1 se ilustra el escenario de red descrito, y que se tendrá en cuenta a lo largo de este documento.

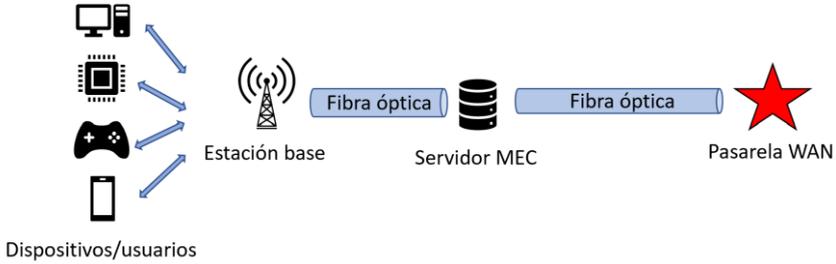


Fig. 1. Esquema de una red MEC.

### 3 Caso de uso: despliegue MEC en Castilla y León

Actualmente es usual que los estudios y despliegues de redes y servicios MEC se realicen sobre entornos urbanos con alta densidad poblacional y sin tener en cuenta la infraestructura necesaria para interconectar los servidores. Esto se debe a que las áreas densamente pobladas suelen representar un mayor retorno de inversión para quien eventualmente realice la implementación. Adicionalmente, en entornos urbanos usualmente se cuenta con redes de comunicaciones de altas prestaciones, por lo que la planificación de la red puede no ser un problema.

Especialmente cuando se trata de desplegar redes en regiones con baja densidad de población, los costes de las conexiones adquieren especial importancia, pues las distancias entre nodos a interconectar son grandes. Como se describe en [3], la implementación de MEC en entornos rurales con poca población puede implicar múltiples beneficios, haciendo posible el uso de tecnologías como agricultura inteligente, telemedicina y conducción autónoma, entre otras. Desafortunadamente, es frecuente que en áreas poco pobladas no exista una infraestructura adecuada para ofrecer servicios MEC.

La comunidad autónoma española de Castilla y León es el escenario que se ha utilizado para la evaluación y comparación de las estrategias propuestas (ver Sección 4). Castilla y León cuenta con las características idóneas para realizar estudios enfocados en áreas de población dispersa con largas distancias por conectar, por esta razón se ha seleccionado como caso de uso de los modelos propuestos. En concreto, Castilla y León cuenta con una densidad poblacional de

25.42 habitantes por kilómetro cuadrado, cifra que contrasta por ejemplo con la comunidad de Madrid, que tiene 844.53 habitantes por kilómetro cuadrado.

Para la implementación de los modelos se combinaron dos bases de datos existentes: una de ubicaciones de antenas (BSs) [4], y otra de población por municipios [5]. La carga de tráfico asociada a cada BS se estimó basándose en la población de la zona en la que la BS está ubicada, asumiendo que la carga es proporcional a la población.

En la Fig. 2 se muestra el mapa de Castilla y León dividido por provincias, cada una de ellas tiene una ciudad capital con su mismo nombre. Las ciudades capitales están indicadas con estrellas verdes y serán las ubicaciones de las pasarelas WAN en los experimentos analizados en este trabajo.



Fig. 2. Mapa de provincias de Castilla y León con sus capitales.

#### 4 Descripción de las estrategias de despliegue

Dado el potencial beneficio de llevar MEC a entornos rurales y la actual escasez de infraestructura para su despliegue, se hace necesario estudiar distintos métodos de planificación de redes MEC para determinar la estrategia más conveniente en términos técnicos y económicos.

En esta sección se describen tres estrategias de despliegue de redes MEC aplicadas a Castilla y León, todas ellas suponen que la única infraestructura previa son BSs, que cuentan con enlaces de radio para recibir y enviar datos a los usuarios finales cercanos, además se asume que cada capital de provincia cuenta con una pasarela WAN.

Las propuestas aquí presentadas obtienen como resultados los siguientes datos:

- Las ubicaciones de los centros de datos MEC (MEC-DCs) y su respectiva cantidad de servidores.
- La cantidad total de servidores de la red ( $n_s$ ).
- Las conexiones de fibra óptica necesarias para conectar las BSs con los MEC-DCs y los MEC-DCs con la pasarela WAN.
- La longitud (en kms) de la obra civil necesaria para las conexiones ( $l_o$ ).
- La longitud (en kms) del cable de fibra necesaria ( $l_c$ ).

Otro dato relevante que se obtiene de la simulación de cada modelo es el coste total de la red, que se calcula a partir de los demás datos, de acuerdo con la ecuación (1), y que suma los costes relativos a servidores, cable, y obra civil.

$$\text{Coste total} = c_s n_s + c_o l_o + c_c l_c \quad (1)$$

El coste  $c_s$  de un servidor MEC se asumió de 30000 €, basándose en el coste de 16 máquinas Dell R340 [6]. El coste por kilómetro de obra civil  $c_o$  se fijó en 15000 € [7], y el coste por kilómetro del cable de 24 fibras  $c_c$  que se utilizaría es de 1100 € [8].

Las estrategias de despliegue de redes que se estudian en este trabajo tienen como base el modelo de programación lineal entera (ILP, *integer linear programming*) propuesto en [9], añadiendo una restricción de distancia máxima entre BSs y MEC-DCs fijada a 50 km. En los experimentos presentados en esta sección se consideraron 1576 BSs, que corresponden a las antenas de Telefónica en toda Castilla y León, suponiendo inicialmente que el 1% de la población se conecta simultáneamente. A continuación, se analizan las tres estrategias de despliegue consideradas: conexiones WAN en estrella por provincia, conexiones WAN en anillo por provincia y conexiones WAN en anillo para toda la región.

#### 4.1 Conexiones WAN en estrella por provincia

Esta opción aplica la formulación presentada en [9] para cada provincia de Castilla y León, de tal manera que se define un grupo o *cluster* independiente para cada provincia. Dado que cada provincia tiene una pasarela (o *gateway*) WAN, todos los MEC-DCs de una provincia se conectarán a su respectiva pasarela en una topología en estrella con enlaces directos y dedicados. La red obtenida con esta estrategia se ilustra en la Fig. 3 donde se pueden apreciar los enlaces entre BSs y MEC-DCs (*MEC links*) en color azul, los MEC-DCs como puntos rojos, los enlaces entre MEC-DCs y pasarelas WAN (*gateway links*) como líneas rojas, y las pasarelas WAN como estrellas verdes. Se pueden apreciar nueve grupos o *clusters*, correspondientes a las nueve comunidades autónomas de Castilla y León, cada una con una pasarela WAN en su capital.

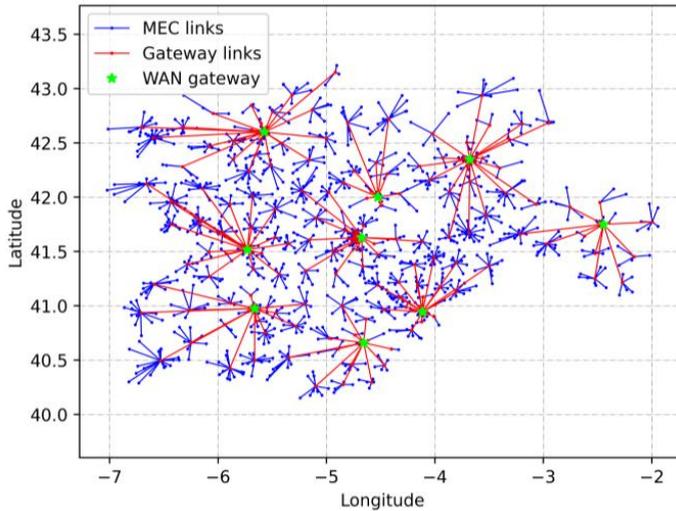


Fig. 3. Conexiones WAN en estrella por provincia.

#### 4.2 Conexiones WAN en anillo por provincia

En este caso se mantienen todos los enlaces entre BSs y MEC-DCs del caso anterior, pero la diferencia es que los MEC-DCs y la pasarela de la respectiva provincia se conectan por medio de una topología en anillo, es decir, se conectarán todos los MECDCs y el nodo WAN entre sí con un ciclo cerrado que



De forma similar al caso anterior, la Fig. 5 muestra la red obtenida. En este caso las líneas rojas corresponden a las conexiones que forman los anillos de cada provincia.

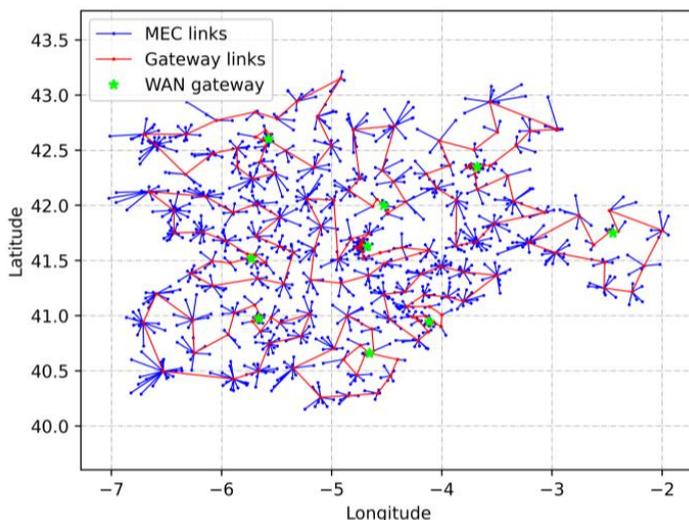


Fig. 5. Conexiones WAN en anillo por provincias.

#### 4.3 Conexiones WAN en anillo para toda Castilla y León

En lugar de desplegar anillos para cada provincia, esta opción conecta todos los MECDCs obtenidos y las pasarelas WAN de toda la comunidad autónoma utilizando un solo anillo. Se siguen teniendo en cuenta las nueve pasarelas WAN de las capitales de provincia.

El cálculo de los cables de fibra en este caso es similar al anterior, a diferencia de que ahora no hay que contar la cantidad de MEC-DCs que hay en todo el anillo, sino los que hay entre cada nodo WAN y el siguiente a lo largo del anillo global, como se ilustra en la Fig. 6. De esta forma, cada MEC-DC está conectada a dos nodos WAN (primario y backup) y consigue ofrecer tolerancia respecto a cortes en las fibras (como en el caso anterior) y, además, respecto a fallos en un nodo WAN. De esta forma, consigue ofrecer mayor resiliencia que las opciones anteriores.

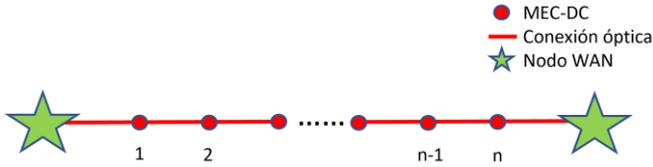


Fig. 6. MEC-DCs entre nodos WAN consecutivos.

En esta modalidad se determinará la cantidad de cables paralelos entre cada pareja de terminales WAN según la cantidad de MEC-DCs entre ellas, de manera similar a la ecuación (2). La Fig. 7 ilustra la red obtenida en este caso, se puede ver que, a diferencia del caso anterior, todas las pasarelas WAN y los MEC-DCs están unidos por un único anillo.

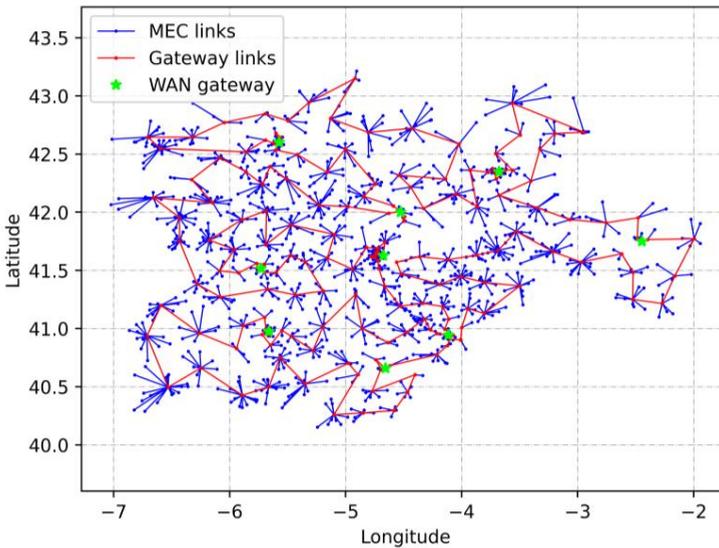


Fig. 7. Conexiones WAN en anillo para toda Castilla y León.

## 5 Análisis de resultados

En esta sección se comparan y analizan los resultados de las distintas estrategias de despliegue descritas anteriormente. La Tabla 1 resume los resultados de

los ejemplos de cada estrategia mostrados en la Sección 4. Se puede apreciar que las estrategias en anillo resultaron tener un menor coste asociado que la propuesta en estrella. Las tres opciones parten de la misma etapa inicial (la formulación de [9]) y lo único que varía es la forma de conectar MEC-DCs y terminales WAN, así que para todos los casos la cantidad y ubicación de servidores y MEC-DCs es igual. Es evidente que el mayor componente del coste es debido a la obra civil.

Para las propuestas en anillo, como se explicó anteriormente, existen casos en los que hay que desplegar varios cables de fibra por un mismo camino (cuando hay más de 24 puntos entre extremos), razón por la cual la longitud del cable es mayor a la longitud de la obra. Aunque el despliegue de varios cables implica un coste adicional, las propuestas de anillo siguen siendo menos costosas que la opción en estrella.

<b>Estrella Provincias</b>		<b>Anillo Provincias</b>	<b>Anillo CyL</b>
Obra civil (kms)	15 070.15	13 141.72	13 082.4
Cable (kms)	15 070.15	15 914.83	15 723.43
Servidores MEC	392	392	392
Coste obra civil (€)	226 052 250	197 125 800	196 236 000
Coste cable (€)	16 577 165	17 506 313	17 295 773
Coste servidores MEC (€)	11 760 000	11 760 000	11 760 000
<b>Coste total (€)</b>	<b>254 389 353</b>	<b>226 392 048</b>	<b>225 291 788</b>

Tabla 1. Comparación de resultados de las diferentes estrategias.

Como se mencionó anteriormente, utilizar conexiones en anillo entre MEC-DC y nodos WAN (dos últimos casos) implica una ventaja independiente de los costes, que no aparece cuantificada en la tabla, y es que, al implementar un lazo cerrado, la topología en anillo presenta mayor resistencia a fallos. En el caso del Anillo por provincias la resiliencia es frente al corte en una fibra mientras que el Anillo CyL protege frente al corte en una fibra y también frente al fallo de un nodo WAN.

Respecto a la tercera opción, en este caso la conexión de forma global a toda Castilla y León del modelo con conexiones en anillo resulta la menos costosa de

las tres, pues en este caso para desplegar el anillo que conecta todos los MEC-DCs y las pasarelas WAN, se requiere de una menor cantidad de fibra que para desplegar un anillo en cada provincia, aunque las cifras son bastante similares para los dos casos de conexiones en anillo. Adicionalmente, la opción del anillo global (CyL) es la opción que ofrece mayor nivel de protección frente a fallos.

Una comparación del coste total de los tres modelos para distintas fracciones de población conectada se muestra en la Fig. 8. Se puede ver que la tendencia se mantiene, siendo la opción en estrella la más costosa y las opciones de anillo presentan resultados similares entre sí, pero siempre menor coste que la opción en estrella. Al aumentar la población el coste sube, pues se hace necesario un incremento en la cantidad de servidores MEC para hacer frente al aumento de tráfico. El coste de las conexiones (obra y cables) se mantiene prácticamente igual ante variaciones de la población, razón por la cual aún para valores muy bajos de población conectada, el coste en todos los casos mantiene un valor considerable, pues lo único que disminuye al reducir la población es la cantidad de servidores mas no las conexiones.

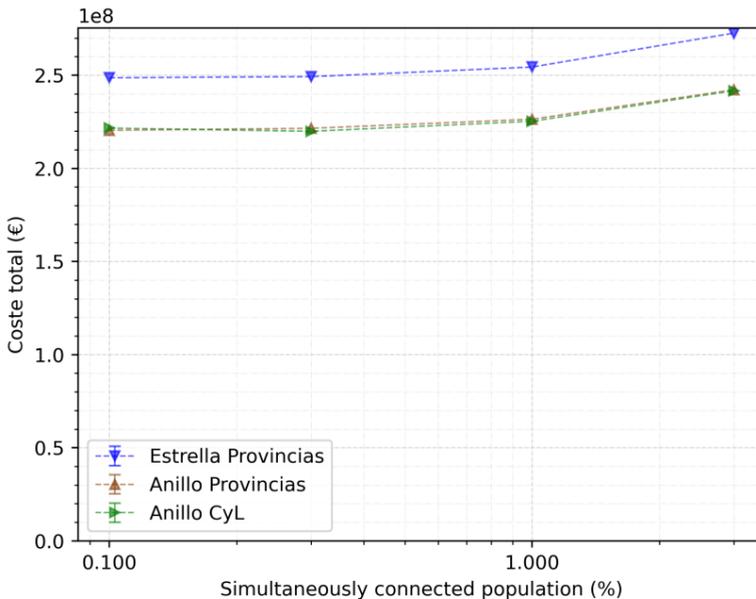


Fig. 8. Comparación de coste dependiendo de la población conectada.

## 6 Conclusiones

En este artículo se han presentado y comparado distintas estrategias para el despliegue de redes MEC en Castilla y León, dado que dicha área cuenta con una baja densidad de población y largas distancias a ser conectadas, el coste relacionado a las conexiones tiene especial importancia. Se tomó como base una red inicial de conexiones en estrella entre los MEC-DCs y la pasarela WAN de cada provincia, y se implementaron dos opciones adicionales introduciendo conexiones en anillo en dos distintas formas: anillos para cada provincia y un único anillo para toda Castilla y León. Los resultados mostraron que las soluciones en anillo implican un menor coste total, lo cual, añadido a las ventajas de tolerancia a fallos de la topología en anillo, hacen evidente la conveniencia de dichas implementaciones. Adicionalmente, para el escenario estudiado, la estrategia de conectar en un solo anillo toda la red resultó más conveniente que implementar anillos independientes para cada provincia, pues es la opción que mayor nivel de protección ofrece.

## 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, la Consejería de Educación de Castilla y León y el FEDER (VA231P20), y el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Investigación (Proyecto PID2020-112675RB-C42 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y RED2018-102585-T). Las opiniones son de exclusiva responsabilidad de los autores que las emiten.

## Referencias

1. Atzori L., Iera A., Morabito G.: The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*. 54, 2787-2805 (2010).
2. Hu Y.C., Patel M., Sabella D., Sprecher N., Young V.: Mobile Edge Computing A key technology towards 5G. ETSI White Paper No 11 Mobile. 1-16 (2015).

- C. Anzola-Rojas, R. J. Durán, I. de Miguel, J. Parra-Domínguez, A. Gil-Egido, N. Merayo, J. C. Aguado, P. Fernández y E. J. Abril / *Comparativa de estrategias de despliegue de redes MEC en Castilla y León*
3. Anzola-Rojas C., Durán Barroso R.J., De Miguel I., Parra-Domínguez J., Chaves A.: Multi-access Edge Computing: Características y aplicación en entornos rurales de baja densidad de población. III Workshop on Disruptive Information and Communication Technologies for Innovation and Digital Transformation, 59-75 (2022).
  4. Infoantenas, <https://antenasgsm.com/> (2021).
  5. Instituto Nacional de Estadística. Cifras oficiales de población de los municipios españoles: Revisión del Padrón Municipal, [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736177011&menu=resultados&idp=1254734710990](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177011&menu=resultados&idp=1254734710990) (2022).
  6. Dell. Servidor para rack 1U PowerEdge R340 para pequeñas empresas | Dell España, [https://www.dell.com/es-es/work/shop/productdetailstxn/power-edge-r340#techspecs\\_section](https://www.dell.com/es-es/work/shop/productdetailstxn/power-edge-r340#techspecs_section) (2021).
  7. USTelecom, Dig Once: A Solution for Rural Broadband – USTelecom, <https://www.ustelecom.org/dig-once-a-solution-for-rural-broadband/> (2021).
  8. Fibercomm. CABLE 1X24 FIBRA ÓPTICA SM(9/125) INT/EXT, FIBRA DE VIDRIO, HLFR | Fibercom, <http://tienda.fibercom.es/cable-1x24-fo-sm-9-125-interior-exterior-fibra-de-vidrio-hlfr.html> (2021).
  9. Anzola-Rojas C., Barroso R.J.D., De Miguel I., Merayo N., Aguado J.C., Fernández P., et al.: Joint Planning of MEC and Fiber Deployment in Sparsely Populated Areas. 25th International Conference on Optical Network Design and Modelling, ONDM, 5-7 (2021).
  10. Croes G.A. A Method for Solving Traveling-Salesman Problems. *Oper Res.* 6: 791-812 (1958).

