

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES



TESIS DOCTORAL

**«ANÁLISIS DE MODELOS DE NEGOCIO PARA
OPERADORES DE REDES 5G SOPORTADOS POR
NETWORK SLICING»**

Autor: Edison Yuver Moreno Cardenas

Director: Dr. Luis Guijarro Coloma

Valencia, Abril 2024

RESUMEN

La tesis doctoral se enmarca en la línea de investigación de Economía y Regulación de las Telecomunicaciones. El desarrollo de la tesis se ha llevado a cabo dentro del programa de doctorado en Telecomunicaciones y del Departamento de Comunicaciones de la Universitat Politècnica de València. A lo largo del desarrollo de la tesis, se ha participado en proyectos de I+D competitivos como: *Slicing dinámico en redes de acceso radio 5G - ATLAS (PGC2018-094151B-I00)* y *Evolución de la red de acceso hacia 6G para servicios masivos y de baja latencia (PID2021-123168NB-I00)*. Asimismo, se ha llevado a cabo un periodo de investigación en el IMT Atlantique en la ciudad de Rennes, localizada al norte de Francia, como parte del desarrollo de la tesis. Durante este periodo se ha analizado y finalizado dos escenarios y dos modelos de negocio propuestos para los operadores de redes. Los resultados obtenidos se han publicado en una revista científica de reconocimiento internacional.

En esta tesis, se plantean dos modelos de red y dos modelos de negocio basándonos en las características técnicas y económicas de las Redes de Quinta generación - *Fifth-Generation Networks (5G)* para la compartición de recursos de red entre dos servicios dentro de la red 5G, es decir, entre los servicios Comunicaciones ultra confiables de baja latencia - *Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC)* y Banda ancha móvil mejorada - *Enhance Mobile Broadband (eMBB)*, y entre los servicios URLLC y Comunicaciones masivas de tipo máquina - *Massive Machine Type Communications (mMTC)*, los cuales son ofrecidos por los operadores a sus usuarios, utilizando la tecnología de Segmentación de Red - *Network Slicing (NS)*. Parte del desarrollo de la tesis, se ha realizado una revisión exhaustiva del estado del arte en modelos de negocio existentes y nuevos modelos para los operadores de redes 5G, abordando tanto los aspectos técnicos como los económicos para determinar su viabilidad económica. Además, se han planteado dos escenarios. El primer escenario denominado escenario Red Compartida - *Shared Network (SN)* es una red 5G sin NS, donde todos los servicios son tratados de forma igual y el segundo escenario denominada escenario NS es una red 5G con NS, donde todos los servicios reciben un tratamiento diferente y el mecanismo que permite tratar los servicios diferentes es el NS. El escenario SN se ha modelado por medio de un modelo de red, donde hay una cola M/M/1 sin prioridad de servicio (Primero en entrar, Primero en salir - *First In, First Out (FIFO)*), de modo que todos los paquetes de los servicios son tratados de forma igual. El escenario NS se ha modelado por medio de un modelo de red, donde hay una cola M/M/1 con dos prioridades de servicio, asignando una prioridad alta al servicio URLLC por sus características en relación a la Calidad de servicio - *Quality of Service (QoS)*, es decir, los paquetes de los servicios son tratados de forma diferente. Se utiliza el modelo de cola M/M/1 para representar la provisión de dos servicios distintos (URLLC y eMBB o URLLC y mMTC) a los usuarios finales y para evaluar la compartición eficiente de los recursos de red entre estos servicios dentro de una red 5G. Además, los paquetes son generados de manera independiente por cada uno de los usuarios, siguiendo un proceso de Poisson, mientras que los tiempos de servicio de los paquetes se

distribuyen de manera exponencial. En el modelo de red 5G propuesto, las características de la QoS de cada uno de los servicios (URLLC, eMBB y mMTC) son la métrica de calidad más relevante, tales como: el tiempo de transmisión de paquetes, sensibilidad al retardo y prioridad de servicio. Asimismo, la compartición de recursos de red tanto para los servicios URLLC y eMBB, así como para los servicios URLLC y mMTC se ha analizado.

Además, se ha evaluado la viabilidad de los dos modelos de negocio propuestos para la prestación de los servicios URLLC y eMBB/mMTC en una red 5G sin NS y con NS a los usuarios finales desde un punto de vista económico, donde cada uno tiene su propia base de suscriptores sin competencia entre usuarios. Estos dos modelos de negocio propuestos son el Integrado, en el cual un único operador de red ofrece ambos servicios, y el Especializado, donde dos operadores distintos ofrecen un servicio cada uno. Por otro lado, se realiza el análisis de los modelos de negocio desde el enfoque del sistema y la económica. Mientras que la parte económica se ha modelado con base en los beneficios de los operadores y las utilidades de los usuarios. La decisión de suscripción de los usuarios al operador de red que les provee el servicio se basa en la evaluación de la QoS que perciben y el precio que cobra el operador, mientras que el concepto del equilibrio de Wardrop es utilizado para realizar el análisis. Con relación a los beneficios de los operadores, se contempla que estos dependen de la cantidad de usuarios que se llegan a suscribir al servicio ofrecido. No se tienen en cuenta los costos de inversión en ambos modelos de negocio. Asimismo, la teoría de juegos es aplicado en cada modelo de negocio para la evaluación de su viabilidad económica. La evaluación consiste en un juego de dos etapas, donde el juego se resuelve a través de la inducción hacia atrás, de manera que, se optimizan las funciones de utilidad del usuario y los beneficios de los operadores en base a la resolución de las funciones de Mejor respuesta - *Best Response* (BR) y a diferentes valores de parámetros, consiguiendo el equilibrio de Nash. Además, se ha planteado el óptimo social, que es una situación que incorpora la participación de una entidad reguladora de servicios 5G en el mercado, quien tiene el objetivo de maximizar el bienestar social mediante la distribución de usuarios o recursos de red por servicio. Los resultados del óptimo social son utilizados para la comparación de sus resultados con los resultados de los dos modelos de negocio en función del bienestar social.

En esta investigación, se han empleado diferentes conceptos tales como de la microeconomía, la teoría de juegos y la teoría de colas para evaluar la viabilidad económica de los modelos de red 5G y los modelos de negocio. Esto nos ha permitido comprender las decisiones en equilibrio tomadas tanto por los operadores, así como por los usuarios, y analizar el impacto de estas decisiones en los beneficios de todos los actores involucrados en los modelos. Además, se han identificado los requisitos mínimos para viabilidad de los modelos de negocio propuestos en las redes 5G.

Por último, los resultados del análisis de los modelos de negocio y los modelos de red 5G para la provisión de los servicios URLLC y eMBB/mMTC con recursos de red compartidos demuestran que en una red 5G con NS, los servicios URLLC y eMBB/mMTC pueden compartir los recursos sin afectar la QoS del servicio URLLC. Sin embargo, en una red 5G sin NS, la QoS del servicio URLLC se ve perjudicada. Además, en una red 5G con NS, los operadores pueden establecer un precio más alto para el servicio URLLC, ya que los usuarios URLLC estarían dispuestos a pagar un precio mayor debido a sus características de QoS en comparación con los servicios eMBB y mMTC. Además, se ha realizado una comparación entre los dos modelos de negocio y el óptimo social, considerando el bienestar social como criterio de evaluación. Este análisis nos lleva a la conclusión de que la mejor opción para ofrecer los servicios URLLC y eMBB/mMTC es mediante la incorporación de NS en una red 5G, donde ambos servicios son ofrecidos por un único operador. La adopción de NS en una red 5G presenta diversas mejoras en términos de precios de servicios, tasas de transmisión, número de usuarios y beneficios del operador. Estos resultados respaldan los beneficios de compartir recursos de red entre los servicios URLLC y eMBB/mMTC.

En resumen, se destaca que la implementación de NS en una red 5G, junto con un modelo de negocio Integrado, donde un único operador ofrece los servicios URLLC y eMBB/mMTC, es la opción más favorable en cuanto al bienestar social. Esta conclusión se basa en la mejora de diferentes aspectos clave que impactan tanto a los usuarios como al operador, fortaleciendo la viabilidad económica en la prestación de servicios en redes 5G.