

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES**



**TESIS DOCTORAL**  
**DOCTORADO EN TELECOMUNICACIÓN**

«ANÁLISIS BASADO EN TEORÍA DE JUEGOS DE MODELOS DE NEGOCIO  
DE OPERADORES MÓVILES VIRTUALES EN REDES 4G Y 5G»

**Autor:** Erwin Sacoto Cabrera  
**Supervisor:** Dr. Luis Guijarro Coloma

València, Septiembre 2020



## Agradecimientos

*Nada es más honorable que un corazón agradecido. Séneca*

Al terminar esta tesis doctoral, quiero expresar mi agradecimiento a todas las instituciones y personas que me han apoyado y han vivido conmigo esta experiencia.

En primer lugar, expreso mi gratitud a mi supervisor, el Dr. Luis Guijarro Coloma, por su valiosa guía y orientación durante todo el período de doctorado.

A la Universidad Politécnica Salesiana por el apoyo económico a través de la beca que me permitió cursar los estudios doctorales, así como a la Universitat Politècnica de València por todas las facilidades y recursos proporcionados; de igual manera a quienes impulsaron mediante políticas públicas en el Ecuador la formación de profesionales fuera del país.

A los miembros del grupo de investigación *GIRBA* y del laboratorio de ingeniería de tráfico por crear un excelente ambiente para desarrollar nuestra investigación, por su ayuda y amistad, especialmente a Julián, Ángel, Luis, Canek, Israel, Edison y a todas las personas que han trabajado en el laboratorio durante estos años.

Al grupo de investigación GIHPC4 y amigos de la Universidad Politécnica Salesiana que me ayudaron durante el tiempo de estancia en España, especialmente a Gabriel, Pablo, Gustavo, Berthita, Vladimir, Luis, Diego, Jennifer, Walter, Xavier, Víctor y Julio.

Al *Colegio Mayor San Juan de Ribera*, a Santiago su Director y quienes viven en esta institución, a los amigos del Cartel de las Horas, con quienes compartía en el restaurante *La Vella* las experiencias doctorales, de igual manera, a Juan y Oswaldo por sus consejos y sus palabras de aliento.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia: Guillermina, Gretha, Cynthia, Valentina, Verónica, Juliana, Cristian y a todas las personas que me han brindado su amor y apoyo. Sin ellos, cursar el doctorado no habría sido posible.

*T.:A.:F.:*



## Resumen

Esta tesis se ha desarrollado dentro del marco de la línea de investigación de Economía y Regulación de las Telecomunicaciones. En el programa de Doctorado de Telecomunicaciones por la Universitat Politècnica de València. Como parte del proceso de investigación se participó en los siguientes proyectos de investigación: *Plataforma de servicios para ciudades inteligentes con redes M2M densas* (TIN2013-47272-C2-1-R), *Entrepreneurship in Heterogeneous Wireless Networks* (COHWAN, TIN2010-21378-C02-02) y *ATLAS-Dynamic network slicing in 5G Radio Access*. Así como, se realizó una estancia doctoral en el IMT Atlantique en Rennes- Francia. Como resultado de estas actividades se publicaron varios artículos científicos que permiten sustentar los modelos de negocio para *Operadores Móviles Virtuales* (Mobile Virtual Network Operators-MVNOs) presentados en este documento.

En este estudio, se plantean modelos de negocio que se sustentan en el desarrollo de las características técnicas de *Redes de Cuarta Generación* (Fourth-Generation Networks-4G) y *Redes de Quinta Generación* (Fifth-Generation Networks-5G), que facilitan la compartición de infraestructura de los *Operadores Móviles de Red* (Mobile Network Operators-MNOs). Al respecto, en este documento analiza el estado del arte que permite sustentar la viabilidad técnica de los modelos basados en la compartición de infraestructura, que ha permitido disminuir las barreras de entrada al mercado y el desarrollo de nuevos modelos de negocio para los MVNOs. Sin embargo, los nuevos modelos que permite la compartición de infraestructura deben ser analizados desde el aspecto económico para determinar la viabilidad de los mismos.

Específicamente, en el primer modelo se analiza la viabilidad económica de un MVNO que brinda el servicio a su base de usuarios y divide su tráfico de red a dos MNOs, los que alquilan su capacidad de red al MVNO. En el análisis del modelo se consideran tanto las características del sistema como las económicas. En cuanto a las características del sistema, un MVNO proporciona servicio a los usuarios finales utilizando el soporte de infraestructura de dos MNOs. El servicio proporcionado por el MVNO, se modelada mediante una cola  $M/M/1/\infty$ , donde cada usuario genera paquetes de forma independiente siguiendo un proceso de Poisson. Los tiempos de servicios de los paquetes, se distribuyen exponencialmente. En el sistema propuesto la métrica de calidad más relevante, es el tiempo medio de servicio, que comprende tanto el tiempo de espera como el tiempo medio de servicio. El acuerdo entre el MVNO y los MNOs, es tal que, el MVNO dividirá el tráfico de la red entre los dos MNOs y pagará a cada MNO por el tráfico servido a través de su infraestructura. El MVNO distribuye su flujo a cada MNO con una tasa media de llegada  $\alpha_1\lambda$  y  $(1 - \alpha_1)\lambda$ , respectivamente. En cuanto a las características económicas, los incentivos se modelan a través de las utilidades de los usuarios y los beneficios de los operadores; y la teoría de juegos se utiliza para modelar la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de las capacidades de red de los MNOs.

En el segundo modelo, se analiza la viabilidad económica de dos escenarios para un modelo de negocio en el que, un MNO alquila su infraestructura de red al MVNO y cada operador sirve a su propia base de usuarios. El primer escenario denominado *monopólico*, el MNO presta servicio a las dos bases de usuarios (MNO y MVNO). En el segundo escenario denominado *estratégico*, el MNO presta servicio a su base de usuarios, así como, alquila su infraestructura al MVNO para que preste servicio a su base de usuarios. Para los dos escenarios, la red se ha modelado por una cola con prioridad, utilizando una disciplina de servicio *Compartición Discriminatoria del Servidor* (Discriminatory Processor Sharing-DPS). En el análisis de compartición de infraestructura, se considera un pago  $\delta$  al MNO por cada usuario que accede al servicio de MVNO, así mismo a cada operador se asignan diferentes prioridades. Además, en el análisis de los escenarios descritos; monopólico y estratégico, se consideran escenarios para grupos de usuarios con igual sensibilidad al retardo y

diferente sensibilidad al retardo para los dos servicios. Nuestro objetivo es determinar un equilibrio entre los diferentes actores en el modelo de negocio propuesto que permita determinar si es viable la compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO. Los dos escenarios se comparan con un escenario denominado *Modelo Básico*, en el cual el MNO únicamente sirve a una base de usuarios.

Finalmente, para determinar la viabilidad económica de los diferentes escenarios propuestos para los modelos de negocio, se utilizan conceptos de microeconomía, teoría de juegos y teoría de colas, la cuales han permitido conocer las decisiones en equilibrio que toman los operadores, así como las decisiones en equilibrio de los usuarios; de esta manera se ha obtenido el efecto de estas decisiones sobre los beneficios de todos los agentes del modelo y se han identificado las condiciones bajo las cuales estos nuevos modelos de negocio son viables en entornos de redes 4G y 5G.

Como resultado del análisis de los modelos de negocio para los diferentes escenarios propuestos, se observa que la asociación entre MNOs y MVNOs a través de la compartición de infraestructura es viable económicamente para los modelos propuestos.

En relación a los usuarios, su comportamiento es sustancial para determinar la viabilidad económica de los diferentes modelos de negocio propuestos, por lo tanto, resulta imprescindible explorar diferentes funciones de utilidad que expresen el comportamiento de los usuarios en estudios futuros.

En cuanto a los operadores, en el primer modelo de negocio se demuestra que, la provisión de capacidad de red es un mecanismo válido para optimizar los beneficios de los operadores. Así como, en el segundo modelo de negocio, se demuestra que, la compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO es deseable desde el punto de vista de los usuarios para el modelo de negocio *estratégico*, ya que permite un mayor número de usuarios. Mientras que, desde el punto de vista económico el modelo de negocio *monopólico* es más deseable debido a que ofrece un incentivo mayor a los operadores.

En resumen, en esta tesis se demuestra la viabilidad económica de modelos de negocio de compartición de infraestructura entre MNOs y MVNOs, soportados técnicamente por las características tecnológicas de las redes móviles de última generación.

## Abstract

This thesis has been developed within the framework of the research line of Economics and Regulation of Telecommunications. In the PhD program of Telecommunications by the Universitat Politècnica de València. As part of the research process, we participated in the following research projects: *Service Platform for Smart Cities with Dense M2M Networks* (TIN2013-47272-C2-1-R), *Entrepreneurship in Heterogeneous Wireless Networks* (COHWAN, TIN2010-21378-C02-02) and *ATLAS-Dynamic network slicing in 5G Radio Access*. A doctoral stay at the ITM Atlantique in Rennes, France, was also arranged. As a result of these activities, several scientific articles were published which support the business models for MVNOs presented in this document.

In this study, business models based on the development of the technical characteristics of 4G and 5G are proposed, which facilitate the sharing of the infrastructure of MNOs. In this regard, this document analyzes the state of the art that supports the technical feasibility of models based on infrastructure sharing, which has lowered barriers to market entry and the development of new business models for MVNOs. However, the new models that infrastructure sharing allows, must be analyzed from an economic aspect to determine their viability.

Specifically, the first model analyses the economic viability of an MVNO that provides the service to its user base and splits its network traffic between two MNOs, which rent their network capacity to the MVNO. The analysis of the model considers both the characteristics of the system and the economic ones. In terms of system characteristics, one MVNO provides service to end-users using the infrastructure support of two MNOs. The service provided by the MVNO is modelled through an  $M/M/1/\infty$  queue, where each user generates packets independently following a Poisson process. The service times of the packages are distributed exponentially. In the proposed system, the most relevant quality metric is the average service time, which comprises both the waiting time and the average service time. The agreement between the MVNO and the MNOs is such that the MVNO will split the network traffic between the two MNOs and pay each MNO for the traffic served through its infrastructure. The MVNO distributes its flow to each MNO with an average arrival rate of  $(1 - \alpha_1)$  and  $(1 - \alpha_1)$ , respectively. In terms of economic features, incentives are modelled through user profits and operator profits; and game theory is used to model the strategic interaction between user subscription decision and MNO network capabilities decision.

In the second model, we analyze the economic viability of two scenarios for a business model in which, an MNO rents its network infrastructure to the MVNO, and each operator serves its user base. In the first scenario, called *monopoly*, the MNO serves both user bases (MNO and MVNO). In the second scenario, called *strategic*, the MNO serves its user base, as well as leases its infrastructure to the MVNO to serve its user base. For both scenarios, the network has been modelled by a priority queue, using a DPS discipline. In the infrastructure sharing analysis, a  $\delta$  payment to the MNO is considered for each user that accesses the MVNO service, and different priorities are assigned to each operator. Besides, in the analysis of the scenarios described; monopoly and strategic, scenarios for user groups with equal sensitivity to delay and different sensitivity to delay for the two services are considered. Our objective is to determine a balance between the different actors in the proposed business model that will allow us to determine the infrastructure sharing between an MNO and an MVNO is feasible. The two scenarios are compared to a scenario called the *Basic Model*, in which the MNO serves only one user base.

Finally, to determine the economic viability of different scenarios proposed for the business models, concepts of microeconomics, game theory and queuing theory are used, which have allowed us to know the equilibrium decisions made by the operators, as well as the equilibrium decisions made by

the users. In this way, the effect of these decisions on the profits of all the agents in the model has been obtained, and the conditions under which these new business models are viable in 4G and 5G network environments have been identified.

As a result of the analysis of the business models for the different scenarios proposed, it is observed that the association between MNOs and MVNOs through infrastructure sharing is economically viable for the proposed models.

In relation to users, their behavior is substantial to determine the economic viability of the different proposed business models; therefore, it is essential to explore different utility functions that express user behavior in future studies.

As for the operators, the first business model demonstrates that the provision of network capacity is a valid mechanism for optimizing operators' profits. As well as, in the second business model, it is demonstrated that, the sharing of infrastructure between an MNO and an MVNO is desirable from the users' point of view for the 'strategic business model since it allows a greater number of users. Whereas, from an economic point of view, the *monopolistic* business model is more desirable because it provides a greater incentive for operators.

In summary, this thesis demonstrates the economic viability of business models of infrastructure sharing between MNOs and MVNOs, technically supported by the technological characteristics of the latest generation mobile networks.

## Resum

Aquesta tesi s'ha desenvolupat dins del marc de la línia d'investigació d'Economia i Regulació de les Telecomunicacions. En el programa de Doctorat de Telecomunicacions per la Universitat Politècnica de València. Com a part del procés d'investigació es va participar en els següents projectes d'investigació: *Plataforma de servicios para ciudades inteligentes con redes M2M densas* (TIN2013-47272-C2-1-R), *Entrepreneurship in Heterogeneous Wireless Networks* (COHWAN, TIN2010-21378-C02-02) i *ATLAS-Dynamic network slicing in 5G Radio Access*. També es va realitzar una estada doctoral en l'IMT Atlantique en Rennes-França. Com a resultat d'aquelles activitats es van publicar diversos articles científics que permeten sustentar els models de negoci per a MVNOs presentats en el present document.

En aquest estudi, es plantegen models de negoci que se sustenten en el desenrotllament de les característiques tècniques de 4G i 5G, que faciliten la compartició d'infraestructura dels MNOs. També s'analitza l'estat de l'art que permet sustentar la viabilitat tècnica dels models basats en la compartició d'infraestructura, que ha permès disminuir les barreres d'entrada al mercat i el desenvolupament de nous models de negoci per als MVNOs. No obstant això, els nous models que permeten la compartició d'infraestructura han de ser analitzats des-de l'aspecte econòmic per a determinar la viabilitat dels mateixos.

Específicament, en el primer model s'analitza la viabilitat econòmica d'un MVNO que brinda el servei a la seua base d'usuaris i divideix el seu tràfic de xarxa a dos MNOs, els que lloguen la seua capacitat de xarxa al MVNO. En l'anàlisi del model es consideren tant les característiques del sistema com les econòmiques. Respecte a les característiques del sistema, un MVNO proporciona servei als usuaris finals utilitzant el suport d'infraestructura de dos MNOs. El servei proporcionat pel MVNO, es modelada per mitjà d'una cua  $M/M/1/\infty$ , on cada usuari genera paquets de forma independent seguint un procés de Poisson. Els temps de servei dels paquets es distribueixen exponencialment. En el sistema proposat, la mètrica de qualitat més rellevant és el temps mitjà de servei, que comprén tant el temps d'espera com el temps mitjà de servei. L'acord entre el MVNO i els MNOs, és tal que el MVNO dividirà el tràfic de la xarxa entre els dos MNOs i pagarà a cada MNO pel tràfic servit a través de la seua infraestructura. El MVNO distribueix el seu flux a cada MNO amb una taxa mitjana d'arribada  $\alpha_1\lambda$  i  $(1 - \alpha_1)\lambda$ , respectivament. Respecte a les característiques econòmiques, els incentius es modelen mitjançant les utilitats dels usuaris i els beneficis dels operadors. Finalment, la teoria de jocs s'utilitza per a modelar la interacció estratègica entre la decisió de subscripció dels usuaris i la decisió de les capacitats de xarxa dels MNOs.

En el segon model, s'analitza la viabilitat econòmica de dos escenaris per a un model de negoci en què un MNO lloga la seua infraestructura de xarxa al MVNO i cada operador serveix a la seua pròpia base d'usuaris. El primer escenari denominat *monopòlic*, el MNO dona servei a les dos bases d'usuaris (MNO i MVNO). En el segon escenari denominat *estratègic*, el MNO dona servei a la seua base d'usuaris, a més a més, lloga la seua infraestructura al MVNO per a que aquest pugui prestar servei a la seua base d'usuaris. Per als dos escenaris, la xarxa s'ha modelat per una cua amb prioritat, utilitzant una disciplina de servei DPS.

En l'anàlisi de compartició d'infraestructura, es considera un pagament  $\delta$  al MNO per cada usuari que accedeix al servei de MVNO, així mateix a cada operador s'assignen diferents prioritats. A més, en l'anàlisi dels escenaris descrits monopòlic i estratègic, es consideren escenaris per a grups d'usuaris amb la mateixa sensibilitat al retard i per a usuaris amb diferent sensibilitat al retard per als dos serveis. El nostre objectiu es determinar un equilibri entre els diferents actors al model de negoci proposat, que

permeta determinar si es viable o no la compartició d'infraestructura entre un MNO y un MVNO. Els dos escenaris es comparen amb un tercer denominat *Model Bàsic*, al qual el MNO únicament serveix a una base d'usuaris.

Finalment, per a determinar la viabilitat econòmica dels diferents escenaris proposats per als models de negoci s'utilitzen conceptes de microeconomia, teoria de jocs i teoria de cues, la quals han permès conèixer les decisions en equilibri que prenen els operadors, així com les decisions en equilibri dels usuaris; d'aquesta manera s'ha obtingut l'efecte d'aquestes decisions sobre els beneficis de tots els agents del model i s'han identificat les condicions a les quals aquests nous models de negoci són viables en entorns de xarxes 4G i 5G. Com resultat de l'anàlisi dels models de negoci per als diferents escenaris proposats, s'observa que l'associació entre MNOs i MVNOs a través de la compartició d'infraestructura és viable econòmicament per als models proposats.

En relació als usuaris, el seu comportament és substancial per a determinar la viabilitat econòmica dels diferents models de negoci proposats, per tant, resulta imprescindible explorar diferents funcions d'utilitat que expressen el comportament dels usuaris en estudis futurs.

Respecte als operadors, en el primer model de negoci es demostra que, la provisió de capacitat de xarxa és un mecanisme vàlid per a optimitzar els beneficis dels operadors. Així com, en el segon model de negoci, es demostra que, la compartició d'infraestructura entre un MNO i un MVNO és desitjable des del punt de vista dels usuaris per al model de negoci *estratègic*, ja que permet un nombre més gran d'usuaris. Mentre que, des del punt de vista econòmic el model de negoci *monopòlic* és més desitjable pel fet que ofereix un incentiu major als operadors.

En resum, en esta tesi es demostra la viabilitat econòmica de models de negoci de compartició d'infraestructura entre MNOs i MVNOs, suportats tècnicament per les característiques tecnològiques de les xarxes mòbils d'última generació.

## **Palabras Clave**

teoría de los juegos; teoría de colas; equilibrio de Nash; equilibrio de Wardrop; operadores móviles de red; operadores móviles virtuales, modelos de negocio; monopolio; maximización de beneficios; suscripción de usuarios.



---

# ÍNDICE GENERAL

<b>Índice de cuadros</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.3. Metodología . . . . .	2
1.4. Herramientas y medios . . . . .	3
1.5. Contexto . . . . .	3
1.6. Publicaciones . . . . .	4
1.7. Esquema de la tesis doctoral . . . . .	5
<b>2. Antecedentes y Estado del Arte</b>	<b>7</b>
2.1. Evolución de los Operadores Móviles Virtuales . . . . .	7
2.1.1. Modelos de Negocio de MVNO en redes 3G y 4G . . . . .	8
2.1.2. MVNOs en redes 4G . . . . .	11
2.2. Redes 5G . . . . .	12
2.2.1. Network Slicing . . . . .	15

2.3.	Propuestas de modelos de negocio en 5G . . . . .	18
2.3.1.	Modelos de Negocio Multi-MNO . . . . .	20
2.3.2.	Modelos de negocio basados en la compartición de recursos entre MNO y MVNO	21
2.4.	Conclusiones . . . . .	23
<b>3.</b>	<b>Herramientas para el Análisis y Descripción de los Modelos de Negocio</b>	<b>25</b>
3.1.	Herramientas para el Análisis de los Modelos de Negocio . . . . .	26
3.1.1.	Representación las preferencias de los actores . . . . .	26
3.1.2.	Teoría de los Juegos para la toma de decisiones . . . . .	28
3.2.	Modelo de Negocio Multi-MNO . . . . .	31
3.3.	Modelo Negocio de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO . . . . .	32
3.4.	Características de los Modelos de Negocio . . . . .	32
3.4.1.	Características del Modelo de Negocio Multi-MVNO . . . . .	32
3.4.2.	Características del Modelo de Negocio de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO . . . . .	33
3.5.	Conclusiones . . . . .	33
<b>4.</b>	<b>Viabilidad económica de un modelo de Negocio Multi–MVNO</b>	<b>35</b>
4.1.	Descripción del Modelo . . . . .	35
4.1.1.	Modelo del Sistema . . . . .	36
4.1.2.	Modelo Económico . . . . .	37
4.1.3.	Juego Estratégico . . . . .	38
4.2.	Análisis . . . . .	39
4.2.1.	Análisis del Modelo Multi-MNO MVNO . . . . .	39
4.2.2.	Análisis del Modelo de un solo-MNO . . . . .	43
4.3.	Resultados y Discusión . . . . .	45
4.3.1.	Costos de Inversión de los MNOS con $K_1 = K_2$ . . . . .	46
4.3.2.	Costos de Inversión de los MNOs con $0 < K_1 < 1$ y $K_2 = 0,45$ . . . . .	48
4.3.3.	Costos de Inversión de los MNOs con $0 < K_2 < 1$ y $K_1 = 0,45$ . . . . .	50

4.3.4.	Comparación entre los modelos Multi-MNO MVNO y un solo-MNO . . . . .	52
4.4.	Conclusiones . . . . .	55
<b>5.</b>	<b>Viabilidad económica de modelos de negocio de compartición de Infraestructura entre UN MNO y UN MVNO</b>	<b>57</b>
5.1.	Descripción del Modelo . . . . .	58
5.1.1.	Modelo del Sistema . . . . .	58
5.1.2.	Modelo Económico . . . . .	59
5.1.3.	Modelo del Juego . . . . .	60
5.2.	Análisis . . . . .	63
5.2.1.	Análisis Etapa II . . . . .	63
5.2.2.	Análisis de la Etapa I . . . . .	68
5.3.	Análisis de Escenarios con $\alpha_1 = \alpha_2$ y $\delta = 0$ para el Modelo de Negocio <i>Estratégico</i> . .	69
5.3.1.	Escenario de Compartición Igualitaria de Recursos (“Pooling”) . . . . .	69
5.3.2.	Compartición Prioritaria . . . . .	69
5.3.3.	Análisis de los Escenarios . . . . .	70
5.3.4.	Resultados del Análisis de Escenarios de compartición con $\alpha_1 = \alpha_2$ y $\delta = 0$ . .	72
5.4.	Análisis de los Modelos de Negocio <i>Monopólico</i> y <i>Estratégico</i> con $\alpha_1 \neq \alpha_2$ y $\delta > 0$ . .	76
5.4.1.	Modelo de Negocio Monopolístico . . . . .	77
5.4.2.	Modelo de Negocio Estratégico . . . . .	84
5.4.3.	Factibilidad de los Modelos de Negocio . . . . .	93
5.5.	Conclusiones . . . . .	97
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>101</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	101
6.1.1.	Principales contribuciones . . . . .	102
6.1.2.	Trabajos futuros . . . . .	103
	<b>Bibliografía</b>	<b>105</b>

<b>Glosario de Términos</b>	<b>115</b>
<b>Nomenclatura</b>	<b>117</b>

---

# ÍNDICE DE CUADROS

4.1. Valores de los parámetros para los cálculos numéricos. . . . .	46
4.2. Valores de parámetros para los cálculos numéricos . . . . .	48
4.3. Valores de parámetros para los cálculos numéricos. . . . .	50
4.4. Valores de parámetros para los cálculos numéricos. . . . .	52
5.1. Equilibrio de Wardrop para la suscripción de los usuarios . . . . .	68
5.2. Decisión de Suscripción de los usuarios - Escenario Compartición Igualitaria de Recursos	70
5.3. Decisión de Suscripción de los usuarios-Escenario de Compartición Prioritaria . . . . .	71



---

# ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Modelos de Negocio de MVNO [1] . . . . .	9
3.1. Descripción de las etapas del Juego. . . . .	29
3.2. Representación del NE . . . . .	30
3.3. Modelo Multi-MNO MVNO - Modelo del Sistema: Tasa media de arribo de los usuarios ( $\lambda$ ), MVNO factor de división del tráfico ( $\alpha_i$ ), Tasa media de arribo de paquetes al MNO <sub><i>i</i></sub> ( $\lambda_i$ ), Capacidad del MNO <sub><i>i</i></sub> ( $\mu_i$ ), Precio del servicio del MVNO ( $p$ ), Tarifa pagada por el MVNO al MNO ( $\delta$ ), Flujo de Tráfico de la red $\rightarrow$ ), Flujo de los precios y tarifas $\rightarrow$ ). . . . .	33
3.4. Modelo de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO - Modelo del Sistema . . . . .	34
4.1. Descripción de las etapas del Juego. . . . .	39
4.2. Modelo de un solo-MNO. . . . .	43
4.3. Capacidad de Red de los MNOs como función de $K_i$ . . . . .	46
4.4. $\alpha_1^*$ y $\lambda^*$ como una función de $K_i$ . . . . .	47
4.5. Beneficios de los MNOs en función de $K_i$ . . . . .	47
4.6. Capacidad de Red de los MNOs en función de $K_1$ con $K_2 = 0,45$ . . . . .	48
4.7. $\alpha_1^*$ y $\lambda^*$ en función de $K_1$ con $K_2 = 0,45$ . . . . .	49
4.8. Beneficios de los MNOs en función de $K_1$ y $K_2 = 0,45$ . . . . .	49
4.9. Capacidad de red de los MNOs en función de $K_2$ con $K_1 = 0,45$ . . . . .	50

4.10. $\alpha_1^*$ y $\lambda^*$ en función de $K_2$ con $K_1 = 0,45$ . . . . .	51
4.11. Beneficios de los MNOs en función de $K_2$ con diferentes valores de $q$ y $K_1 = 0,1$ , $p = 0,08$ , $c = 1$ . . . . .	52
4.12. Capacidad de red de los MNO $i$ 's en función de $K_1$ con $K_2 = 0,45$ . . . . .	53
4.13. Capacidad de red de los MNOs y MVNO en función de $K_1$ con $K_2 = 0,45$ . . . . .	53
4.14. Beneficios de los MNOs en el equilibrio. . . . .	54
4.15. Beneficios del MVNO en equilibrio en función $K$ con $K_2 = 0,45$ . . . . .	55
5.1. Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para $\gamma = 1/10$ y $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,8$ . . . . .	66
5.2. Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para $\gamma = 1/10$ , $\alpha_1 = 0,2$ y $\alpha_2 = 0,8$ . . . . .	66
5.3. Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para $\gamma = 1/2$ y $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,8$ . . . . .	67
5.4. Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para $\gamma = 1/2$ , $\alpha_1 = 0,2$ y $\alpha_2 = 0,8$ . . . . .	67
5.5. Precios de los usuarios del MNO en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha$ . . . . .	73
5.6. Precios de los usuarios del MVNO en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha$ . . . . .	73
5.7. Número de usuarios del operador 1 en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha$ . . . . .	74
5.8. Número de usuarios del operador 2 en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha$ . . . . .	75
5.9. Beneficio del operador 1 y operador 2 como función de $\gamma$ para diferentes valores $\alpha$ . . . . .	75
5.10. $\Pi_1^* + \Pi_2^*$ y beneficios del operador 1 para el Modelo de Negocio Básico como una función $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha$ . . . . .	76
5.11. Precio $p_{1m}^*$ como una función de $1 - \gamma$ para diferentes valores de $\alpha$ (modelo monopolístico) . . . . .	78
5.12. Número de usuarios $n_{1m}^*$ en función de $1 - \gamma$ para diferentes valores de un $\alpha$ común (Modelo Monopolístico) . . . . .	79
5.13. Número total de usuarios en función de $\gamma$ para diferentes valores de un $\alpha$ común (Modelo Monopolístico) . . . . .	79
5.14. Beneficios del operador 1 $\Pi_m^*$ como una función de $\gamma$ para diferentes valores de un $\alpha$ común (Modelo Monopolístico) . . . . .	80
5.15. Precio $p_{1m}^*$ como una función de $1 - \gamma$ para diferentes valores de $\alpha_1$ y $\alpha_2$ (Modelo Monopolístico) . . . . .	81

5.16. Precio $p_{2m}^*$ como una función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_1$ y $\alpha_2$ (Modelo Monopólico) . . . . .	81
5.17. Número de Usuarios $n_{1m}^*$ como función de $1-\gamma$ para diferentes valores $\alpha_1$ y $\alpha_2$ (Modelo Monopólico) . . . . .	82
5.18. Números de usuarios $n_{2m}^*$ como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_1$ y $\alpha_2$ (Modelo Monopólico) . . . . .	83
5.19. Número total de usuarios como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_1$ y $\alpha_2$ (monopólico) . . . . .	83
5.20. Beneficios del MNO $\Pi_m^*$ en función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_1$ y $\alpha_2$ (Modelo Monopólico) . . . . .	84
5.21. Precio $p_1^*$ como una función de $1-\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	85
5.22. Precio $p_2^*$ como una función de $\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	86
5.23. Número de Usuarios $n_1^*$ como función de $1-\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	87
5.24. Número de Usuarios $n_2^*$ como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	87
5.25. Número total de usuarios como una función de $\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	88
5.26. Beneficios del operador 1 $\Pi_1^*$ como función de $1-\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	89
5.27. Beneficios del MVNO $\Pi_2^*$ como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	89
5.28. Precio $p_1^*$ como función de $1-\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_2$ (Modelo Estratégico, $\alpha_1 = 0,6, \delta = 0,15$ ) . . . . .	90
5.29. Precio $p_2^*$ como función de $\gamma$ para diferentes valores $\alpha_2$ (Modelo Estratégico, $\alpha_1 = 0,6, \delta = 0,15$ ) . . . . .	90
5.30. Número de usuarios $n_1^*$ como una función de $1-\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_2$ (Modelo Estratégico, $\alpha_1 = 0,6, \delta = 0,15$ ) . . . . .	91
5.31. Número de usuarios $n_2^*$ como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_2$ (Modelo Estratégico, $\alpha_1 = 0,6, \delta = 0,15$ ) . . . . .	92
5.32. Número total de usuarios como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\alpha_2$ (Modelo Estratégico, $\alpha_1 = 0,6, \delta = 0,15$ ) . . . . .	92
5.33. Beneficios del operador 1 $\Pi_1^*$ como función $1-\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	93

5.34. Beneficios del operador 2 $\Pi_2^*$ como función de $\gamma$ para diferentes valores de $\delta$ (Modelo Estratégico) . . . . .	94
5.35. $\Pi_1^* + \Pi_2^*$ y $\Pi_m^*$ como una función de $\gamma$ para $\alpha_1 = 0,6$ , $\alpha_2 = 0,4$ y diferentes valores de $\delta$	96
5.36. $\Pi_1^* + \Pi_2^*$ y $\Pi_m^*$ como una función de $\gamma$ para $\alpha_1 = 0,6$ , $\alpha_2 = 0,6$ y diferentes valores de $\delta$	96
5.37. $\Pi_1^* + \Pi_2^*$ y $\Pi_m^*$ como una función de $\gamma$ para $\alpha_1 = 0,6$ , $\alpha_2 = 0,8$ y diferentes valores de $\delta$	97
5.38. $n_1^* + n_2^*$ en los modelos de negocio estratégico y monopolístico como una función de $\gamma$ para $\alpha_1 = 0,6$ , $\alpha_2 = 0,4$ y diferentes valores de $\delta$ . . . . .	98
5.39. $n_1^* + n_2^*$ en los modelos de negocio estratégico y monopolístico como una función de $\gamma$ para $\alpha_1 = 0,6$ , $\alpha_2 = 0,6$ y diferentes valores de $\delta$ . . . . .	98
5.40. $n_1^* + n_2^*$ en los modelos de negocio estratégico y monopolístico como una función de $\gamma$ para $\alpha_1 = 0,6$ , $\alpha_2 = 0,8$ y diferentes valores de $\delta$ . . . . .	99

---

---

# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación

El mercado de las telecomunicaciones móviles se caracterizó por la falta de licencias para explotación del espectro radioeléctrico, altas inversiones en la construcción de redes y dificultades en la desregulación de los monopolios. Ante la necesidad de mejorar estas condiciones del mercado y cubrir las crecientes necesidades de los usuarios con el desarrollo de las *Redes de Tercera Generación* (Third-Generation Networks-3G) surgieron nuevos actores, los MVNOs que esencialmente se concentraron en el alquiler de la red de acceso inalámbrico de los operadores con licencia. En este sentido, los organismos reguladores acogieron a los nuevos actores con la finalidad de aumentar la competencia en beneficio de los usuarios.

Hoy en día el crecimiento del mercado de las telecomunicaciones móviles, gracias al masivo despliegue de redes 4G y al desarrollo de las redes 5G [2,3] han permitido la introducción de servicios innovadores y de nuevos tipos de MVNOs [4]. Así mismo, la evolución de las redes móviles ha reducido las barreras para la entrada de los MVNOs y ha facilitado las asociaciones entre MNOs y MVNOs [5]. Como resultado de lo descrito, los ingresos del mercado global de MVNO han alcanzado cerca de 60.500 millones de dólares en 2018 y se prevé que crezcan hasta 103.000 millones de dólares en 2023 [6].

Actualmente, este nuevo entorno multi-mercado y multi-tecnológico ha permitido a los MVNOs asociarse con múltiples MNOs y operar a través de sus redes [5,7]. Esta asociación entre MNO y MVNO puede potencialmente expandir la cuota de mercado de los MNOs y traer nuevos ingresos [7]. Sin embargo, para ofrecer los servicios el MVNO necesita arrendar el recurso bajo un acuerdo específico de compartición con uno o más MNOs para utilizar sus recursos de red [8]. Tal acuerdo de compartición requiere que los MNOs consideren el impacto en sus ingresos permitiendo al MVNO seleccionar la proporción de recursos de red que contratará con cada MNO.

En este sentido tanto en el mercado como en la industria, se plantea la búsqueda de nuevos modelos de negocio que sean viables y que cumplan con las características de servicio de usuarios cada vez mas exigentes.

Por lo descrito anteriormente, las redes 5G permiten la configuración de varios escenarios en los que un MNO pueda compartir su infraestructura con un MVNO para que pueda brindar el servicio a sus usuarios, así como la posibilidad de que varios MNOs puedan arrendar su infraestructura a un MVNO, esto permitiría plantear varios escenarios para el análisis de la viabilidad económica en los cuales se capten las utilidades de los usuarios, los ingresos de los operadores y la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de fijación de precios de los operadores.

En esta tesis se analizan modelos de negocio entre MNOs y MVNOs, más concretamente, dos escenarios de asociación MNO-MVNO que están soportados por los principales objetivos de la ingeniería y arquitectura de las redes 5G, como se describe en [9, 10]; considerando además, que las redes 5G no sólo prevén la posibilidad de que un MNO apoye a un MVNO, sino también que varios MNO apoyen a un MVNO simultáneamente [11].

## 1.2. Objetivos

El marco descrito anteriormente es complejo, un nuevo desafío se abre para los operadores con la implementación de redes 5G al momento de recuperar su inversión, para ello deberán analizar a través de nuevos modelos de negocio la posibilidad de permitir el ingreso de MVNOs como parte de su estructura de ingresos.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es analizar la viabilidad económica de todos los actores de los modelos de negocio entre MNOs y MVNOs en redes 4G y 5G que propondremos. Para ello se consideran variables como la *Calidad de Servicio* (Quality of Service-QoS), los precios, costos de los servicios, el alquiler o compartición de recursos en redes 4G y 5G, que permitan determinar un modelo de interacción estratégica entre los operadores MVNO y/o MNO. Para los operadores se estudiará la maximización de sus funciones de beneficio. Y por el lado de los usuarios se buscará mejorar su utilidad en función de los precios ofertados por los operadores. El análisis de los modelos permitirá:

- Proponer y analizar la viabilidad económica de un modelo de negocio en el cual un MVNO utiliza la infraestructura de dos MNOs para brindar servicio a su base de usuarios.
- Proponer y analizar la viabilidad económica de un modelo de negocio en el cual un MNO presta el servicio a dos diferentes grupos de usuarios
- Proponer y analizar la viabilidad económica de un modelo de negocio en el cual MNO presta el servicio a su propia base de usuarios y a su vez alquila su infraestructura a un MVNO para que preste servicio a su propia base de usuarios.

## 1.3. Metodología

Para lograr los objetivos descritos anteriormente se utiliza una metodología basada en el *Método Científico* [12], que se describe a continuación.

El primer paso es analizar el problema e identificar sus limitaciones y necesidades. El análisis de los trabajos existentes es esencial y da una visión global del área de investigación, así como, permitirá identificar las debilidades de los modelos anteriores. Después de definir el problema, se

hizo una investigación de fondo, que nos ayudó a identificar los diferentes enfoques utilizados por la comunidad científica para resolver problemas similares. La investigación del estado del arte nos dio una amplia visión del problema, la experiencia y el conocimiento necesario para abordar nuestro problema específico.

Una vez realizada la investigación en el estado del arte, se construyen nuevos escenarios de relación entre MNOs y MVNOs [13] y modelos matemáticos de redes [14], basados en el conocimiento adquirido y se analizan los mismos. Los modelos analíticos están compuestos principalmente por una función, que modela la utilidad percibida por los usuarios, un esquema de pago entre todos los actores del mercado y funciones de beneficio para los operadores y proveedores de servicios [15, 16].

La primera tarea es plantear nuevos modelos matemáticos que representen diferentes escenarios en los cuales interactúen los agentes del sistema (MNOs MVNOs y usuarios). Una vez definidos los escenarios, se proponen diferentes funciones de utilidad y beneficio, así como los conceptos de equilibrio que modelan el comportamiento de los agentes. El siguiente paso se relaciona con la resolución analítica del equilibrio del sistema, utilizando conceptos de la teoría de juegos como los equilibrios de Nash, Wardrop y los modelos de inducción de hacia atrás [15]. La resolución de los equilibrios descritos, normalmente implica la resolución de problemas de optimización con restricciones. Para resolver estos problemas, fue necesario utilizar herramientas matemáticas como el teorema de *Karush-Kuhn-Tucker* (KKT) [17] para la optimización estática [18].

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos y se establecen las conclusiones sobre la viabilidad económica de los modelos planteados.

## 1.4. Herramientas y medios

La investigación y escritura de este documento se realiza con las siguientes herramientas:

- Acceso a las bibliotecas, documentos y artículos relacionados con el campo de la investigación. Estos campos incluyen la microeconomía, la teoría de los juegos, el economía de las redes de telecomunicaciones, Redes 4G y 5G, modelos de relación entre MNOs y MVNOs, y la optimización estática.
- Una computadora con los requisitos mínimos para ejecutar herramientas analíticas y numéricas, incluyendo Matlab y Wolfram Mathematica para el análisis de los modelos y LaTeX para escribir los documentos.
- La gestión de los y recursos necesarios para hacer una estancia de investigación internacional, lo que nos ayudó a colaborar con otros investigadores en el mismo campo.
- Los medios necesarios para publicar y dar a conocer los resultados del trabajo.

## 1.5. Contexto

Esta tesis doctoral se realiza en el grupo de investigación GIRBA y el Departamento de Comunicaciones de la Universitat Politècnica de València en los últimos cinco años. Durante el desarrollo de esta tesis

doctoral se participa en los siguientes proyectos de investigación relacionados con redes de sensores para ciudades inteligentes, redes inalámbricas heterogéneas y división dinámica de la red:

- *Plataforma de servicios para ciudades inteligentes con redes M2M densas* (TIN2013-47272-C2-1-R), en este proyecto se colabora como investigador al inicio de la actividad doctoral y como resultado se participó en el desarrollo y publicación del artículo científico [19].
- *Entrepreneurship in Heterogeneous Wireless Networks* (COHWAN, TIN2010-21378-C02-02), en este proyecto se colaboró como investigador al durante de la actividad doctoral y como resultado se publicó el artículo científico [20].
- *ATLAS-Dynamic network slicing in 5G Radio Access*, en este proyecto se colaboró como investigador al durante de la actividad doctoral y como resultado se publicó los artículos [21, 22].

Además, como parte del proceso de estudios doctorales, se realiza una estancia de investigación de dos meses en el IMT ATLANTIQUE de Rennes-Francia, supervisado por Patrick Maillé, como resultados de esta actividad se finaliza el análisis de uno de los escenarios presentados en esta tesis doctoral y se publica el artículo científico [22]. La Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador ha financiado el desarrollo de todas las actividades relacionadas con los estudios doctorales.

## 1.6. Publicaciones

Como resultado del trabajo se generan las siguientes publicaciones relacionadas con las diferentes partes de la tesis:

### Capítulo 4:

En el Capítulo 4 se analiza la viabilidad económica de un modelo Multi-MNO MVNO, como resultado de esta actividad de investigación se publica el artículo:

Sacoto Cabrera, E., Guijarro, L., Maillé, P., Game Theoretical Analysis of a Multi-MNO MVNO Business Model in 5G Networks, *Electronics* 2020, 9(6), 933.

### Capítulo 5:

En el Capítulo 5 se analiza la viabilidad económica de varios escenarios de un modelo de negocio de compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO. Como resultado de esta actividad de investigación se publican los siguientes artículos:

- Al inicio de la actividad investigadora, se interactúa con los conceptos y herramientas para el análisis de modelos económicos, relacionados con la teoría de juegos, teoría de colas y optimización, como resultado de esta actividad se colaboró en la siguiente publicación:

A. Sanchis-Cano, J. Romero, E. Sacoto-Cabrera, and L. Guijarro, Economic Feasibility of Wireless Sensor Network-Based Service Provision in a Duopoly Setting with a Monopolist Operator, *Sensors* 2017, vol. 17, no. 12, p. 2727, Nov. 2017.

- En los siguientes artículos se presentan los resultados del análisis de diferentes escenarios del modelo de negocio de compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO:

Específicamente, el análisis de dos escenarios, en los cuales se considera la misma sensibilidad para las bases usuarios de los operadores y el MVNO no realiza ningún pago al MNO por alquiler de la infraestructura, denominados *Compartición Igualitaria* y *Compartición Prioritaria*, que corresponden a resultados intermedios del modelo de negocio de compartición entre un MNO y un MVNO, se presentan en el siguiente artículo:

Sacoto-Cabrera, E.J., Sanchis-Cano, A., Guijarro, L., Vidal, J. R., and Pla, V., Strategic Interaction between Operators in the context of Spectrum Sharing for 5G Networks, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, vol. 2018.

- Finalmente, los resultados de dos escenarios denominados *monopólico* y *estratégico* del modelo de negocio de compartición entre un MNO y un MVNO, en los cuales se consideran diferentes condiciones para sensibilidad de los usuarios y un pago del MVNO al MNO por alquiler de la infraestructura, se presentan en el siguiente artículo:

Sacoto-Cabrera, E. J., Guijarro, L., Vidal, J. R., and Pla, V., Economic feasibility of virtual operators in 5G via network slicing, *Future Generation Computer Systems*, 2020.

## 1.7. Esquema de la tesis doctoral

La otra parte de esta tesis doctoral está organizada de la siguiente manera:

- **Capítulo 2:** En este capítulo se revisan los antecedentes y el estado del arte. Se explican en profundidad los conceptos de MVNO, los diferentes modelos de negocio que se desarrollan para redes 3G y 4G, así como se realiza una breve descripción de las características técnicas de las redes 5G, como el “Network Slicing” que soportan nuevos modelos de negocio. Además, se revisan varios trabajos relacionados con la economía de las redes relacionados con el marco conceptual de esta tesis doctoral.
- **Capítulo 3:** Se explican los diferentes escenarios y el modelo utilizado para el análisis. Se explica la estructura de los siguientes capítulos y los pasos del análisis.
- **Capítulo 4:** Se analiza la viabilidad económica de un modelo de negocio Multi-MNO MVNO. Se propone un escenario para la prestación de servicios a los usuarios finales a través de un MVNO utilizando el apoyo de dos MNOs. En cuanto a las características del sistema, un MVNO proporciona servicio a los usuarios finales utilizando el soporte de infraestructura de dos MNOs. El acuerdo entre el MVNO y los MNOs es tal que el MVNO dividirá el tráfico de la red entre los dos MNOs y pagará a cada MNO por el tráfico servido a través de su infraestructura. En cuanto a

las características económicas, los incentivos se modelan a través de las utilidades de los usuarios y los beneficios de los operadores; y la teoría del juego se utiliza para modelar la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de las capacidades de red de los MNO.

- **Capítulo 5:** En este capítulo se proponen dos modelos de negocio a ser implementados por un MNO, que es el propietario de la red, y MVNO, que no lo es. Las dos propuestas se analizan mediante un modelo que permite interrelacionar tanto las características del sistema como las económicas. La teoría de los juegos se utiliza para modelar la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de fijación de precios de los operadores. En ambos modelos de negocio se demuestra que el operador de red puede recibir los incentivos económicos adecuados para que acceda servir a la base de usuarios del operador virtual (modelo monopólico) y en permitir que el operador virtual preste servicio a través de la infraestructura del operador de red (modelo estratégico). Desde el punto de vista de los usuarios, el modelo estratégico da lugar a una tasa de suscripción más elevada que el modelo monopólico.
- **Capítulo 6:** Se concluye esta tesis doctoral resumiendo los escenarios estudiados y remarcando los resultados más importantes. La disertación concluye con algunas recomendaciones para futuros trabajos.

---

---

# CAPÍTULO 2

---

## ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

El análisis de los diferentes modelos planteados en esta tesis se basa en una investigación de los trabajos dedicados al estudio de los MVNOs y las nuevas tecnologías que permiten mejorar la interacción entre MNOs y MVNOs. Los trabajos revisados hacen relación a los diferentes modelos de negocio para los MVNO así como las tecnologías actuales que facilitan la compartición o alquiler de la infraestructura de red de un MNO al MVNO, como por ejemplo la *División de Red* (Network Slicing-NS) en las redes 5G.

Se han estudiado diversos trabajos que abordan desde la definición tradicional de los MVNOs hasta los nuevos de modelos de negocio que permiten las redes 5G, con un interés especial en el estudio de las decisiones óptimas que toman los actores en diferentes escenarios para plantear la factibilidad económica de los mismos. En el análisis de los trabajos se ha considerado además la Teoría de los Juegos para la toma de decisiones óptimas de los diferentes actores (MNOs, MVNOs y usuarios).

Este capítulo se divide en tres partes: en la primera sección 2.1, se muestran los trabajos previos realizados en el campo de los modelos de negocio de los MVNOs, en la segunda sección 2.2, se muestran los trabajos más importantes sobre las características de las redes de 5G de las que se destaca el NS. Finalmente, en la tercera sección 2.3, se muestra la investigación realizada sobre las propuesta de modelos de negocio desarrollados en redes 5G basadas en la compartición de infraestructura.

### 2.1. Evolución de los Operadores Móviles Virtuales

En el marco de la línea de investigación de esta tesis se plantea el análisis de modelos de negocio de MVNOs, por lo que a continuación se presentan algunas obras en las cuales se detallan los conceptos de modelo de negocio y MVNOs.

En la literatura analizada se han propuesto varias definiciones de modelos de negocio [23–30]. Aunque todos los estudios proponen diferentes definiciones para un modelo de negocio, es posible identificar ciertas similitudes. En primer lugar, la mayoría de las definiciones de los modelos de negocio incluyen

la creación de valor para el cliente como uno de los elementos centrales. En segundo lugar, la lógica de los beneficios también se menciona en varias definiciones, en este sentido, un modelo de negocio necesariamente debería explicar cómo la empresa obtiene un beneficio de sus operaciones. En tercer lugar, en muchas definiciones se examina la cadena de valor de la empresa, la misma que debe estar orientada hacia la estructura empresarial interna y hacia el exterior para determinar las relaciones que tiene la empresa con diversos agentes de su cadena de valor. En cuarto lugar, en varias definiciones se examinan los recursos y capacidades que dispone la empresa los cuales deben estar definidos en el modelo de negocio a desarrollar. Finalmente, en la mayoría de definiciones coinciden que un modelo de negocio debe contener las principales decisiones estratégicas que adoptará la empresa. Al respecto de lo descrito, se concluye que un modelo de negocio, es una herramienta conceptual que contiene un conjunto de elementos y sus relaciones que permite expresar la lógica de negocio de una empresa específica .

Por otra parte, para definir el modelo de negocio de MVNO que se desarrolló inicialmente desde hace más de 15 años en mercados maduros como Estados Unidos y Europa, en este apartado se realiza un breve detalle del nacimiento de los MVNOs. Al respecto, la cadena de valor de los servicios de telecomunicaciones móviles ha ido cambiando con el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que han permitido compartir o alquilar recursos de la red a otros operadores, esto ha cambiado el modelo de negocio tradicional que mantenían a los MNOs como únicos propietarios de la red. En la misma línea, uno de los factores que detonó esta necesidad de compartir recursos de la red de un MNO fue la limitación del espectro radioeléctrico que generó la necesidad de desarrollar nuevos métodos de acceso a este recurso [31]. Esta posibilidad de compartir el espectro radioeléctrico abrió la oportunidad a los operadores que no contaban con un título habilitante para que los operadores autorizados puedan compartir este recurso. Agregando a lo anterior, el *ecosistema* de la industria de las telecomunicaciones cuenta con varios roles e interfaces relacionados entre ellos. Los proveedores de acceso, conmutación, transporte, plataforma de servicios, facturación, gestión de clientes, etc., cada uno de ellos constituye un rol específico. Un actor -o una empresa- por otro lado es un conjunto de varios roles, que en el caso de los operadores tradicionales de telecomunicaciones a menudo cubren muchas o todas las funciones, sobre todo debido a su historia de monopolio y sistemas de valores integrados verticalmente. Finalmente y en base a lo descrito se concluye que un MVNO es un operador que presta un servicio de red móvil a un usuario, siendo este servicio prestado mediante una red móvil física proporcionada por un tercero [32-34]. Entonces desde el punto de vista del ecosistema de la industria de las telecomunicaciones un MVNO puede realizar cualquier rol, pero por definición debe, desde la perspectiva del cliente, parecer un MNO, teniendo las mismas interfaces hacia el cliente que un MNO. Además, el MVNO no puede tener su propio espectro radioeléctrico licenciado [32]. Así mismo, el MVNO tiene que considerar que instalaciones poseer y dirigir, cuáles subcontratar y cuáles arrendar al MNO y qué tipo de acuerdos debe buscar con los socios para aparecer como una opción atractiva para los clientes.

### **2.1.1. Modelos de Negocio de MVNO en redes 3G y 4G**

De acuerdo a lo descrito en los párrafos anteriores, las presiones del mercado y las nuevas tecnologías permitieron el desarrollo del modelo de negocio de los MVNOs [1]. Más aún, el desarrollo de las redes 3G permitió el uso generalizado de datos, lo que incrementó la penetración en el mercado de los MVNOs ya sea a través de sus propios servicios o a través del contenido de terceros. Además, el negocio de los MVNOs ha tomado diferentes rutas en cada uno de los países basados en aspectos relacionados con la demanda de los usuarios, especializándose en diferentes nichos de mercado.

En conclusión, de los diferentes escenarios planteados para los MVNOs, aparecieron los siguientes modelos de negocios en redes 3G para los MVNOs [1], tales como se detallan en la Fig. 2.1 y se



Figura 2.1: Modelos de Negocio de MVNO [1]

describen a continuación:

- **Revendedor de Marca:** Es un modelo de MVNO que revende el servicio de un MNO con su propia marca y sus propios canales de distribución. Mientras que el MNO proporciona el resto del negocio, desde la red de acceso hasta la definición de la oferta de servicio móvil [35, 36].
- **Proveedor de Servicios Mejorado:** Es un modelo de MVNO que no posee ni proporciona instalaciones de red pero tiene sus propios *Módulos de Identificación de abonados* (Subscriber Identity Module-SIM) y controla algunos elementos de la red. Estos MVNOs tienen la capacidad de asegurar su propio rango de numeración, operar su propia *Base de Datos de Clientes* (Home Location Register-HLR) y ofrecer sus propias tarjetas SIM con su propio código de red móvil. Dependen de los MNO para las instalaciones de red, así como para el acceso a la red de radio. Estos proveedores de servicios todavía pueden mantener cierta independencia de los MNO ya que pueden diferenciar sus productos [36, 37].
- **Full-MVNO:** Es un MVNO que brinda servicio con su propia tarjeta SIM, código de selección de red y capacidades de conmutación así como centro atención al usuario, pero sin espectro para operar [36, 38, 39].

Nuestro análisis de modelos de negocio se centra en estudios sobre la factibilidad económica de los diferentes actores (MNOs, MVNOs y usuarios), es decir, una revisión de los modelos de negocio planteados y sus resultados se discuten en esta sección. Sin embargo son cruciales otros aspectos como las necesidades subyacentes del cliente y la política gubernamental (regulación) que se derivan de los resultados obtenidos de los diferentes escenarios estudiados. Los primeros trabajos relacionados con modelos de negocio de MVNOs hacen relación a la compartición del espectro radioeléctrico, debido a que este recurso ha sido el principal cuello de botella para el ingreso de nuevos operadores al mercado como se detalló en párrafos anteriores. En este sentido, el arrendamiento del espectro puede tomar tres formas diferentes:

Primero, el MNO y el MVNO pueden compartir el mismo espectro radioeléctrico sin ninguna diferenciación. Al respecto, en [40] se presenta un estudio en el cual el MNO vende sus recursos a

un MVNO con un precio de descuento, en el documento en referencia se concluye que el MVNO debe beneficiarse de un fuerte *efecto de marca*, es decir, debe ser capaz de atraer a los usuarios aunque su precio y calidad no sean mejores que los del MNO, así mismo, para que exista competencia en el mercado el descuento ofrecido a los MVNOs debe ser lo suficientemente grande para que la actividad de *reventa de recursos* del MVNO sea rentable. En el mismo sentido, los autores en [41] estudian un modelo en el que el MVNO invierte en contenido/publicidad para compensar la calidad de la degradación del servicio, modelando el sistema como una cadena de suministro, es decir, una red logística formada por el MNO, el MVNO y los consumidores; en este estudio se determinan los cargos de acceso y el volumen máximo de tráfico óptimo que el MVNO debería poder enviar a la red del MNO para coordinar la cadena de suministro hecha tanto de operadores como diferentes tipos de consumidores. En [42] los autores presentan un estudio analítico detallado de las interacciones estratégicas de dos MVNOs en competencia (duopolio) que necesitan tomar decisiones óptimas de inversión (arrendamiento) y de fijación de precios, teniendo en cuenta al mismo tiempo las características inalámbricas heterogéneas de los usuarios finales secundarios, el modelo se analiza como un juego dinámico de tres etapas, en el mismo se concluye que los actores obtienen beneficios positivos en competencia, en especial los usuarios. En los estudios que se describen a continuación se han alcanzado algunos resultados similares con un modelo bastante diferente que incluye el análisis a través de la teoría de juegos y la modelización del comportamiento del usuario mediante el equilibrio de Wardrop. En [43] se analiza mediante la teoría de juegos un escenario de competencia entre un MNO y MVNO, el escenario está modelado por un juego de tres niveles que comprende un juego de negociación, que modela el arrendamiento del espectro por el MNO; un juego de competencia, que modela la competencia de precios entre el MNO y el MVNO; y un juego de suscripción, que modela la elección de suscripción por parte de los usuarios móviles. En este estudio se concluye que los actores, es decir, los usuarios y los dos operadores (MNO y MVNO), pueden estar mejor cuando el operador de MVNO entra al mercado, así como, se considera necesaria la intervención del regulador para impedir que el operador titular arriende toda la cantidad de espectro al operador entrante, lo que perjudicaría a los usuarios. En el mismo sentido, en [44] se modela usando la teoría de juegos un escenario en el cual el MVNO también con el MNO por sus usuarios en base a cantidad de espectro que reciben, los resultados se evalúan desde el punto de vista de los beneficios del operador, del bienestar del usuario y del bienestar total del sistema; sobre la base de esta evaluación, se presentan argumentos que justifican la intervención de una Autoridad Reguladora para hacer cumplir la entrada de un operador. Análisis similares utilizando la teoría de juegos se realizan en [45, 46].

Segundo, los usuarios del MVNO tienen menor prioridad en el acceso que los usuarios del MNO. Al respecto, en [47] los autores evalúan la viabilidad económica de un modelo en el cual la prestación de servicios se realiza utilizando una cola de prioridad de un solo servidor, en la que los usuarios que pagan por el servicio del MNO son usuarios prioritarios, y los que pagan por el servicio del MVNO son usuarios ordinarios, para el análisis se aplica la teoría de juegos, específicamente un juego de dos etapas, en la primera los operadores buscan los precios que maximicen sus beneficios y en la segunda los usuarios deciden la suscripción a uno de los operadores, en el mencionado documento se concluye que la entrada del operador secundario es deseable desde el punto de vista de la eficiencia, ya que el tráfico transportado aumenta.

Tercero, el MNO transfiere los derechos de una parte de su espectro al MVNO [48], para esta opción se considera la suscripción de un contrato en el cual se fija el precio y la cantidad de espectro que ocupará el MVNO [49].

### 2.1.2. MVNOs en redes 4G

Las comunicaciones inalámbricas son una de las áreas más activas del desarrollo tecnológico de nuestro tiempo, es así, que el ingreso de los MVNOs contribuyó a reducir las tarifas de los servicios de voz, sms, datos y a ampliar la libertad de elección de los consumidores, porque el precio y el nivel de uso de la red aplicados a los MVNO en el mercado de servicios de comunicación al por mayor dieron lugar a un superávit de los consumidores en relación con las tarifas minoristas [50].

En el mismo sentido, los MVNOs establecidos en redes 3G se han visto obligados a migrar a redes 4G debido al incremento de los servicios basados en datos y al decremento de los ingresos producidos por los servicios de voz asociado a la entrada de operadores a través de plataformas de *Servicios Libres de Transmisión* (Over the Top-OTT).

Sin embargo, la instalación de la infraestructura para redes 4G trajo consigo nuevas necesidades de *Gasto de Capital* (Capital Expenditure-CAPEX), así como, la necesidad de reducir el endeudamiento para los MNOs, por lo que obtener ingresos al por mayor de los MVNO sigue siendo una forma de financiar la implementación de la infraestructura por parte de los MNOs. Al respecto, se han revisado varios estudios en los cuales se describen las características que tienen las redes 4G para mejorar la relación entre MNOs, MVNOs y usuarios. En este sentido, las ventajas de la virtualización de la evolución de las redes de *Evolución a Largo Plazo* (Long Term Evolution-LTE) basada en el intercambio de recursos entre diferentes MVNOs se analiza en [51–54], los resultados de estos estudios demuestran que las redes LTE pueden compartir eficientemente los recursos de la red entre varios MVNOs manteniendo las características de QoS de los operadores que comparten el recurso.

En base a lo descrito, el desarrollo tecnológico permitió definir nuevos modelos de negocio de MVNOs en redes 4G tales como los descritos en [13,55–58]., los mismos que se detallan a continuación:

- Full MVNO: Tal como se define en la Sección 2.1.1 en este modelo MVNO el recurso que se comparte con el MNO es el espectro radioeléctrico para el cual se establecen cargos de acceso en función del espacio de espectro alquilado. Por otra parte, un Full-MVNO tiene la capacidad de administrar diferentes niveles de QoS en función perfiles y servicios que pueden ser manejados dentro de la plataforma del MVNO como se indica en [13].
- Multi-MNO: este modelo de negocio permite a un MVNO conectarse a Múltiples MNOs (Multi-MNOs) considerando para ello el acceso a diferentes servicios para los cuales existen MNO especializados con diferentes niveles de QoS. El recurso que se comparte con cada uno de los MNO es el espectro radioeléctrico. Este modelo permite negociar los precios de red competitivos, pero disminuye la posibilidad de tener descuentos por volumen ya que el tráfico de usuarios se extiende sobre varias redes MNO tal como se detalla en [11,13]
- Modelo ABC: este modelo de negocio se basa en el Multi-MNO, en el cual busca la mejor conexión con un MNO mediante el establecimiento de políticas de tráfico y QoS; el concepto conexión ABC se define en [59]. En [13], se define el Modelo ABC para usuarios de paquetes que se basa en el concepto de Multi-MNO, su objetivo es conectar al usuario con el MNO que requiera para cada suscripción, mediante una asignación dinámica de los recursos de la red de datos. Esta asignación se basa en la congestión, descuentos por volumen, en las tarifas máximas y medición de la *Calidad de Experiencia* (Quality of Experience-QoE) [13].

Con respecto a los modelos de negocio descritos en varios estudios se analiza la viabilidad económica de los actores (MNOs, MVNOs y Usuarios) para diferentes escenarios relacionados con redes 4G.

En [60], los autores analizan varios escenarios de modelos de negocios para un mercado de *Internet de las Cosas* (Internet of Things-IoT) en redes 4G, comparados con modelos similares redes 3G. En el mismo se concluye que de los escenarios analizados, las redes 4G permiten mayor eficacia, flexibilidad y facilidad en el despliegue de modelos de negocio que en redes 3G. Así mismo en [61, 62], los autores plantean algunas estrategias que podrían ser adoptadas por los MVNO para ofrecer servicios más competitivos y contribuir a reducir los costos de comunicación de los clientes. En este estudio se concluye que, de los escenarios analizados las redes 4G brindan facilidades al MVNO para acceder rápidamente a la infraestructura del MNO o varios MNOs sin tener que realizar una mayor inversión y asumir más riesgos lo que permite al MVNO centrarse en la creación de valor añadido para ser más competitivos en el mercado.

Finalmente, en varios estudios se introducen diferentes escenarios de compartición de infraestructura de red entre MNOs y MVNOs en los cuales se evalúa su factibilidad técnica y económica [63–65]. El desarrollo de estos diferentes escenarios de negocio apunta a una mayor segmentación de las redes de acceso inalámbrico en proveedores de servicios especializados que se conectan a los proveedores de servicio y acceso locales, posiblemente mediante un *Proveedor de Infraestructura* (Infrastructure Provider-InP) que preste servicios a los diferentes MVNOs mediante *Acuerdos de Nivel de Servicio* (Service Level Agreement-SLA). En forma general en los estudios antes mencionados se concluye que los diferentes escenarios planteados bajo los parámetros técnicos de las redes 4G, son factibles económicamente para los MVNOs bajo ciertas condiciones de cobertura del área de servicio, segmentos de mercado especializados como IoT, ciudades inteligentes, diferentes QoS entre otros, así mismo, los MNOs pueden incrementar sus beneficios como InP y los usuarios se verían beneficiados con mejor calidad y precios del servicio.

## 2.2. Redes 5G

Se espera que las redes 5G basadas en conceptos novedosos que no fueron concebidos por la arquitectura de red de la generación anterior (entiéndase 4G) satisfagan las demandas de los servicios, los consumidores y las empresas a partir del 2020. Además de dar soporte a un gran número y diverso tipo de usuarios con diferentes requisitos de QoS. Estas redes deberán proporcionar soporte a una variedad de industrias verticales como las de salud, manufactura, automoción, logística, energía, medio ambiente, construcción, etc. Por lo tanto, en 5G, es necesario ampliar los límites del rendimiento de la red para proporcionar, cuando sea necesario, por ejemplo, un rendimiento mayor (throughput), una latencia menor (lower-latency), una fiabilidad ultra alta (ultra-high reliability), una densidad de conectividad y rango de movilidad mayor que las redes 4G. Así mismo, en los requerimientos de diseño de las redes 5G se debe agregar la capacidad de controlar un entorno muy heterogéneo, garantizar la seguridad y confianza, la identidad y la privacidad [66–68]. Con estos objetivos desafiantes se desarrollaron varias iniciativas para definir las características y arquitectura de las redes 5G, es así que, organizaciones como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union-ITU), el Proyecto Asociación de Tercera Generación (Third Generation Partnership Project-3GPP), la Asociación 5G Infraestructura Público Privada (5G Infrastructure Public Private Partnership-5G PPP) y la Alianza de Redes Móviles de Próxima Generación (Next Generation Mobile Networks Alliance-NGMN), junto con importantes operadores y proveedores de infraestructura plantearon los diversos aspectos como los objetivos, visión, requisitos técnicos, así como las exigencias de QoS que caracterizarán a las redes 5G [69].

Los diferentes requerimientos técnicos, de negocio y de los diferentes tipos de usuarios permitieron

definir a las redes 5G en [66] como un ecosistema de *extremo a extremo* (End-to-End-E2E) para permitir una sociedad totalmente móvil y conectada. En [66, 70–72] se describen las características principales de las redes 5G y se discute el surgimiento de nuevos casos de uso y modelos de negocio impulsados por las necesidades de los clientes y los operadores y posibilitados por la madurez de las tecnologías clave existentes.

Al respecto de los nuevos modelos de negocio esperados en redes 5G, la Alianza de Redes Móviles de Próxima Generación (Next Generation Mobile Networks-NGMN) publicó en el *libro blanco de 5G* [66] la siguiente clasificación para estos modelos:

- Proveedores de Infraestructura (Asset Providers): Este modelo de negocio permite el desarrollo de varios esquemas de compartición de infraestructura entre dos o más operadores sobre la base de políticas estáticas o dinámicas de acuerdo a los requerimientos de los operadores. En este modelo de negocio engloba los modelos de compartición de redes que en [68] los denomina *Todo como Servicio* (X as a Service-XaaS). Con XaaS, se puede acceder a todo (infraestructura y servicios) bajo demanda a través de la nube. XaaS da una primera visión de lo que sería el futuro de los servicios en la nube. Los usuarios tienen acceso a los servicios de forma remota, cualquiera que sea el dispositivo [66, 68, 73].
- Proveedores de Conectividad: En este modelo de negocio aplica tanto a las relaciones y ofertas comerciales al por menor como al por mayor. 5G incrementa la eficiencia de este modelo permitiendo al operador configurar el flujo de datos para utilizar sólo las funciones necesarias en la red, a petición y de manera programable, a fin de optimizar los costos operacionales y de gestión. Esto requiere que los sistemas 5G tengan una arquitectura de red modular que tenga la capacidad aprovisionamiento y configuración [66, 68, 73].
- Proveedor de servicios asociado: El MNO evoluciona con respecto al modelo anterior de precios (es decir, por minuto, por volumen, por velocidad de datos, etc.) a un modelo de precios de valor (es decir, que incluye varias métricas de QoS, disponibilidad, priorización, latencia, etc.). En el modelo de proveedor de servicios asociado, la oferta del MNO puede ser enriquecida por los socios (MVNOs) o por el contrario la oferta del socio podría ser enriquecida por las capacidades y servicios de los MNOs.

Los principales modelos de negocio en redes 5G descritos anteriormente requieren que se redefina la cadena de valor de un MNO considerando los principales actores y sus interacciones. Al respecto en [68, 74] se han identificado nuevos elementos que se integran a los componentes de la cadena de valor de un MNO. Al componente de la cadena de valor *clientes* se agregan los *Operadores de Red Virtual Privada* (Private Mobile Virtual Network Operators-PVMNOs) como un proveedor de conectividad que arrienda infraestructura al MNO para dar servicio a sus clientes, así como, todos aquellos que brindan servicios verticales que arriendan capacidad a los MVNOs se agregan como un grupo más de los clientes del MNO. En el componente de la cadena de valor *competidores*, se agregan los grandes proveedores de redes inalámbricas (Google, Microsoft) como un competidor de red, así como, los MVNOs y PVMNOs como competidores en la provisión de servicios. En el componente *proveedores*, se agregan como proveedores de los MNOs compañías fabricantes de equipamiento y software para Centros de Datos, Virtualización, entre otros; así como las *Redes de Distribución de Contenido* (Content Delivery Networks-CDN) son un elemento que forma parte importante en la provisión del servicio de un MNO para alojar contenidos cerca de los usuarios finales en la red del MNO. Y en el componente *Servicios Complementarios*, se agregan aquellos proveedores de contenidos que incentivan a sus usuarios comprar mayor capacidad del servicio de datos móviles, entre ellos se encuentran también los desarrolladores de aplicaciones móviles.

Al respecto de lo indicado, es evidente que para cumplir con los requisitos que soporten la transformación de la cadena de valor, los nuevos servicios, modelos de negocio y los casos de uso que previstos para las redes 5G, la arquitectura de estas redes tiene que evolucionar sustancialmente en comparación a las redes anteriores. En el mismo sentido en [66, 68] se describen los requerimientos que deben cumplir las redes 5G para cubrir las necesidades de los diferentes actores, de las cuales resaltamos la Informatización de la Red, Multi-arrendamiento, Modularización de la red y NS. La *Informatización de las redes* es un enfoque que implica el uso de la software para diseñar, implementar, desplegar, administrar y mantener los elementos y servicios de la red, con el objeto de prestar servicios y aplicaciones en 5G con mayor agilidad y eficacia [66, 68, 75]. Además, la informatización de la red proporciona una gestión de servicios de E2E y mejora la QoE de los usuarios finales. El principio de *modularización de la arquitectura* y la descomposición de la función de red propone que las funciones de red convencionalmente monolíticas, en redes 4G que a menudo corresponden a elementos físicos de la red, se dividan en módulos básicos o *funciones de red* (Network Functions-NF) definidos con la granularidad adecuada, tanto para el *plano de control* (Control Plane-CP) como para el *plano de usuario* (User Plane-UP), permitiendo así la definición de varias arquitecturas lógicas mediante la interconexión de diferentes subconjuntos de NF y elementos de los planos de control y de usuario. Uno de los conceptos clave novedosos de la arquitectura 5G es el de NS. El NS ha sido definido por varias organizaciones dedicadas al desarrollo de normas de numerosas maneras [66, 76], de las cuales se destacan las más relevantes. La NGMN define el NS como un grupo de varias redes lógicas, autónomas y construidas sobre una red física compartida que permite la existencia de un entorno flexible para los diferentes interesados [66]. En el mismo sentido, el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3rd Generation Partnership Project-3GPP) define al NS como una tecnología que permite a los operadores crear redes personalizadas capaces de ofrecer soluciones mejoradas para diferentes escenarios de mercado, cada uno de ellos con diferentes requisitos [75, 76]. En resumen, el NS refiere a todos los intentos que permitan la disponibilidad de las *Redes como un Servicio* (Network as a Service-NaaS) de acuerdo con las demandas de los usuarios. El *Multi-Arrendamiento*, permite impulsar la compartición activa de recursos de la misma infraestructura entre diferentes arrendatarios, permitiendo la monetización de los mismos a los operadores de red, es el objetivo del Multi-Arrendamiento en las redes 5G [66, 68, 75, 77]. Así como, aquellos operadores virtuales pueden también utilizar los recursos y funciones de la red 5G para definir sus propias instancias de red.

Lo descrito, permitirá a los propietarios de las redes 5G no solo apoyar servicios heterogéneos, sino también reducir los costos, es decir, los *Gastos de Operación* (Operational expenditures-OPEX) y CAPEX, debido a los nuevos ingresos que implicaría alquilar la red a otros operadores o servicios verticales. De hecho, el 50 % de los sitios de acceso a la radio transportan tráfico que rinde menos del 10 % de los ingresos [78]. Por consiguiente, es necesario que los operadores móviles exploten nuevas fuentes de ingresos y rompan el modelo comercial tradicional de propiedad de una única infraestructura de red. La compartición de redes puede recuperar hasta el 20 % de los costos operativos de un operador de red móvil europeo típico, y puede reducir por lo menos a la mitad el costo de la infraestructura de los componentes de la *Red de Acceso Radioeléctrico* (Radio Access Network-RAN), que representan hasta el 50 % del costo total de la red [79].

Considerando lo descrito, el NS permitirá compartir eficientemente la infraestructura entre diversas entidades, que van desde los operadores de redes móviles clásicas o virtuales hasta los nuevos actores que simplemente consideran la conectividad como un servicio [77].

En conclusión, de los varios estudios revisados se deduce que el NS en conjunto con los demás requisitos descritos, permiten a las redes 5G tener la flexibilidad, la adaptabilidad e incluso la reconfiguración total de la red, basada en las necesidades y comportamientos de los diferentes tipos de servicios, considerando la optimización de los costes y procesos en el mantenimiento general del ciclo de vida de la red.

Por lo descrito, considerando la concepción del NS, se han propuesto diferentes trabajos para identificar los posibles enfoques, casos de uso, arquitecturas y los enormes beneficios que aporta la tecnología de NS en las redes 5G para satisfacer las demandas de los diferentes componentes de la cadena de valor de las redes 5G.

Con este antecedente a continuación se analizan varios estudios que nos permitirán determinar los diferentes casos de uso y modelos de negocios a través del NS.

### 2.2.1. Network Slicing

De acuerdo a lo descrito en la sección anterior, se espera que las redes 5G a través del NS faciliten un ecosistema empresarial que contribuya a la prestación de servicios innovadores y la creación de redes no sólo para los consumidores, sino también para los nuevos actores interesados en formar parte del mercado (MVNOs, PVMNOs, Industrias Verticales) [76]. En varios documentos [75, 80–88] se estudia detalladamente el NS, que permite el uso compartido de una infraestructura física común para diferentes servicios de red [81]. La infraestructura física incluye redes de acceso inalámbrico, servidores de computación en la nube, puntos de acceso Wi-Fi, por nombrar algunos. En esta sección se realiza un análisis de los elementos más relevantes de la taxonomía del NS basada en la literatura revisada en la que se considera los elementos claves de la arquitectura, diseño, tecnologías y requerimientos del NS enfocado al desarrollo de varios posibles modelos de negocio que se pueden desarrollar en redes 5G.

#### ■ Arquitectura del NS

En varios documentos [75, 81, 82, 85] se describe la arquitectura del NS, la que está compuesta por las capas de infraestructura, de función de red y de servicio [89]. Dependiendo de la capa, el aislamiento de los segmentos de red puede realizarse de muchas maneras: aislamiento basado a nivel de software, aislamiento físico y aislamiento basado en la máquina virtual [4]. Para este propósito el NGMN estableció para cada capa de la red una instancia [66, 90]. La *Capa de Instancia de Servicio 5G* (5G Service Instance Layer-5GSIL), representa diferentes servicios que deben ser soportados por el operador (por ejemplo, servicios a MVNOs o usuarios finales), donde cada servicio es creado por una instancia. Normalmente, los servicios pueden ser proporcionados por el operador de la red o por terceros [90]. La *Capa de Instancias de Red* (5G Network Instances Layer-5GNSI), es un conjunto de redes lógicas que cumplen con las funciones y características requeridas una instancia de la capa de servicio. Una instancia 5GNSI también puede compartirse entre múltiples instancias de servicio proporcionadas por el operador de la red [90]. La *capa de recursos físicos* (5G Physical Resource Layer-5GRL), representa la capa inferior de la arquitectura y está formada por un conjunto de recursos físicos y lógicos dedicados a una función o funciones de red determinadas por las capas superiores [90].

#### ■ Principios Básicos del Diseño del NS

La arquitectura del NS se basa en tres principios claves para el diseño del NS los cuales son el aislamiento, la elasticidad y la optimización E2E [75, 80–88].

El aislamiento es una característica básica de la virtualización en el NS con la capacidad adicional de imponer límites al uso de los recursos de la red [86]. Así mismo, permite garantizar el rendimiento de los diferentes usuarios (MVNO, Industrias Verticales) mediante una distribución equitativa de los recursos. El aislamiento de los segmentos de red es una de las características

más importantes del NS debido a que garantiza la seguridad al permitir la independencia de los diferentes segmentos de red.

La personalización E2E de los segmentos de red asegura que los recursos compartidos del operador de red se utilicen eficientemente entre los diferentes usuarios. La personalización de los segmentos de red en NS se realiza en todas las capas de la topología de red utilizando las características técnicas que proporcionan las *Redes Definidas por Software* (Software Defined Networks-SDN) y soportado por las ventajas que permite la *Virtualización de las Funciones de Red* (Network Function Virtualization-NFV). Esto supone la consolidación de múltiples funciones en un solo servidor físico [87].

La elasticidad de las redes a través del NS se refiere a la administración dinámica de los recursos asignados a los segmentos de red según la demanda de los distintos usuarios, con el fin de utilizar eficazmente los mismos. La disponibilidad fija de los recursos en un segmento de red puede dar lugar a una infrautilización y sobreutilización de los recursos debido a las variaciones en las demandas de los usuarios [80]. Por lo tanto, es necesario diseñar el NS con una naturaleza elástica para satisfacer simultáneamente la QoS de los usuarios y optimizar el gasto general de la red [85, 88].

El principal reto que existe en la aplicación de la elasticidad es la política de negociación entre los segmentos de red para que el rendimiento de los mismos no se vea afectado con el incremento del número de usuarios o el incremento de la QoS.

Adicionalmente en [72] se consideran los principios de Programabilidad y Automatización. La Programabilidad, permite al inquilino de un segmento de red asignar recursos de la rebanada a través de *Interfaces de Programación de Aplicaciones* (Application Programming Interfaces-APIs) <sup>1</sup>. La Automatización, permite al MNO autorizar a terceros para que hagan una solicitud de creación de un segmento de red. El MNO define los límites de los terceros, en la gestión y configuración del segmento de red solicitada, y proporciona las APIs adecuadas.

#### ■ Tecnologías que habilitan el NS

Al respecto, el NS está habilitado principalmente por NFV, SDN y *Computación en la Nube* (Cloud computing) [81]. NFV, consiste en trasladar las funciones de red de dispositivos de hardware dedicados a servidores virtuales [91]. Con NFV, las NF pueden ser fácilmente desplegadas y asignadas dinámicamente, así como, varias NF se pueden asignar a *Proveedores de Servicios* (Service Providers-SPs) para que los MNOs puedan compartir su infraestructura. SDN permite gestionar y controlar de forma central e inteligente los distintos componentes de hardware con ayuda de software [92, 93]. SDN crea un plano de control virtualizado que permite una gestión inteligente entre las funciones de la red, eliminando la brecha entre el aprovisionamiento de servicios y la gestión de la red, es decir, con SDN el control de la red se vuelve directamente programable usando interfaces estandarizadas. La computación en nube proporciona recursos de computación bajo demanda, sin embargo tiene ciertas limitaciones en términos de alta latencia. En el mismo sentido llevar los recursos computacionales de la nube al extremo de la red mediante tecnologías como la *Computación en el Borde* (Edge Computing) minimiza la latencia. Por lo tanto, se consideran como tecnologías indispensables a las NFV, SDN y Computación en la Nube para el desarrollo del NS en redes 5G.

#### ■ Segmentación de la red basado en Recursos

---

<sup>1</sup>Las APIs son un código que indica a los distintos programas mantengan interacciones cómo pueden mantener una comunicación entre sí

La segmentación de la infraestructura física de la red de un operador puede realizarse en los diferentes niveles de red, desde el equipamiento terminal de usuario hasta el equipamiento del núcleo de la red, lo que permite al administrador del segmento de red (MNO, MVNO, Industrias Verticales) la orquestación completa y proporcionar servicios en forma autónoma. Al respecto, los recursos a nivel de los terminales de usuario los operadores requieren diferentes estrategias a nivel de cada segmento de red establecer diferentes estrategias con respecto a la QoS. En cuanto a la compartición de la RAN del MNO con MVNOs se estudian en [94–96] las diferentes posibilidades de compartición de infraestructura modelando los escenarios como un problema de optimización con el objetivo de satisfacer las necesidades de asignación eficiente de los recursos. Aparte la compartición de red a nivel de los terminales de usuario y la RAN, los recursos de la red central y de la nube deben ser compartidos de manera eficiente entre los diferentes segmentos de red y sus usuarios mientras se cumplen los requisitos generales de QoS.

De lo descrito en los párrafos anteriores en relación a la segmentación en los diferentes niveles de red, en los documentos revisados se destacan dos escenarios: la *asignación de recursos estática* y *dinámica* para los diferentes niveles de red [94–97] La asignación estática de un segmento de red a un MVNO, significa que, una vez determinada la estrategia de asignación de recursos a través del segmento de red, éste tendrá la misma capacidad independientemente de cómo cambie el entorno [98]. La asignación dinámica de un segmento de red a un MVNO, se refiere a la capacidad de analizar cambios en el entorno y ajustar dinámicamente las estrategias de asignación de recursos para optimizar la calidad de los servicios de comunicación. Cabe mencionar que, si bien la distribución dinámica de los recursos [99] entre un inquilino del segmento de red permitiría la eficiente utilización de los mismos, para ello es necesario analizar diferentes escenarios que permitan establecer la factibilidad tanto técnica como económica de este escenario con la finalidad de estimar con precisión las demandas de los usuarios, precios y asignación dinámica los recursos [85].

El NS presenta varias ventajas para los operadores tanto MNOs como para los MVNOs, a continuación se destacan las más relevantes. En primer lugar, los operadores pueden prestar servicios al nivel de los OTT siendo más competitivos, ya que los operadores en la actualidad sólo prestan servicios tradicionales como voz, SMS y datos. En segundo lugar, el NS facilita a los operadores diferenciar los segmentos de red con diversas QoS. En tercer lugar, el NS permite a los operadores acortar el tiempo de lanzamiento de diferentes servicios o habilitar segmentos de red a los distintos actores mediante la configuración a nivel de software de los segmentos de red. Finalmente, permite a los actores del mercado administrar los sistemas de soporte de operaciones y del negocio de manera independiente, lo que agiliza el despliegue de los diferentes modelos de negocio mencionados en los párrafos anteriores.

Así mismo, el NS permite abordar varios servicios emergentes y demandas de los usuarios tales como los estudiados por el 3GPP en [100]. En el mencionado estudio se identifican más de 70 casos de uso centrados en nuevos segmentos de mercado y diferentes oportunidades de negocio que podrían ponerse en marcha con el despliegue de 5G. En el mismo sentido, el proyecto 5G-PPP introdujo un modelo de negocio de NS entre los propietarios de la infraestructura, los proveedores mayoristas, los proveedores minoristas, los proveedores de contenido y los usuarios finales [101].

Al respecto de lo descrito en esta sección y de los diferentes documentos en los cuales se analiza el estado del arte del NS, se resumen en forma general lo siguiente:

- El NS permite la división de la red del MNO en diferentes segmentos de E2E, los cuales pueden ser administrados por el mismo MNO o compartidos con un MVNO. Un segmento de red se

caracteriza por: i) su tipo de tráfico (elástico o inelástico), y ii) su número de usuarios.

- El NS permite que un MVNO pueda administrar su segmento de red y tiene la garantía de que, sus usuarios dispondrán de la QoS correspondientes a su tipo de tráfico.
- El NS posibilita la diferenciación de los servicios al adaptar el funcionamiento de la red a las necesidades de los clientes [102].
- El NS desde una perspectiva empresarial, permite a los segmentos de red combinar todos los recursos, funciones y activos necesarios para dar soporte a un modelo de negocio para los MVNOs o diferentes segmentos verticales.
- La asignación dinámica de recursos que aporta el NS a los diferentes actores del mercado, protegiendo al mismo tiempo otras porciones, ofrece una mejora significativa del rendimiento.
- El NS junto a los otros requerimientos que deben cumplir las redes 5G, proporciona el desarrollo de diferentes modelos de negocio basados en la compartición de elementos de red con una QoS diferente de acuerdo a los requerimientos de los usuarios basado en la SDN de 5G, VNF, aplicaciones, servicios, una gestión y orquestación del segmento de red.
- El NS abre el mercado a nuevos actores: el proveedor de la infraestructura (InP), que es el propietario de la misma, el/los arrendatarios, que pueden adquirir un segmento de la red del InP para prestar un servicio específico a sus clientes.
- En [103, 104] los autores proponen varios desafíos que deben ser explorados en futuras investigaciones, a saber: compartición de recursos, creación y gestión de segmentos de red en forma dinámica, aislamiento entre rebanadas de red, gestión de la movilidad de clientes entre segmentos de red, virtualización de recursos inalámbricos, algoritmos para la asignación de recursos, nuevos modelos de negocio.

Por lo indicado en los párrafos anteriores, el NS está atrayendo un gran interés tanto de la industria como del mundo académico. Por lo que, en la sección 2.3 se analiza los diferentes estudios relacionados con propuestas de modelos de negocio, que permiten las redes 5G mediante NS para escenarios en los cuales, exista una relación entre MNOs y MVNO en redes 5G, para ello, consideramos las propuestas de investigación realizadas en [103, 104] relacionadas con la compartición de recursos y la asignación de recursos como, la base para proponer diferentes modelos de negocio.

### **2.3. Propuestas de modelos de negocio en 5G**

En [99] se detalla que, el mercado relacionado con las redes 5G y específicamente con el NS, tendrá una tasa de crecimiento del 21.9% hasta el año 2022, en los Estados Unidos. En el mismo sentido, en Asia y Europa se espera un crecimiento significativo de la cuota de mercado basado en NS. Las principales razones del aumento del mercado de NS, hace referencia a la agilidad con la que se despliegan las redes de IoT, el incremento de los dispositivos móviles, el desarrollo de tecnologías como la realidad aumentada, servicios en la nube entre otros. De acuerdo con lo detallado anteriormente, se espera que las ciudades inteligentes se expandan rápidamente debido a la migración de personas, tal como se detalla en [105], aproximadamente migran 1.3 millones de personas a las grandes ciudades. De las estadísticas indicadas, sobre las diferentes razones por las cuales, se incrementarán los mercados del NS, podemos

inferir que se generarán muchas oportunidades de investigación y desarrollo de nuevos modelos de negocio.

Además, el NS proporciona soluciones e impulsa nuevos modelos de negocio para la prestación de servicios heterogéneos orientados a 5G de interés para diferentes segmentos verticales de la industria y MVNOs [106]. A continuación se analizan varios documentos en los cuales se plantean diferentes modelos de negocio que permiten gestionar los servicios y aplicaciones que se pueden brindar a través de un segmento de red [40, 75, 99, 103, 104, 107]. En forma general, los modelos de negocio para la comercialización de la red del MNO, a saber son: a) De *Empresa a Empresa* (Business-to-Business-B2B), b) de *Empresa a Consumidores* (Business-to-Consumer-B2C), y c) de *Empresa a Empresa a Consumidor* (Business to Business to Costumer-B2B2C). En el dominio B2B, los recursos de la red 5G personalizados se alquilan a diferentes empresas verticales que ofertan servicios complementarios como IoT, videovigilancia, etc.; en este modelo, el control total de los consumidores en esta cadena de prestación de servicios se libera a las empresas. El dominio B2C, implica que los usuarios compren recursos de red 5G personalizados según sus necesidades. Sin embargo, los usuarios no tienen en cuenta qué MNO proporciona los recursos solicitados. El dominio B2C, permitirá una rápida monetización evolucionando desde el streaming de video, hacia la digitalización de servicios futuros de los usuarios. El dominio B2B2C, nuevos mercados y clientes orientados al consumidor, pueden asociarse a proveedores de redes 5G, de esa manera, los MNOs juegan el papel de proveedor mayorista, es decir, tienen que proveer recursos de red personalizados a un tercero (MVNO, OTT, actores del mercado vertical), el cual tendrá relación directa con sus clientes finales. Al respecto, en [9], se propone el concepto de *Intermediario de NS Network Slice Broker-NSB* que puede permitir a los diferentes actores solicitar y arrendar recursos de los MNOs en forma dinámica, así como, obtener mayor control sobre la red.

En [107] se analizan los modelos de negocio basados en el ciclo de vida, en el mercado objetivo de servicio y diferentes niveles en los cuales se realiza la segmentación de la red del MVNO, siendo esta clasificación la siguiente: a) NS Industriales, b) NS Monopolizados y c) NS por eventos. En el modelo NS Industriales, los actores que tienen los mismos requisitos para sus usuarios se registran en el mismo segmento de red, lo que abstrae las demandas de los usuarios a un segmento de red de alta latencia y un segmento de red de baja latencia [107]. En el modelo NS monopolizados, un actor (MVNO, OTT, PMVNO, etc) paga por un segmento de red y lo utiliza para dar servicio a sus usuarios o la utiliza como una red privada [107]. En el modelo NS por eventos, el MNO implementa segmentos de red con un tiempo de vida relativamente corto, para cubrir eventos temporales (conciertos, actividades deportivas, promociones, entre otras) [107].

Al respecto de lo descrito en los párrafos anteriores, uno de los problemas clave, que subyace a la segmentación de la red, es permitir compartir eficientemente los recursos de la red móvil del MNO, en base a escenarios que sean factibles económicamente para los diferentes actores del mercado. En este sentido, se realiza en esta sección, un análisis de estudios recientes, en los que se han explorado modelos de negocio en redes que plantean estrategias de maximización de beneficios de los actores en diferentes escenarios, basados en la compartición de infraestructura considerando el NS como elemento principal para el desarrollo los diferentes escenarios.

Así mismo, el análisis se enfoca en modelos de negocio que abarcan la compartición estática y dinámica de la infraestructura de redes y la relación entre MNOs y MVNOs, principalmente para establecer la factibilidad económica de estos modelos para los diferentes actores del mercado.

### 2.3.1. Modelos de Negocio Multi-MNO

En varios documentos recientes, se considera que un MVNO es el cliente de su MNO anfitrión, pero también compite con MNOs y otros MVNOs para atraer clientes. En el mismo sentido, los autores en [40] analizan el modelo de MVNO-ligero y el descuento al por mayor ofrecido por el MNO, sobre el cumplimiento de ciertas condiciones establecidas, en un acuerdo para la reventa del servicio móvil. Los autores en [6, 108–110] analizan en el contexto de las redes 5G el multi-arrendamiento del MNO que están ganando cada vez más impulso, allanando el camino hacia un menor gasto en CAPEX y OPEX. Al respecto de la relación MNO-MVNO, los autores en [84] concluyen que un escenario donde los MVNOs tienen una pequeña cuota de mercado, puede ser rentable en un principio de la asociación con un MNO. Así mismo, los autores en [15] analizan un escenario de asociación entre un MVNO y diferentes MNOs (pequeños y grandes), en el mismo concluyen que, el MVNO estará mejor cuando se asocia preferentemente con un MNO grande.

Sin embargo, sólo hay unos pocos trabajos que modelan las relaciones económicas, que emergen de un modelo de negocios multi-MNO MVNO. Un análisis de precios en un mercado móvil, impulsado por dos MNOs y un nuevo MVNO que arrienda recursos y compite con los MNOs se analiza en [5]. Para el análisis, se considera un enfoque teórico basado en el cálculo del Equilibrio de Nash; del mismo se concluye que, bajo ciertas condiciones el MVNO puede competir con los MNOs obteniendo beneficios positivos. La inversión del MNO, la decisión del MVNO sobre el arrendamiento del MNO y el precio de venta al público, se analizan en [108]. En [107], los autores plantean un escenario de competencia entre varios MNOs que comparten su infraestructura con un MVNO. En el mencionado estudio, el escenario caracteriza la competencia de precios como un juego de Stackelberg en tres etapas; donde los operadores pueden colaborar entre sí, bajo ciertas condiciones de compartición de espectro.

La asociación MNO-MVNO, puede potencialmente expandir la cuota de mercado de los MNO y traer nuevos ingresos [84]. Sin embargo, para ofrecer servicio, un MVNO necesita arrendar el recurso bajo un acuerdo específico de compartición con uno o más MNOs, para utilizar sus recursos de red [8]. Ese acuerdo de distribución requiere, que los MNOs consideren el impacto en sus ingresos permitiendo al MVNO seleccionar la proporción de recursos de red que contratará con cada MNO. Los elementos clave, para convencer a los MNOs de la entrada de un MVNO son la cuota de acceso, para el uso de los recursos de los MNOs y la limitación de la prioridad de los MVNOs de acceder a la infraestructura del MNO.

Al respecto, la asociación MNO-MVNO está fuertemente apoyada por los principales objetivos de la ingeniería y la arquitectura de las redes 5G como se describe en [9, 11, 66, 68]. Específicamente, en [11] los autores analizan, las características técnicas para implementar un Operador Virtual de alto nivel (asociación de multi-MNOs y MVNOs), como un modelo de negocio de compartición de redes. El estudio anterior, ha demostrado que las tecnologías de red 5G permiten a los operadores virtuales de alto nivel, resolver el problema de la construcción de su red y llevar al mercado servicios 5G con valor añadido, utilizando estas capacidades tecnológicas. Por último, en [111] se describen casos realistas de modelos de negocio de múltiples operadores virtuales, en los que las empresas (MVNO) que revenden conectividad a sus clientes. Los MVNOs podrían reunir partes de diferentes operadores (MNO) para ofrecer un servicio con características propias.

En conclusión, los estudios mencionados sobre los modelos de negocio multi-MNO, carecen de un análisis que incorpore:

- La decisión de los usuarios de suscribirse al MVNO, basada en la QoS y el precio del servicio,

- La elección por parte del MVNO, del tráfico de red óptimo que debe asignarse a cada MNO,
- Los costos incurridos por los operadores.

Esto nos inspira a explorar profundamente la relación multi-MNO MVNO, considerando un modelo de negocio para un MVNO, donde el MVNO provee servicio a los usuarios finales usando el soporte de infraestructura de dos MNOS.

### 2.3.2. Modelos de negocio basados en la compartición de recursos entre MNO y MVNO

En varias obras, se analizan modelos de negocio basados en la compartición de recursos, entre un MNO y MVNO en redes 5G. En este paradigma de arquitectura de red, el MVNO es conocido como el arrendatario y el propietario de la infraestructura física es el InP [9, 80, 97, 112]. Al respecto, se analizan diferentes escenarios planteados a partir de la segmentación de red estática y dinámica, descritos en la sección 2.2.1, que buscan establecer las condiciones para determinar la factibilidad económica de los diferentes actores del mercado. En relación a la segmentación de red estática, existen varios trabajos de investigación que se centran en la asignación de un segmento de red, que generalmente hacen referencia a un solo tipo de recurso, que principalmente es el espectro radioeléctrico a través de la RAN [94, 95, 98, 113–117]. En las investigaciones mencionadas, se analizan las características para la admisión y asignación de un segmento de red, con el objetivo de maximizar los ingresos del InP y asegura que se satisfagan las garantías de servicio proporcionada al MVNO. En los mencionados documentos, se concluye que el modelo analítico y los resultados del problema de optimización para la compartición de infraestructura es factible para el InP, el MVNO y los usuarios. Sin embargo, la asignación estática de un segmento de red, genera un problema para el MVNO ya que deberá cubrir los costos de alquiler del segmento, se utilice o no la capacidad contratada por el MVNO. Así mismo, el MNO no podrá utilizar este recurso o asignarlo a otro MVNO. Lo descrito, depende del tipo de servicio y el nivel de tráfico de la red, debido a que el rendimiento del escenario, dependerá de la cantidad de recursos asignados inicialmente.

Por otra parte, los autores en [118] proponen la virtualización dinámica de los recursos físicos como la frecuencia, la antena, la infraestructura, la energía y las entidades informáticas del MNO, que se pueden asignar a un segmento de red y se puede alquilar a un MVNO de manera que éste sea virtualmente dueño de su segmento de red. Al respecto, la asignación dinámica, se plantea en varios escenarios de segmentación de la red, la posibilidad de que un MVNO sólo utilice una cantidad de recursos de red, durante un período de tiempo limitado o en base al número de usuarios que suscriben; es decir, un modelo dinámico de compartición de infraestructura del MNO.

En este sentido varios estudios se han desarrollado desde diferentes puntos de vista, como la compartición de recursos a diferentes niveles de la red y la QoS basados en NS [77, 85, 98, 107, 117, 119, 120]. En [98, 119], se propone un algoritmo para la asignación dinámica de los recursos mediante NNF, para ello los autores plantean un problema de programación lineal, para encontrar la solución óptima considerando elementos como el incremento de tráfico y el costo-beneficio, en la asignación dinámica de los recursos del MNO. Los autores en [107, 117, 120] presentan un esquema de compartición dinámica del espectro basado en políticas que consideran la variación del tráfico de la red. La distribución del tráfico de usuarios se modela utilizando un proceso de Markov, que tiene la ventaja de estimar de forma precisa el tiempo entre llegadas de los usuarios. En los artículos mencionados se concluye que, un modelo de negocio basado en NS para la asignación dinámica de recursos, requiere modelos de precios dinámicos y eficaces. Estos modelos deben considerar parámetros como, el tiempo medio de utilización

de los recursos, el número de solicitudes activas y la frecuencia de las solicitudes para determinar la venta de recursos por parte del MNO al MVNO.

En el mismo contexto de la asignación dinámica de recursos, en [77, 85] los autores analizan un modelo de asignación de recursos dinámico, basado en NS que permite a los inquilinos personalizar la asignación de recursos dentro de su segmento de red, en el análisis se considera el comportamiento estratégico de un inquilino que ajusta sus preferencias, en función de la congestión percibida en los recursos, a fin de maximizar su propia utilidad. Finalmente, se presentan varios estudios que plantean escenarios de compartición de los recursos de las estaciones base del InP con un MVNO, en un esquema de dos niveles [52], que podría utilizarse para asignar recursos al MVNO y sus usuarios móviles [121–123]. En la primera etapa, se asignan recursos al MVNO y se maximizan los ingresos del InP sobre la base de la información recibida del MVNO, como los requisitos de ancho de banda, la utilización de recursos y el precio de oferta y en la segunda etapa, se asignan recursos a los usuarios de cada MVNO.

En relación con al análisis descrito en párrafos anteriores, la solución en los escenarios mencionados se aborda el análisis de la viabilidad económica de la compartición de infraestructura, considerando conceptos de la teoría de juegos, microeconomía, teoría de colas y optimización.

En este sentido, a continuación analizamos varias obras que nos permiten complementar el análisis de los modelos de negocio dentro del marco metodológico de esta tesis. En relación al uso de la teoría de colas, uno de los primeros trabajos en analizar el comportamiento estratégico de los clientes, en un sistema de colas se desarrolla en [124]. En [125], se analizan los efectos del tiempo medio de servicio en cola y los costos relacionados con los usuarios, en la gestión y el control de los recursos informáticos. Los autores de [126] proponen un análisis desde una perspectiva de precios, basado en sistemas de colas con disciplinas de servicio con *Prioridad* (Priority Queue-PQ) y *compartición equitativa de procesadores* (Generalized Processor Sharing-GPS), con el objetivo de maximizar los ingresos de los operadores de red. En [127], los autores proponen un escenario con una cola de disciplina de servicio con prioridad, como una forma de establecer la diferenciación de servicios; para ello, considera la disciplina de servicio DPS para dos modelos de servicio con diferente QoS, y determinan los precios que maximizan el beneficio del proveedor. De la misma manera [125] estudia la fijación de precios para servicios heterogéneos, basados en una cola con disciplina de servicio con prioridad, como forma de establecer la diferenciación de los servicios. Los autores en [128], proporcionan un análisis exhaustivo de la competencia de precios y servicios, entre servidores bajo diferentes supuestos de modelización para los costes de capacidad de los servidores y para la demanda de los clientes. Y finalmente, en los libros [129, 130] se proporcionan estudios completos y actualizados sobre el modelado y análisis del comportamiento racional de los usuarios y servidores en los sistemas de colas.

En relación al análisis de la viabilidad económica de escenarios de compartición de infraestructura a continuación citamos varias obras en las que se considera la teoría de juegos, microeconomía y optimización. En [47], se evalúa la viabilidad económica de apoyar el servicio del MVNO, en un escenario de acceso oportunístico al espectro por parte de un operador secundario, mediante la tecnología de radio cognitiva, en la que un operador primario es propietario de la infraestructura. Las diferentes prioridades de acceso que tienen los usuarios de cada operador, se modelan mediante una cola con una disciplina PQ. En el documento citado, se caracteriza la competencia de precios como un juego de dos etapas; donde el MNO puede colaborar con el MVNO, bajo ciertas condiciones de compartición del espectro. En el documento citado se concluye, que la entrada del operador secundario es deseable desde el punto de vista de la eficiencia, ya que el tráfico transportado incrementa, además se demuestra que para una gama de valores de parámetros, se puede diseñar un pago por parte del MVNO que incentiva al MVNO para dejar entrar al mercado.

En [19], se evalúa la viabilidad económica de un escenario basado en la prestación de servicios de comunicaciones humano-humano (HTC) y máquinas (MTC), donde el operador de HTC es el propietario de la infraestructura. La prestación del servicio se modela mediante una cola de dos prioridades y la competencia se analiza como un juego de dos etapas. En la primera etapa, cada operador publica un precio y en la segunda etapa, los usuarios deciden suscribirse o no al servicio, basándose en una función de utilidad relacionada con el retraso del paquete y el precio cobrado por acceso al servicio. En el documento se concluye que, la entrada del segundo operador para atender a los usuarios del MTC, es deseable no sólo desde el punto de vista de la eficiencia en la utilización de los recursos y desde el punto de vista de los usuarios, sino también desde el punto de vista de los dos operadores.

Finalmente, en [19, 131–136] se analizan diferentes escenarios en los cuales, se utiliza la teoría de juegos para maximizar los beneficios de los actores del mercado y determinar la factibilidad económica de los diferentes modelos propuestos. En conclusión de lo descrito, en cuanto a la asignación dinámica de los recursos del MNO quedan algunas cuestiones pendientes que deben abordarse, como la flexibilidad que requieren los diferentes casos de uso y los modelos de negocio previstos en las redes 5G, es necesario plantear modelos de negocio que puedan abarcar un análisis más realista y complejo planteado por las redes 5G que, abarque a todos los actores, en los que se consideren las posibilidades que a continuación se mencionan:

- El análisis de la prestación de servicios, por parte de un Operador Monopólico a través de la segmentación de su red para brindar el servicio a usuarios con igual o diferente calidad de servicio.
- El análisis de la prestación de servicios por parte de dos Operadores un MNO y un MVNO, a través de la segmentación de su red para brindar el servicio a sus propios usuarios, con igual o diferente calidad de servicio.
- Analizar los modelos propuestos, mediante la interacción estratégica entre los usuarios y cada operador, mediante la teoría de los juegos para determinar si son factibles los modelos de negocio.

## 2.4. Conclusiones

En este Capítulo se describen diversos trabajos relacionados con la definición y evolución de los MVNOs en relación con el desarrollo tecnológico de las redes 4G y 5G con un énfasis en el concepto de NS y las diferentes propuestas de modelos de negocio que éstas tecnologías posibilitan.

En relación a la evolución de los MVNOs, el desarrollo tecnológico ha permitido nuevos modelos de negocio de MVNOs basados no sólo en la compartición del espectro radioeléctrico, sino de otros elementos de la red del MNO. Específicamente, los principios básicos de la arquitectura del NS en redes 5G, permiten la división de la red del MNO de E2E, la personalización de cada segmento de la red, así como, la administración dinámica e independiente de los recursos asignados al MVNO.

Lo descrito, soporta el desarrollo varios modelos de negocio que requieren un análisis de su la viabilidad económica. Al respecto, en este documento se analizan diferentes estudios realizados sobre los modelos de negocio Multi-MVNO y de compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO.

En el caso del modelo de negocio Multi-MVNO, los diferentes estudios revisados carecen de un análisis que incorpore la optimización de las utilidades de los usuarios finales que son servidos por el MVNO, usando el soporte de infraestructura de dos MNOs, donde los operadores buscan maximizar

sus beneficios, en este sentido, en el Capítulo 4, se plantea un modelo de negocio que contempla los requerimientos descritos.

Finalmente, en el caso del modelo de negocio basado en la compartición de recursos entre un MNO y un MVNO, de los diferentes estudios analizados, carecen de un análisis de varios escenarios para la asignación dinámica de recursos en los cuales se maximicen las utilidades de los diferentes actores, que permitan concluir sobre la viabilidad del modelo de negocio, en este sentido, en el Capítulo 5, se plantea un modelo de negocio que contempla los requerimientos descritos.

---

---

## CAPÍTULO 3

---

# HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE NEGOCIO

El objetivo de este capítulo es describir las herramientas que se utilizan a lo largo de la tesis para analizar la viabilidad económica de los modelos de negocio que se plantean, los mismos que están enfocados a cubrir diferentes temas de investigación abiertos como los descritos en el capítulo anterior, con la finalidad de determinar la viabilidad económica de diferentes escenarios soportados en redes 5G, especialmente con las características que brinda el NS para la compartición de infraestructura de la red entre MNOs y MVNOs.

Los modelos de negocio descritos en esta tesis son atractivos bajo ciertas condiciones para la compartición de infraestructura entre MNOs y MVNOs desde el punto de vista de los beneficios económicos de los operadores, y la utilidad de los usuarios, puesto que le permite al MVNO ingresar un mercado de telecomunicaciones que es cada día más exigente por la variedad de servicios, necesidades de ancho de banda y QoS.

De acuerdo a lo indicado, el presente capítulo se divide en cuatro partes. En la sección 3.1 se describen en forma general las herramientas utilizadas para el análisis de los modelos planteados. En la sección 3.2 se plantea un modelo de negocio que propone analizar la interacción estratégica entre un MVNO que brinda el servicio a los usuarios y a su vez divide su tráfico de red a los MNOs. En la sección 3.3 se plantea un modelo de negocio de compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO. Finalmente, en la sección 3.4 se describen las características de los modelos de negocio analizados en esta tesis doctoral.

## 3.1. Herramientas para el Análisis de los Modelos de Negocio

En las redes de telecomunicaciones participan diferentes interesados (por ejemplo, usuarios, MNOs, MVNOs), los cuales tienen sus propias preferencias: mientras que los usuarios se centran principalmente en la QoS que experimentan y el precio que se les cobra por el servicio, los operadores están interesados en los ingresos que obtienen de los usuarios, en los costos de inversión y operación entre otros. Esas diferencias entre los intereses de los diferentes actores son la razón fundamental para aplicar el razonamiento económico en las redes de telecomunicaciones, con el objetivo de buscar un equilibrio entre las preferencias de los agentes de todo el ecosistema que permita maximizar sus beneficios.

El objetivo de esta sección es describir las herramientas que utilizan en esta tesis doctoral para la representación de las preferencias y optimización de las utilidades de los diferentes actores en los modelos de negocio que se proponen.

### 3.1.1. Representación las preferencias de los actores

Las preferencias de los actores se representan generalmente a través de una función de utilidad, que mapea el conjunto de resultados para el conjunto de los números reales  $\mathbb{R}$  [137]. La función de utilidad permite asignar un número a todas las posibles elecciones existentes, de tal forma que la elección que prefiere un individuo (usuario o proveedor de servicio) es aquella que le genere una utilidad mayor. A continuación se describe como se representan las funciones de preferencias de los diferentes actores.

#### 3.1.1.1. Utilidad de los Usuarios

En varios estudios se han planteado funciones de utilidad que permitan representar las preferencias de los usuarios en los mercados de telecomunicaciones, tal como se detalla en [19, 44, 47, 126]. En los estudios mencionados, se plantea una función de utilidad que dependa del pago que realiza cada usuario y una parte no monetaria, es decir, cuanto mayor sea el precio que la parte no monetaria menor será la utilidad y cuanto mayor sea la parte no monetaria mayor será la utilidad percibida del usuario. Al respecto, se define la QoS percibida por cada usuario como la parte no monetaria. Entonces, la relación la QoS y el precio, se representa mediante una función de utilidad *cuasi-lineal*. Una función cuasi-lineal es simplemente una forma de representar o de resumir una ordenación de las preferencias de los usuarios. Este tipo de función se utiliza en varios estudios para representar las preferencias de los usuarios en los servicios de telecomunicaciones [15, 132]. Finalmente, la función de utilidad se representa por la diferencia entre la QoS ( $Q_i$ ) y el precio del servicio  $p$

$$U_i \equiv Q_i - p. \quad (3.1)$$

Como se observa, la función permite transmitir exactamente la información de preferencia de cualquier usuario que decida obtener una utilidad  $U_i$ . Además, tiene la ventaja de ser interpretable en términos de equivalencia monetaria: donde  $Q_i$  es el valor de la QoS para el usuario  $i$  y  $p_i$  es el precio que realmente paga,  $U_i(Q_i, p_i)$  se considera como la utilidad (en unidades monetarias) del usuario  $i$ .

Para representar la QoS en esta tesis doctoral se considera la teoría de colas [15, 129, 130]. Específicamente, de acuerdo a la notación de Kendall el sistema se modela como una cola M/M/1 [138–

140]. Donde los usuarios generan paquetes a transmitir y llegan al sistema de acuerdo con un proceso de Poisson con tasa media  $\lambda$  y el tiempo de transmisión de los paquetes se distribuye exponencialmente con la media  $1/\mu$ . En este sentido, los paquetes esperan el servicio en una cola de longitud infinita. En el modelo, los paquetes no sólo son homogéneos en sus requisitos de tiempo de servicio, sino también en sus preferencias sobre la puntualidad del servicio. Al respecto, la métrica relevante de la calidad del servicio es el tiempo medio en el sistema  $T_i$ , que comprende tanto el tiempo medio de espera ( $\frac{1}{\lambda}$ ) y el tiempo medio de servicio ( $\frac{1}{\mu}$ ). Específicamente, se modela la calidad que un paquete obtiene del tiempo que tarda en completar la transmisión si ha pagado al operador  $i$  como

$$Q_i = cT_i^{-1} \quad (3.2)$$

donde  $c$  es un factor de conversión a unidades monetarias, para expresar la valoración en unidades monetarias.

Por lo descrito, la función de utilidad es

$$U_i \equiv cT_i^{-1} - p. \quad (3.3)$$

La función de utilidad permite determinar, entre varios resultados, el o los preferidos del usuario, es decir, un usuario interesado  $i$  con función de utilidad  $U_i$  prefiere estrictamente un resultado  $r_1$  sobre  $r_2$  si y sólo si  $U_i(r_1) > U_i(r_2)$ . Si  $U_i(r_1) = U_i(r_2)$ , entonces se dice que el actor es indiferente entre esos dos resultados [15].

### 3.1.1.2. Beneficios de los Operadores

En el modelo propuesto, los operadores (MNO y MVNOs) deben decidir sobre la variable de decisión (capacidad de red o precios) para que el operador (escenario 1) o los usuarios (escenario 2) suscriban al servicio. Los beneficios del operador se determina entonces por los precios por paquetes generados por los usuarios por unidad de tiempo, representados por  $\lambda$ . Por lo descrito, la definición económica del beneficio de los operadores valora los factores como en número de usuarios que suscriben, el precio del servicio y el coste del servicio [137]. Por lo tanto, los beneficios que obtiene un MNO  $\Pi$  puede expresarse de la siguiente forma

$$\Pi = \lambda p - (K\mu + q\mu^2). \quad (3.4)$$

El primer término ( $\lambda p$ ) representa el ingreso y el segundo el coste de inversión [137, 141]. Donde  $K$  representa el costo unitario constante de inversión de la capacidad de red del operador y  $q$  es un parámetro de ajuste del costo de inversión, tal como se describe en [141].

Por otra parte, en la función de los beneficios que obtiene un MVNO en (3.5) se considera una tarifa  $\delta$  que paga el MVNO al MNO por usuario que accede al servicio, es decir los beneficios del MVNO son:

$$\Pi = \lambda p - \lambda \delta. \quad (3.5)$$

### 3.1.2. Teoría de los Juegos para la toma de decisiones

La Teoría de Juegos es una rama de las matemáticas, que se ha convertido en una importante herramienta para abordar varios problemas que estudian situaciones de conflicto y de cooperación entre diferentes actores, a los que se denominan juegos. Los actores son los participantes en el juego que toman las decisiones y la forma en que eligen su *acción* para maximizar su beneficio es su *estrategia* [137, 142, 143]. Al respecto, las acciones son las decisiones que puede tomar un actor cada vez que le toque jugar, mientras que las estrategias corresponden a un conjunto de acciones con las que cuenta un actor en el juego. Adicionalmente, el supuesto básico de la teoría de juegos es que los actores son racionales, es decir, que dada la información que disponen, buscan estrategias que maximicen su beneficio.

En función de la información que disponen los actores sobre el sistema, se tienen *juegos con información imperfecta* y *juegos con información perfecta*. En relación a los juegos con información imperfecta, como se define en varios estudios [137, 142, 143], son aquellos que se caracterizan por la incertidumbre de los actores acerca de las preferencias de los demás actores o la recompensa de todas las acciones. Por otra parte, los juegos con información perfecta de acuerdo a varios estudios [137, 142, 143], se caracterizan por que todos los actores conocen las preferencias de los otros actores y el resultado de todas las acciones posibles.

Por otra parte, en función de las situaciones de cooperación o de conflicto se tienen *juegos cooperativos* y *juegos no cooperativos*. En este sentido, cuando los actores llegan a un acuerdo sobre las decisiones a tomar se denomina juego cooperativo [137, 142, 143]. Mientras que, el análisis de cuando un actor toma una decisión en ausencia de acuerdo previo, es decir en forma individual, se denomina *juego no cooperativo* [137, 142, 143].

En relación a los juegos no cooperativos, se distinguen los juegos dinámicos y estáticos. En [143], se considera que en los juegos dinámicos los actores deciden sus estrategias no sólo en un instante determinado, sino sobre un horizonte de tiempo, es decir, en estos juegos los parámetros de los sistemas y las decisiones de los actores puede cambiar con el tiempo. Por otra parte, en [143], en un juego estático cada jugador toma una sola decisión sin conocer las decisiones tomadas por los otros jugadores, o de forma equivalente, las decisiones son simultáneas.

En este documento, para el estudio de los diferentes modelos de negocio que se plantean, se considera un juego estático de información completa, es decir, se analiza el comportamiento de los actores que eligen estrategias para maximizar sus funciones de utilidad, teniendo en cuenta no sólo, lo que cada uno quiere lograr, sino también lo que puede lograr dada la acción de los otros actores. En este sentido, para este estudio, los actores son los usuarios y los operadores (MNOs y MVNOs), las estrategias son el conjunto de acciones que pueden tomar los actores para maximizar sus beneficios (entiéndase utilidades para los operadores). Entonces, los actores y sus conjuntos de estrategias, junto con la definición de las funciones de utilidad, constituye un juego estratégico o interacción estratégica

De acuerdo a lo descrito en [15], el juego estratégico en el modelo que se propone consiste en:

- un conjunto de actores que está formado por los usuarios, MNO y MVNO.
- cada actor tiene un conjunto de acciones disponibles;
- y cada actor tiene una función de utilidad asignada.

En el modelo propuesto existen dos conflictos planteado por las funciones de utilidad de los usuarios y

de los operadores los cuales se modelan como un juego de dos etapas mostrado en en la Fig 3.1.

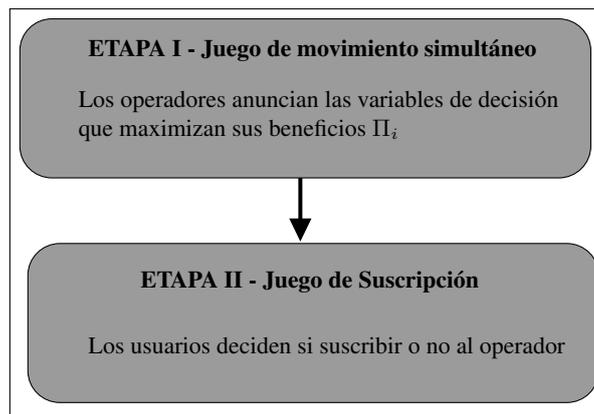


Figura 3.1: Descripción de las etapas del Juego.

El juego por etapas propuesto se resuelve por inducción hacia atrás, lo que significa que en una determinada etapa, los jugadores actúan estratégicamente anticipando la solución del juego en la etapa siguiente. Específicamente el método de análisis procede en la dirección opuesta a la de la toma de decisiones, es decir:

- primero se considera a los jugadores sin seguidores, es decir, los usuarios en la Etapa II (en el modelo de negocio Multi-MVNO corresponde a la ETAPA III), que pueden ser vistos como los jugadores que juegan en último lugar,
- luego se toma su reacción (suscribir o no al operador) como una aportación para los líderes en la Etapa I, es decir para que los operadores tomen su decisión.

El método de inducción hacia atrás se utiliza en varios estudios [15, 19, 44, 144] para analizar modelos similares a los propuestos en esta tesis.

A continuación se describen las etapas del juego y métodos de análisis que se utilizan para maximizar las funciones de utilidad de los actores.

### 3.1.2.1. ETAPA I

En la primera etapa, los operadores anuncian su variable de decisión (capacidad de red  $\mu_i$  o precios  $p_i$ ) que maximice sus beneficios y se resolverá mediante un juego de un solo tiro, es decir, se plantea la elección simultanea por parte de los operadores de las variables de decisión en un solo intento, por tanto los operadores deben tomar la decisión adecuada ya que no podrán cambiarla. El equilibrio de Nash, es el método utilizado en esta etapa para maximizar los beneficios de los operadores conocidas las decisiones de los usuarios en la Etapa II. Al respecto, el equilibrio de Nash indica que: *la elección de un operador es óptima dada la del otro, por tanto, un operador no puede variar su variable de decisión y aumentar sus beneficios de forma unilateral* [137, 142, 145].

El método general para descubrir el conjunto de los equilibrios de Nash, es calcular para cada operador su mejor respuesta, denotada por la  $BR_i$ , que identifica sus acciones de maximización de beneficios para

cualquier configuración de las acciones del otro operador, que se expresa como sigue:

$$BR_i(a_1^*, a_2^*) = \arg \max \Pi_i(a_1^*, a_2^*) \quad (3.6)$$

donde, un equilibrio Nash es exactamente un punto fijo donde se cruzan las  $BR_i$ , como se observa en la Fig. 3.2.

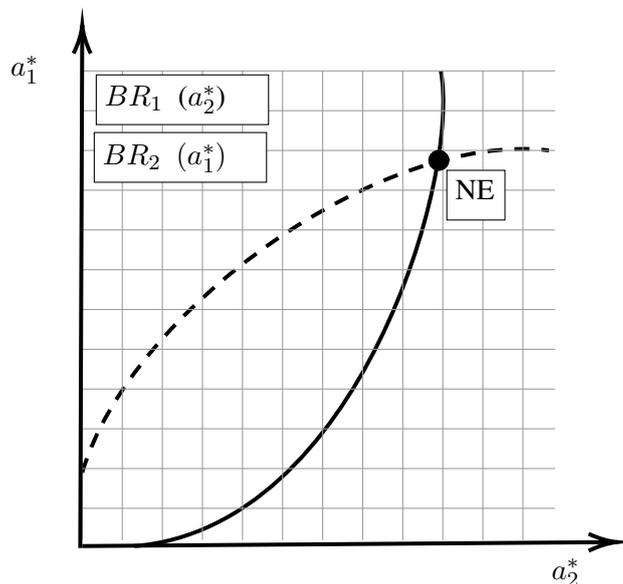


Figura 3.2: Representación del NE

El método descrito se aplica en los escenarios propuestos en esta tesis doctoral para maximizar las funciones de utilidad de los actores (usuarios, MNO y MVNO).

### 3.1.2.2. ETAPA II

En la segunda etapa, los usuarios se enfrentan a la decisión de suscribir o no al operador en función de la QoS que reciben y el precio  $p$  pagado por el servicio. En esta etapa se asume que las variables de decisión ( $p_i$  o  $\mu_i$ ) se conocen de la Etapa I.

El juego planteado en esta etapa involucra a un gran número de usuarios, de modo que el efecto individual de cada uno de ellos en las utilidades percibidas es insignificante. La situación descrita de interacción estratégica se denomina juegos no atómicos [146, 147]. Al respecto, en este tipo de juegos, ningún jugador individual es atómico, es decir, impacta en las utilidades de los jugadores a través de sus propias acciones. Entoces, la interacción entre los usuarios se producen a través de cambios de acción agregados, es decir, una proporción de los jugadores que cambian de opción sí tiene un efecto sobre las utilidades [15]. Los conceptos antes descritos se aplican principalmente en la teoría de transporte y el método utilizado para maximizar las utilidades de los usuarios es el *Equilibrio de Wardrop* [148], que fue propuesto por un analista de transporte inglés, en 1952, como regla para resolver el problema de asignación de tráfico, que se refiere a la selección de rutas entre los orígenes y destinos en las redes de transporte. Específicamente, el primer principio de Wardrop dice que: *los tiempos de viaje en todas las rutas realmente utilizadas son iguales, y menores que los que experimentaría un solo vehículo en*

*cualquier ruta no utilizada*, y el segundo principio de Wardrop define que *la utilidad promedio de los usuarios en el equilibrio es la mejor* [148].

En los modelos de negocio planteados, se asume que hay una interacción estratégica entre cada decisión individual del usuario, a través del efecto de congestión en la utilidad  $U_i$ . Donde cada usuario toma su propia decisión de suscripción, tratando de maximizar la utilidad que obtiene al suscribirse o no al operador, es decir, cada usuario de la base de usuarios del Operador  $i$  observará el precio  $p_i$  y tomará una decisión de suscripción basada en la utilidad que obtendría de cada alternativa:  $U_i$  (véase (3.3)) si se suscribe, o 0 (cero) si no lo hace. Asumiendo además que, el número de usuarios sea lo suficientemente elevado, la decisión de suscripción individual de un usuario de la base de usuarios de Operator  $i$  no afecta a la utilidad del resto de la base de usuarios del Operator  $i$ .

En relación a las condiciones descritas, el equilibrio alcanzado es el postulado por Wardrop, es decir, la utilidad que cada usuario obtiene, se iguala entre los resultados de la decisión. Esto significa que, en lo que respecta a la base de usuarios del Operador  $i$ , o bien  $U_i = 0$  (es decir, las utilidades de suscripción y no suscripción son iguales) y algunos usuarios se suscriben y otros no ( $\lambda \geq 0$ ), o bien  $U_i < 0$  y ningún usuario se suscribe ( $\lambda = 0$ ), es decir, ningún usuario elige la opción con utilidad inferior a cero. En este punto se resalta que la tercera alternativa  $U_i > 0$  no puede sostenerse bajo las ecuaciones (3.2) y (3.3), ya que un aumento del número de usuarios ( $\lambda$ ) causa un aumento de  $T_i$  y eventualmente esto se considera en  $U_i = 0$ .

El método descrito para el análisis del juego en la Etapa II se aplica en los escenarios que se describen en las siguientes secciones del presente capítulo.

## 3.2. Modelo de Negocio Multi-MNO

Se propone un modelo de negocio para la prestación de servicios a los usuarios finales a través un MVNO utilizando el apoyo de la infraestructura de dos MNO. Este modelo es un escenario previsto en los mercados de telecomunicaciones móviles apoyados por redes 5G, tal como se describió en 2.3.1. Se analiza la propuesta a través de un modelo que capta tanto las características del sistema (*Modelo del Sistema*) como las económicas (*Modelo Económico*).

Las principales contribuciones del análisis de este modelo de negocio son las siguientes:

- Una propuesta de modelo de negocio (multi-MNO MVNO) para proporcionar servicio a los usuarios finales a través de un MVNO utilizando el apoyo de la infraestructura de dos MNO y analizar las interacciones entre los diferentes actores (MVNO, MNO y usuarios).
- Un análisis de viabilidad de un acuerdo entre un MVNO y los MNO, en el que, el MVNO distribuirá el tráfico de los usuarios entre los MNO y pagará a cada MNO por el tráfico servido a través de su infraestructura.
- Un análisis matemático completo del Equilibrio de Nash del juego entre el MVNO, los MNOs y usuarios.

En el análisis desarrollado se aplican los conceptos de microeconomía y la teoría de colas en la formulación del modelo de asociación multi-MNO, MVNO y la modelización de la QoS percibida por el usuario, descritas en este capítulo.

### 3.3. Modelo Negocio de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO

En este modelo de negocio se analiza la prestación de servicios por parte de más de un operador a través de una infraestructura de red común, tal como se permite mediante el NS en 5G de acuerdo a lo detallado en 2.3.2.

Se proponen dos modelos de negocio a ser implementados por un MNO, que es el propietario de la red, y un MVNO, que no lo es.

En el primer modelo de negocio, denominado *Estratégico*, el MNO presta servicio a su base de usuarios y el MVNO presta servicio a su base de usuarios y paga una tarifa por abonado al MNO. Como un análisis intermedio de este modelo, se proponen dos escenarios denominados *Compartición igualitaria* y *Compartición Prioritaria* en el cual el MVNO no realiza ningún pago al MNO por el alquiler de la infraestructura y la sensibilidad de los usuarios es la misma. En el otro modelo de negocio, denominado *Monopólico*, el operador de red presta servicio a ambas bases de usuarios.

Las principales contribuciones del análisis de este modelo de negocio son las siguientes:

- La prestación del servicio por parte de dos operadores sobre una infraestructura común se modela mediante una cola DPS, se proponen dos modelos de negocio para los operadores y se analiza la interacción estratégica entre los usuarios y cada operador mediante la Teoría de Juegos
- El resultado de equilibrio en cada modelo de negocio se analiza en función de los parámetros más relevantes, que son la sensibilidad del usuario, la prioridad de servicio de la base de usuarios y la tarifa por usuario pagada por el MVNO.
- Se establecen las condiciones en las que los modelos de negocio son factibles.

En el análisis desarrollado se aplican los conceptos de microeconomía y la teoría de colas en la formulación del modelo de asociación multi-MNO, MVNO y la modelización de la QoS percibida por el usuario, descritas en este capítulo.

## 3.4. Características de los Modelos de Negocio

### 3.4.1. Características del Modelo de Negocio Multi-MVNO

El modelo de negocio planteado se ilustra en la Fig. 3.3, desde la perspectiva del modelo del sistema y del modelo económico.

En cuanto al modelo del sistema, un MVNO proporciona servicio a los usuarios finales utilizando el soporte de infraestructura de dos MNO. El acuerdo entre el MVNO y los MNO es tal que el MVNO dividirá el tráfico de la red entre los dos MNO y pagará a cada MNO por el tráfico servido a través de su infraestructura.

En cuanto a las modelo económico, los incentivos se modelan a través de las utilidades de los usuarios y

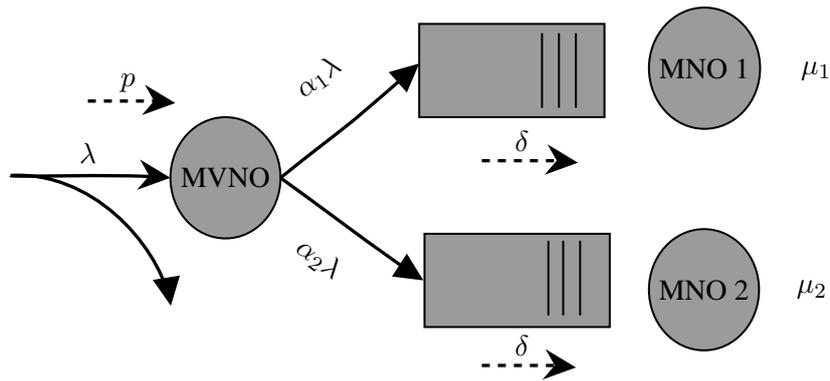


Figura 3.3: Modelo Multi-MNO MVNO - Modelo del Sistema: Tasa media de arribo de los usuarios ( $\lambda$ ), MVNO factor de división del tráfico ( $\alpha_i$ ), Tasa media de arribo de paquetes al MNO $_i$  ( $\lambda_i$ ), Capacidad del MNO $_i$  ( $\mu_i$ ), Precio del servicio del MVNO ( $p$ ), Tarifa pagada por el MVNO al MNO ( $\delta$ ), Flujo de Tráfico de la red  $\rightarrow$ ), Flujo de los precios y tarifas  $--\rightarrow$ ).

los beneficios de los operadores; y la teoría de los juegos se utiliza para modelar la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de las capacidades de red del MNO.

### 3.4.2. Características del Modelo de Negocio de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO

El modelo de negocio se analizan mediante un modelo que capta tanto las características del sistema y económicas, como se observa en la Fig.3.4.

En cuanto a las características del sistema, el NS se modela mediante una disciplina de servicio DPS. En cuanto a las características económicas, los incentivos se modelan mediante las utilidades de los usuarios y los ingresos de los operadores; y la teoría de juegos se utiliza para modelar la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de fijación de precios de los operadores. En ambos modelos de negocio se demuestra que el operador de red puede recibir los incentivos económicos adecuados para que consienta en servir a la base de usuarios del operador virtual (modelo monopolístico) y en permitir que el operador virtual preste servicio a través de la infraestructura del operador de red (modelo estratégico). Desde el punto de vista de los usuarios, el modelo estratégico da lugar a una tasa de suscripción más elevada que el modelo monopolístico.

## 3.5. Conclusiones

En este Capítulo se presentó el modelo general para el análisis de los escenarios desarrollados en esta tesis, el mismo que consiste en un Juego de dos Etapas. En la primera Etapa los operadores maximizan sus beneficios a través de sus variables de decisión que pueden ser la capacidad de red  $\mu_i$  (Véase 3.2) o los precios  $p_i$  ( Véase 3.3). El método propuesto para el análisis de esta etapa es el equilibrio de Nash, para ello se calculan las  $BR_i$ , que permiten analizar la respuesta de un operador frente a las decisiones del otro operador en un juego de una sola tiro. En la segunda etapa los usuarios maximizan sus utilidades  $U_i$  a través de la decisión de suscribir o no al operador. En este sentido, debido a la no atomicidad de los jugadores, las condiciones para que una situación sea un equilibrio se expresan mediante el principio de

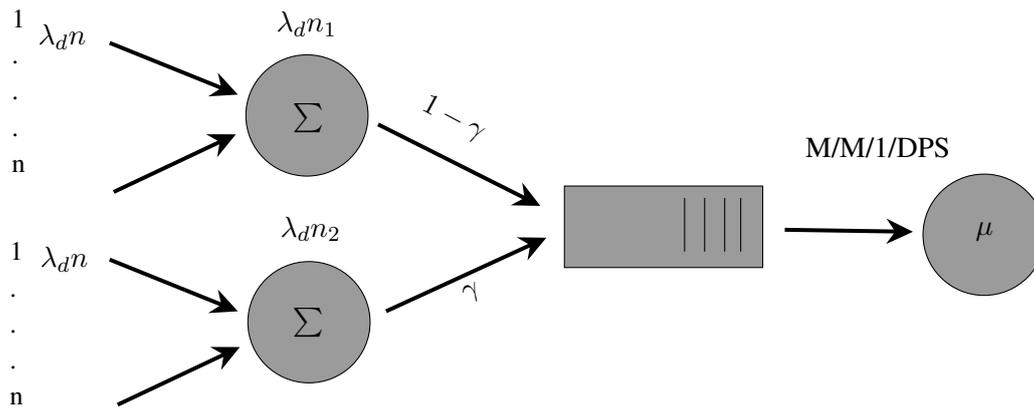


Figura 3.4: Modelo de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO - Modelo del Sistema

Wardrop.

La solución del juego de dos etapas se realiza mediante inducción hacia atrás, es decir primero se resuelve la Etapa II (Usuarios) y luego la Etapa I.

Además en este Capítulo se describen los modelos de negocio que se analizan en los siguientes capítulos. En el primer modelo de negocio, se propone analizar la viabilidad económica de un modelo Multi-MNO MVNO. El MVNO brinda el servicio a los usuarios finales y a su vez divide su tráfico a los MNOs que a su vez alquilan su capacidad de red para soportar el servicio del MVNO. En el segundo modelo de negocio, se propone analizar la viabilidad económica de un MNO que alquila su infraestructura de red a un MNO. Para el análisis se proponen dos modelos de negocio denominados *Estratégico* y *Monopólico*. En los dos modelos los operadores brindan el servicio a su propia base de usuarios.

---

---

# CAPÍTULO 4

---

## VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN MODELO DE NEGOCIO MULTI–MVNO

El objetivo de este capítulo es analizar la viabilidad económica de un modelo de negocio para la prestación de servicios, a los usuarios finales a través de un MVNO utilizando el apoyo de la infraestructura de dos MNOs. En el modelo de negocio planteado, se analiza la propuesta a través de un modelo que capta tanto las características del sistema como las económicas. En cuanto a las características del sistema, un MVNO proporciona servicio a los usuarios finales utilizando el soporte de infraestructura de dos MNO. El acuerdo entre el MVNO y los MNO, es tal que, el MVNO dividirá el tráfico de la red entre los dos MNO y pagará a cada MNO por el tráfico servido a través de su infraestructura. En cuanto a las características económicas, los incentivos se modelan a través de las utilidades de los usuarios y los beneficios de los operadores; y la teoría de juegos se utiliza para modelar la interacción estratégica entre la decisión de suscripción de los usuarios y la decisión de las capacidades de red de los MNO.

El capítulo tiene la siguiente estructura: en la sección 4.1, se describe el modelo de negocio, las utilidades de los actores y su interacción estratégica en un juego de tres etapas. En la sección 4.2, se analiza mediante inducción hacia atrás el juego de tres etapas, donde se encuentra el equilibrio de Nash que maximiza la funciones de utilidad de los actores. En la sección 4.3, se presentan los resultados y discusión del análisis del cálculo numérico para diferentes valores de los parámetros . Finalmente, en la sección 4.4 se presentan conclusiones del modelo propuesto.

### 4.1. Descripción del Modelo

De acuerdo a lo indicado en la sección 3.2, a continuación se analiza el escenario en el que los usuarios finales son atendidos por un MVNO y su tráfico de red se divide entre dos MNOs, que proporcionan la infraestructura de apoyo al MNO. El modelo de negocio planteado en este capítulo se ilustra en la

Fig. 3.3 desde la perspectiva del sistema y la perspectiva económica.

En resumen:

- El MVNO proporciona servicio a los usuarios finales;
- Los MNOs llevan a cabo ese servicio para el MVNO;
- Los usuarios finales determinarán si se suscriben o no al MVNO. Y los beneficios de los operadores (MVNO y MNO), dependen de las decisiones de suscripción de los usuarios al MVNO.

Además, en la sección 4.2.2 se analiza el caso en el que hay un solo MNO que presta el servicio; es decir, el MVNO, enviará el tráfico de los usuarios sólo a un MNO monopolista y lo pagará por el tráfico servido. Ese caso se utiliza como base de comparación en la Sección 4.3, para establecer si el modelo Multi-MNO MVNO presenta mejores condiciones para todos los actores del modelo de negocio.

En las siguientes subsecciones, se describe el modelo en detalle.

#### 4.1.1. Modelo del Sistema

La infraestructura de servicios de un MNO se modela como una cola M/M/1/ $\infty$  [14]. Modelar toda una red como una sola cola M/M/1 es una simplificación que se justifica por la necesidad de obtener expresiones manejables, para la utilidad de los usuarios de la red. Este enfoque ha sido adoptado anteriormente por [125–127] en el contexto del análisis económico del servicio de Internet. Los usuarios generan paquetes de información que se introducen en el sistema a una tasa de  $\lambda$ . En este modelo, se utiliza una cola con un servidor único (MVNO), que no hace ninguna distinción entre los paquetes con un disciplina FIFO. Además se asume que los tiempos de servicio de los paquetes individuales son variables aleatorias distribuidas exponencialmente, con una media  $\mu_i^{-1}$ ; donde  $\mu_i$  puede ser interpretado como la capacidad de red del MNO<sub>*i*</sub>. La métrica de la calidad de servicio pertinente es el tiempo medio del sistema de paquetes, que comprende tanto el tiempo de espera como el tiempo de servicio. El tiempo medio del sistema de paquetes del MNO,  $T_i$  viene dado por

$$T_i = \frac{1}{\mu_i - \lambda_i}, \quad i = 1, 2, \quad (4.1)$$

Donde  $\lambda_i$  es el valor esperado de la tasa de llegada de usuarios distribuidos por Poisson a las redes de los MNOs.

El MVNO divide su tráfico a los dos MNOs de modo que un flujo distribuido por Poisson con una tasa media de llegada  $\lambda_1 = \alpha_1 \lambda$  se reenvía al MNO 1, y un flujo distribuido por Poisson con una tasa media de llegada  $\lambda_2 = \alpha_2 \lambda$  se reenvía al MNO 2.

Así mismo, se asume por razones de estabilidad que  $\lambda_i < \mu_i$ , es decir, que para cada flujo del MVNO a los MNOs se tiene que

$$\alpha_1 \lambda < \mu_1, \quad (4.2)$$

$$\alpha_2 \lambda < \mu_2, \quad (4.3)$$

donde  $\alpha_i$  es el factor de división del tráfico de MVNO y  $\lambda$  es la tasa media de llegada de los paquetes de MVNO.

Si el sistema funciona de acuerdo a lo descrito, el flujo de paquetes agregados lleva un retraso medio del sistema a través de la combinación paralela de la red de ambos MNO dada por

$$T = \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2, \quad (4.4)$$

donde  $\alpha_2 := 1 - \alpha_1$ , y reemplazando (4.1) en (4.4) se obtiene

$$T = \frac{\alpha_1}{\mu_1 - \alpha_1 \lambda} + \frac{1 - \alpha_1}{\mu_2 - (1 - \alpha_1) \lambda}. \quad (4.5)$$

Se propone que la valoración del servicio percibido por cada usuario se dé mediante la expresión utilizada en [47, 125, 127]

$$Q := c T^{-1}, \quad (4.6)$$

donde  $c > 0$  es un factor de conversión para expresar la valoración en unidades monetarias. Nótese que  $Q$  disminuye cuando  $T$  incrementa, lo que significa que cuanto mayor sea el retraso, peor será la calidad.

#### 4.1.2. Modelo Económico

De acuerdo a lo descrito en la sección 3.1, la utilidad de usuario  $u_m$  se modela como la diferencia entre su valoración y el precio cobrado por el operador.

$$u_m = Q - p, \quad (4.7)$$

donde  $p$  es el precio cobrado por el MVNO a los usuarios. En (4.7) reemplazando (4.5) se obtiene

$$u_m = \frac{c}{\frac{\alpha_1}{\mu_1 - \alpha_1 \lambda} + \frac{1 - \alpha_1}{\mu_2 - (1 - \alpha_1) \lambda}} - p. \quad (4.8)$$

La utilidad de la opción alternativa, o sea, no suscribirse, se establece en cero, es decir,  $u_0 = 0$ . Nótese que un enfoque similar para modelar la utilidad del usuario se puede encontrar, por ejemplo, en [19, 20, 47, 125, 127]. Además, esta forma de función de utilidad puede relacionarse con la función cuasi-lineal descrita en la sección 3.1 ampliamente utilizada en el análisis microeconómico y de redes de telecomunicaciones [15].

El MVNO obtiene ingresos de los usuarios equivalentes a  $\lambda p$ , pero debe pagar una tarifa  $\delta$  (m.u.) por cada paquete atendido por los MNOs. Los beneficios del MVNO son dadas por

$$\Pi_m = \lambda p - \alpha_1 \lambda \delta - (1 - \alpha_1) \lambda \delta = (p - \delta) \lambda. \quad (4.9)$$

Por último, el  $MNO_i$  obtiene un ingreso por usuario igual a  $\alpha_i \lambda \delta$  y soporta un costo de inversión relacionado con la capacidad igual a  $K\mu_i + q\mu_i^2$  para que su beneficio esté dado por

$$\Pi_i = \alpha_i \lambda \delta - K\mu_i - q\mu_i^2. \quad i = 1, 2. \quad (4.10)$$

### 4.1.3. Juego Estratégico

En el modelo se asume que el MVNO y cada MNO tienen sus propios incentivos y toman decisiones para maximizar sus respectivos beneficios. Así como, se supone que los precios son fijos y, por lo tanto, todos los interesados son los que fijan los precios. Este supuesto puede justificarse por un escenario en el que, el regulador fija tanto los precios al por menor, como los precios al por mayor, o una situación en la que se acuerdan contratos por un período de tiempo más largo que el intervalo en el que, se produce la siguiente interacción.

Primero, cada MNO decide cuánto invertir eligiendo un valor de capacidad de red  $\mu_i$ , para maximizar su beneficio  $\Pi_i$ . La decisión de cada MNO influye en el beneficio del competidor al impactar en  $\lambda$  y  $\alpha_i$ . O en otras palabras, la competencia en las capacidades de red entre los MNO es un juego estratégico de un solo tiro.

Segundo, dadas las capacidades de las redes  $\mu_1$  y  $\mu_2$ , el MVNO decide cómo dividir el tráfico de la red eligiendo  $\alpha_1$ .

Tercero, dadas las capacidades de la red ( $\mu_1, \mu_2$ ) y los factores de división ( $\alpha_1, \alpha_2$ ), los usuarios deben decidir si se suscriben (obteniendo la utilidad  $u_m$ ) o no (obteniendo la utilidad  $u_0$ ). Hay una interacción estratégica entre cada decisión individual del usuario, a través del efecto de congestión en la utilidad  $u_m$ . Bajo el supuesto de que el número de usuarios que llegan al sistema es lo suficientemente alto, podemos asumir que cada decisión individual tiene un efecto insignificante sobre la utilidad del resto de los usuarios, y el equilibrio estratégico entre los usuarios puede obtenerse usando el concepto de equilibrio de Wardrop [148], como se describió en la sección 3.1.1.1. Básicamente, en el *Equilibrio de Wardrop*, la utilidad que cada usuario obtiene se iguala entre la alternativa efectivamente elegida por los usuarios. Es decir, la fracción de usuarios que se suscriban al servicio  $\lambda$  será tal que

$$u_m = u_0. \quad (4.11)$$

La decisión del MVNO se toma con el conocimiento de la decisión de cada MNO, y la decisión de los usuarios se toma con el conocimiento de la decisión del MVNO. La interacción estratégica entre los MNOs, el MVNO y los usuarios es de un juego secuencial de un solo tiro [15, 149]. Además, la estructura del modelo en análisis, es un juego de tres etapas como se muestra en la Fig. 4.1. Una forma estándar de analizar este tipo de juegos es por medio de la inducción hacia atrás: Este método procede en la dirección opuesta a la que se toman las decisiones, tal como se detalla en la sección 3.1.2. En primer lugar, se considera la decisión de suscripción del usuario, es decir, cada usuario toma su propia decisión de suscripción, tratando de maximizar la utilidad que obtiene al suscribirse o no al MVNO. En segundo lugar, se obtiene el óptimo  $\alpha_1$  con el que el MVNO dividirá el tráfico de la red a los MNOs. En tercer lugar, cada MNO elige una capacidad de red para maximizar sus beneficios de forma simultánea e independiente. Cada operador no sólo es consciente de la decisión del MVNO en la segunda etapa, sino también del comportamiento racional del otro operador.

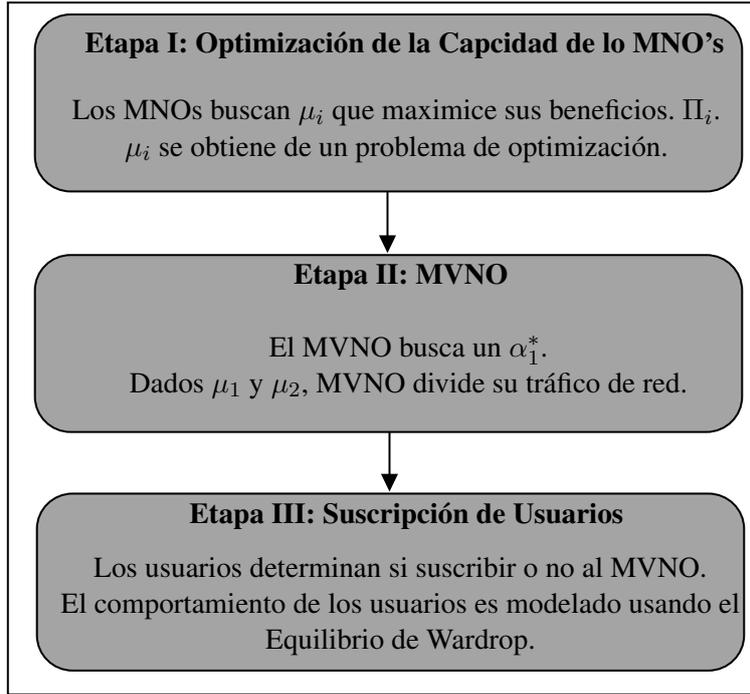


Figura 4.1: Descripción de las etapas del Juego.

## 4.2. Análisis

El objetivo en esta sección es calcular el equilibrio de Nash del juego de tres etapas descrito anteriormente y analizar el efecto de los diferentes parámetros en las estrategias de equilibrio y en los pagos, para los casos denominados *Multi-MNO* y un *solo-MNO*.

### 4.2.1. Análisis del Modelo Multi-MNO MVNO

#### 4.2.1.1. Provisión de Servicio del MVNO

Se estudia la suscripción de los usuarios al servicio de MVNO. Para ello, se asume que los usuarios son infinitesimales y por lo tanto sus elecciones no afectan individualmente a los niveles de suscripción del MVNO. El resultado de tales interacciones de los usuarios se describe en el principio de Wardrop [148], es decir, un usuario entrará en el sistema tan pronto como su utilidad  $u_m$ , sea positiva, o saldrá del sistema si es negativa. La siguiente proposición caracteriza la suscripción del usuario correspondiente a la utilidad percibida por los usuarios.

**Proposición 1.** *Para cualquier valor fijo de  $\mu_1 > 0$ ,  $\mu_2 > 0$ ,  $\alpha_1 \in [0, 1]$ ,  $c$ , y  $p$ , hay una tasa media de llegadas de usuarios única en el equilibrio  $\lambda$ , dada como sigue.*

- Si  $\frac{\alpha_1}{\mu_1} + \frac{1-\alpha_1}{\mu_2} \geq \frac{c}{p}$  entonces  $\lambda = 0$ .
- De lo contrario,  $\lambda > 0$  es la única solución en  $\left[0, \min\left(\frac{\mu_1}{\alpha_1}, \frac{\mu_2}{1-\alpha_1}\right)\right)$  de  $\frac{\alpha_1}{\mu_1 - \alpha_1 \lambda} + \frac{1-\alpha_1}{\mu_2 - (1-\alpha_1)\lambda} = \frac{c}{p}$

y es igual a

$$\lambda^* = \begin{cases} \mu_2 - \frac{p}{c} & \text{if } \alpha_1 = 0 \\ \mu_1 - \frac{p}{c} & \text{if } \alpha_1 = 1 \\ \frac{\mu_1}{2\alpha_1} + \frac{\mu_2}{2(1-\alpha_1)} - \frac{p}{c} - \sqrt{\left(\frac{\mu_1}{2\alpha_1} - \frac{\mu_2}{2(1-\alpha_1)}\right)^2 + \frac{p^2}{c^2}}, & \text{if } \alpha_1 \in (0, 1) \end{cases} \quad (4.12)$$

**Prueba de la Proposición 1.** La tasa media de llegadas  $\lambda$  satisface la condición de equilibrio si y sólo si

- o bien  $\lambda = 0$  y la utilidad de entrar en el sistema es no-positiva (para que nadie se incorpore), es decir,

$$\frac{c}{\frac{\alpha_1}{\mu_1} + \frac{1-\alpha_1}{\mu_2}} - p \leq 0 \quad (4.13)$$

donde con  $\lambda = 0$  en (4.8),

- o la utilidad de entrar en el sistema es nula, es decir,  $\lambda$  es una solución de

$$\frac{c}{\frac{\alpha_1}{\mu_1 - \alpha_1 \lambda} + \frac{1-\alpha_1}{\mu_2 - (1-\alpha_1)\lambda}} - p = 0.$$

La condición (4.13) es equivalente a  $\frac{1-\alpha_1}{\mu_2} + \frac{\alpha_1}{\mu_1} \geq \frac{c}{p}$ , lo que prueba la primera parte de la proposición.

Ahora se asume que si la condición (4.13) no satisface el intervalo de la función continua en  $[0, \min(\mu_1/\alpha_1, \mu_2/(1-\alpha_1))]$   $\lambda \mapsto \frac{\alpha_1}{\mu_1 - \alpha_1 \lambda} + \frac{1-\alpha_1}{\mu_2 - (1-\alpha_1)\lambda} - \frac{c}{p}$  es entonces estrictamente creciente, estrictamente negativo para 0 y tiende al infinito cuando  $\lambda$  tiende a  $\min(\mu_1/\alpha_1, \mu_2/(1-\alpha_1)) < \infty$ , con la convención que  $\mu_i/0 = \infty$  para  $i = 1, 2$ . Por lo tanto, existe una solución única de la ecuación

$$\frac{\alpha_1}{\mu_1 - \alpha_1 \lambda} + \frac{1 - \alpha_1}{\mu_2 - (1 - \alpha_1) \lambda} = \frac{c}{p}, \quad (4.14)$$

ese es el equilibrio que se busca. Además, esa solución es estrictamente positiva.

Queda por encontrar esa solución analíticamente:

- si  $\alpha_1 \in \{0, 1\}$  la solución es trivial;
- de lo contrario, (4.14) es equivalente a  $\lambda$  siendo la única raíz en  $[0, \min(\mu_1/\alpha_1, \mu_2/(1-\alpha_1))]$  de  $g(\lambda) := \alpha_1(\mu_2 - (1-\alpha_1)\lambda) + (1-\alpha_1)(\mu_1 - \alpha_1\lambda) - \frac{c}{p}(\mu_1 - \alpha_1\lambda)(\mu_2 - (1-\alpha_1)\lambda)$ , que se puede reescribir como

$$g(\lambda) = -\frac{c}{p}\alpha_1(1-\alpha_1)\lambda^2 + \left(\frac{c}{p}[\alpha_1\mu_2 + (1-\alpha_1)\mu_1] - 2\alpha_1(1-\alpha_1)\right) \lambda\alpha_1\mu_2 + (1-\alpha_1)\mu_1 - \frac{c}{p}\mu_1\mu_2$$

una ecuación polinómica de grado dos en  $\lambda$ , con al menos una raíz positiva ya que existe un equilibrio, del razonamiento anterior.

□

Se observa que la expresión para  $\lambda$  dada en (4.12) está definida para  $\mu_1 > 0$ ,  $\mu_2 > 0$  y  $\alpha_1 \in [0, 1]$  (ver la Prueba de Propuesta 1), que es un conjunto compacto, y es continua (y diferenciable) en este dominio.

En base a lo desarrollado se puede obtener las ganancias del MVNO sustituyendo (4.12) en (4.9).

$$\Pi_m^*(\alpha_1) = (p - \delta) \left( \frac{\mu_1}{2\alpha_1} + \frac{\mu_2}{2(1 - \alpha_1)} - \frac{p}{c} - \sqrt{\frac{\mu_1^2}{4\alpha_1^2} + \frac{p^2}{c^2} - \frac{\mu_1\mu_2}{2(1 - \alpha_1)\alpha_1} + \frac{\mu_2^2}{4(\alpha_1 - 1)^2}} \right) \quad \text{if } \alpha_1 \in [0, 1]. \quad (4.15)$$

Nótese que cuando  $\alpha_1 = 0$  o  $\alpha_1 = 1$  el MVNO selecciona un solo MNO para enviar su tráfico de red. Por lo tanto, las ganancias del MVNO están dadas por

$$\Pi_m^*(\alpha_1) = \mu_1 (p - \delta) - \frac{p}{c} (p - \delta) \quad \text{if } \alpha_1 = 0, \quad (4.16)$$

$$\Pi_m^*(\alpha_1) = \mu_2 (p - \delta) - \frac{p}{c} (p - \delta) \quad \text{if } \alpha_1 = 1. \quad (4.17)$$

#### 4.2.1.2. Decisión del MVNO

En esta sección, se analiza cómo el MVNO divide su tráfico de red entre los MNO a través del parámetro  $\alpha_1$ . Dado que los ingresos de los MVNO son proporcionales a la cantidad de la tasa media de llegada de los usuarios  $\lambda$  (ver (4.9)), el problema de selección de los MNOs se refiere a encontrar un valor de  $\alpha_1$  maximizando  $\lambda$  (cuya expresión se da en la Proposición 1) en función de las capacidades ofrecidas por los MNOs. En la siguiente proposición indica cómo un MVNO debe elegir  $\alpha_1$ .

**Proposición 2.** *Se asume valores fijos de  $\mu_1 > 0$ ,  $\mu_2 > 0$ ,  $\delta$ ,  $c$  y  $p > \delta$ .*

- Si  $\max(\mu_1, \mu_2) \leq \frac{p}{c}$ , entonces  $\lambda = 0$  para cada  $\alpha_1$  así que no hay  $\alpha_1$  que maximice  $\lambda$  (el MVNO siempre obtiene un ingreso de 0);
- De lo contrario, se trata de un único  $\alpha_1$  que maximiza los ingresos del MVNO, dado por

$$\alpha_1^* = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{if } \mu_1 = \mu_2 \\ \frac{\sqrt{\left(\frac{c(\mu_1 + \mu_2)}{p}\right)^2 - 8\frac{c}{p}\sqrt{\mu_1\mu_2} + 4 - c\frac{\mu_1 + \mu_2}{p} + 2\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}}}}{2(\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}} - \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}})} & \text{otros casos.} \end{cases}$$

**Prueba de la Proposición 2.** De (4.9), si  $p > \delta$  entonces maximizar los ingresos del MVNO equivale a maximizar el tráfico de la red  $\lambda$ .

De la Proposición 1, para  $\alpha_1$  dado, el tráfico de red es estrictamente positivo si y sólo si  $\frac{\alpha_1}{\mu_1} + \frac{1 - \alpha_1}{\mu_2} - \frac{c}{p} < 0$ . Por lo tanto,

- si  $\frac{\alpha_1}{\mu_1} + \frac{1-\alpha_1}{\mu_2} - \frac{c}{p} \geq 0$  para todo  $\alpha_1 \in [0, 1]$  entonces se busca un  $\alpha_1$  óptimo no tiene sentido, ya que la tasa media de llegada de los usuarios es siempre nula. Esa condición es equivalente a  $\min_{x \in [0,1]} \frac{x}{\mu_1} + \frac{1-x}{\mu_2} - \frac{c}{p} \geq 0$ , or  $\min \left( \frac{1}{\mu_1}, \frac{1}{\mu_2} \right) \geq \frac{c}{p}$ , o de nuevo  $\max(\mu_1, \mu_2) \leq p/c$ .
- Por otro lado, sabemos que existe un cierto  $\alpha_1 \in [0, 1]$  provoca una tasa media de llegada de usuarios estrictamente positiva  $\lambda$ ; entonces la meta ahora es encontrar un  $\alpha_1$  maximizando  $\lambda$ . Nótese que en (4.12) el tráfico de la red es una función continuamente diferenciable de  $\alpha_1$  en el intervalo abierto (0,1).

Se maximiza  $\lambda^*(\alpha_1)$  estableciendo su derivada con respecto al  $(\alpha_1)$  igual a cero y comprobando si la solución obtenida es un máximo:

$$\alpha_1^* = \frac{\sqrt{\left(\frac{c(\mu_1+\mu_2)}{p}\right)^2 - 8\frac{c}{p}\sqrt{\mu_1\mu_2} + 4 - c\frac{\mu_1+\mu_2}{p} + 2\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}}}}{2\left(\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}} - \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}\right)}. \quad \square \quad (4.18)$$

#### 4.2.1.3. Juego Estratégico de movimiento simultáneo de los MNOs

En esta sección, se analiza el juego estratégico de movimiento simultáneo de los MNOs que permite maximizar su capacidad de red  $(\mu_1^*, \mu_2^*)$  que tiene como objetivo maximizar sus beneficios. Para este propósito, se consideran los resultados de las etapas anteriores como  $\lambda^*$  y  $\alpha_1^*$ . De (4.10), se puede deducir que el beneficio de los MNOs no sólo depende de  $\mu_i$ . Esta dependencia puede hacerse explícita de la siguiente manera  $\Pi(\mu_1, \mu_2)$ . Además, esta dependencia es estratégica, es decir, los MNOs actúan de forma independiente y egoísta. La teoría de los juegos proporciona la base teórica para analizar esta relación estratégica. Específicamente, ya que cada MNO actúa de forma independiente y egoísta, los modelos teóricos de juegos apropiados son los no cooperativos.

En este modelo, los jugadores son los MNOs, las estrategias son las capacidades, y los incentivos son los beneficios de los MNOs. Entonces, volviendo la atención a las capacidades entre los MNOs, las estrategias de equilibrio están dadas por las condiciones de un Subjuego de Equilibrio Perfecto (SPNE). Se utiliza el SPNE como un concepto de solución, por el cual, en la primera etapa, la capacidad de red  $\mu_i$  del MNO que elige es tal que no obtiene ninguna mejora de ingresos al cambiar la capacidad de red del MNO asumiendo que el MNO competidor  $i$  no se desvíe de las capacidades de equilibrio, anticipando la decisión de las etapas anteriores.

Para resumir, dados  $\lambda^*$  y  $\alpha_1^*$ , los MNOs buscarán  $\mu_i^*$  para que

$$\Pi_1(\mu_1^*, \mu_2) \geq \Pi_1(\mu_1, \mu_2), \quad \forall \mu_1, \quad (4.19)$$

$$\Pi_2(\mu_1, \mu_2^*) \geq \Pi_2(\mu_1, \mu_2), \quad \forall \mu_2, \quad (4.20)$$

lo que significa que ningún operador puede aumentar unilateralmente sus beneficios en base a su capacidad.

El método general para descubrir el conjunto de equilibrios de Nash es obtener la función de mejor respuesta (BR) de cada operador e identificar los puntos de cruce, como se describe en la sección 3.1.2.

Las funciones  $BR_i$  se definen de la siguiente manera:

$$BR_1(\mu_2) = \operatorname{argm\acute{a}x}_{\mu_1} \Pi_1(\mu_1, \mu_2), \quad (4.21)$$

$$BR_2(\mu_1) = \operatorname{argm\acute{a}x}_{\mu_2} \Pi_1(\mu_1, \mu_2). \quad (4.22)$$

Una vez que se han obtenido las funciones BR se puede obtener el conjunto de equilibrios de Nash resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones

$$\mu_1^* = BR_1(\mu_2^*), \quad (4.23)$$

$$\mu_2^* = BR_2(\mu_1^*). \quad (4.24)$$

Al resolver las ecuaciones de equilibrio para la tercera y segunda etapa,  $\lambda$  puede expresarse como función de  $\mu_1$  y  $\mu_2$ , de modo que las ganancias de los operadores son una función de  $\mu_1$  y  $\mu_2$  solamente. Para resolver lo descrito anteriormente, se sustituye (4.12) y (4.18) en (4.10)

$$\Pi_1(\mu_1, \mu_2) = \alpha_1^* \lambda^* \delta - K_1 \mu_1 - q \mu_1^2, \quad (4.25)$$

$$\Pi_2(\mu_1, \mu_2) = (1 - \alpha_1^*) \lambda^* \delta - K_2 \mu_2 - q \mu_2^2. \quad (4.26)$$

En el análisis se considera que los beneficios  $\Pi_1 > 0$  y  $\Pi_2 > 0$ , es decir, de (4.25) y (4.26) se tiene

$$K_1 < \frac{\alpha_1^* \lambda^* \delta - q \mu_1^2}{\mu_1}, \quad (4.27)$$

$$K_2 < \frac{(1 - \alpha_1^*) \lambda^* \delta - q \mu_2^2}{\mu_2}. \quad (4.28)$$

Además, se asume que  $\lambda^*$  y  $\alpha_1^*$  se obtienen de las etapas anteriores,  $\delta$ ,  $c$ ,  $p$  son fijos, y el análisis de la Etapa I en lo que respecta a los BRs y el Equilibrio de Nash se calculan numéricamente.

#### 4.2.2. Análisis del Modelo de un solo-MNO

En esta sección, se estudia el caso en que sólo el operador de la red presta el servicio a un MVNO, es decir, esto puede ocurrir cuando el MVNO decide unilateralmente enviar todo el tráfico de la red a un solo-MNO, como se muestra en la Fig. 4.2. La primera etapa descrita en la sección 4.2 se reduce a una decisión óptima por parte del MNO. La segunda etapa en este caso donde  $\alpha_1$  se convierte en 0 para el MNO 2 y 1 para el MNO 1, respectivamente, según lo decida el MVNO. La tercera etapa se reduce a la elección entre el servicio prestado por el MVNO o ningún servicio—la utilidad se asume entonces como cero. Por lo tanto, llamaremos a este caso un único MVNO.

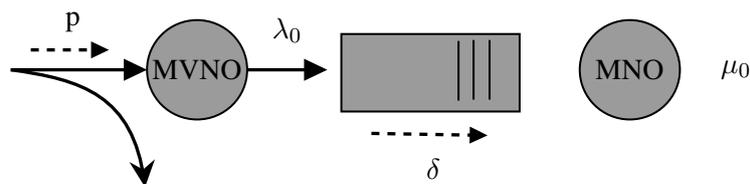


Figura 4.2: Modelo de un solo-MNO.

Por lo tanto, a partir de (4.10) los ingresos de un MNO son

$$\Pi_0 = \lambda_0 \delta - K_0 \mu - q_0 \mu^2. \quad (4.29)$$

#### 4.2.2.1. Provisión de servicios del MVNO

El tiempo medio de servicio  $T$  a partir de (4.4) es

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda_0}. \quad (4.30)$$

Por lo tanto, la utilidad de los usuarios en este caso es

$$U_{m_0} = c T^{-1} - p. \quad (4.31)$$

donde  $T = \left(\frac{1}{\mu - \lambda_0}\right)$ , y sustituyendo  $T$  en (4.31), se obtiene

$$U_{m_0} = c \left(\frac{1}{\mu - \lambda_0}\right)^{-1} - p. \quad (4.32)$$

Analizando la decisión de suscripción de los usuarios, observamos que dado un precio  $p$  anunciado por el operador, el equilibrio de Wardrop es.

- Caso I: El número de usuarios suscritos aumenta hasta que la utilidad es cero. Por lo tanto, la condición para este caso es

$$U_{m_0} = 0. \quad (4.33)$$

Resolviendo (4.32) bajo la condición (4.33), el número de usuarios es entonces

$$\lambda_0 = \left(\mu - \frac{p}{c}\right). \quad (4.34)$$

- Caso II: El precio en (4.32) es tan alto que la utilidad es siempre negativa. Por lo tanto, la condición para este caso es

$$U_{m_0} < 0. \quad (4.35)$$

Bajo la condición (4.35), los usuarios no se suscriben al servicio. Por lo tanto, el número de usuarios es

$$\lambda_0 = 0. \quad (4.36)$$

Se asume el equilibrio en el caso I, podemos obtener las ganancias del MVNO  $\Pi_{m_0}^*$  sustituyendo  $\lambda_0^*$  en (4.9).

$$\Pi_{m_0}^* = (p - \delta) \left(\mu - \frac{p}{c}\right). \quad (4.37)$$

### 4.2.2.2. Beneficios del MNO

En este punto, se analiza la capacidad de la red  $\mu^*$  dada por el valor de  $\lambda^*$  de la sección anterior. Se calcula el beneficio para el MNO en el escenario de monopolio sustituyendo (4.34) en (4.29)

$$\Pi_0(\mu) = \mu(\delta - K_0 - \mu q_0) - \frac{\delta p}{c}. \quad (4.38)$$

Se maximiza el beneficio fijando su derivado con respecto al precio ( $\mu_i$ ) igual a cero, el resultado de ( $\mu_i^*$ ) es

$$\mu_0^* = \frac{\delta - K_0}{2q_0}. \quad (4.39)$$

Por último, se obtiene el máximo beneficio sustituyendo (4.39) en (4.29)

$$\Pi_0^* = \frac{c(K - \delta)^2 - 4\delta pq}{4cq}. \quad (4.40)$$

## 4.3. Resultados y Discusión

En esta sección, se presentan algunos resultados numéricos obtenidos con el modelo descrito en este capítulo. Primero, se explora la decisión estratégica, concerniente a la capacidad de la red de MNOs ( $\mu_1^*, \mu_2^*$ ), el factor de división del tráfico de MVNO  $\alpha_1^*$ , la tasa media de llegada de paquetes  $\lambda^*$  y las ganancias de los MNOs ( $\Pi_1^*, \Pi_2^*$ ). En segundo lugar, se comparan los resultados obtenidos en el modelo multi-MNO MVNO con el modelo de un solo-MNO. Al respecto, nótese que los cálculos numéricos realizados son una solución numérica del sistema de ecuaciones (4.23) y (4.24) para calcular los equilibrios de Nash. Para ello, en el análisis se fija  $K_1 = K_2$  y  $K_1 < K_2$  para analizar los resultados. Para ello se ha realizado una serie de experimentos numéricos para obtener una mejor comprensión del escenario a partir de las interacciones económicas. Los valores de los parámetros, si no se indica lo contrario, son los que se muestran en las Tablas 4.1–4.4 y 4.3 y se explican a continuación:

- $K_i$  es el costo unitario de adquisición [141] y los valores asignados a este parámetro en el análisis satisfacen las restricciones (4.27) y (4.28).
- $q$  es un parámetro de ajuste del costo [141] y los valores asignados a este parámetro en el análisis satisfacen las restricciones  $q < K_i$  y  $q > 0$ .
- $p$  es el precio cobrado por el MVNO al usuario y el valor asignado es mayor que la tarifa  $\delta$  de un MNO para obtener beneficios positivos del MVNO en (4.9).
- $\delta$  es la tarifa que el MVNO paga a los MNOs y el valor asignado es  $\delta < p$ .
- $c$  es el factor de conversión a unidades monetarias, y el valor asignado es 2. Este parámetro no tiene mayor relevancia en los cálculos numéricos.

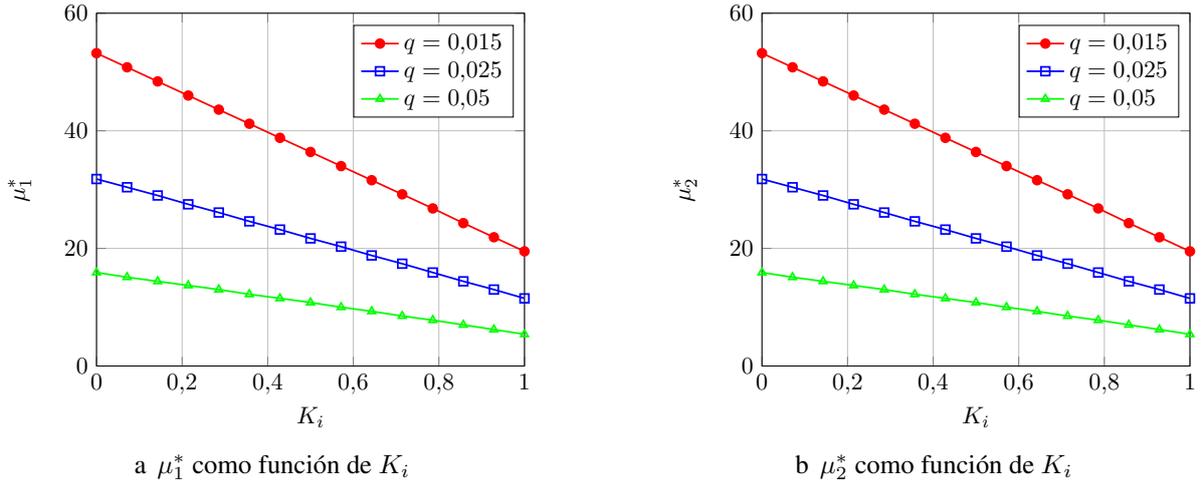


Figura 4.3: Capacidad de Red de los MNOs como función de  $K_i$ .

### 4.3.1. Costos de Inversión de los MNOS con $K_1 = K_2$

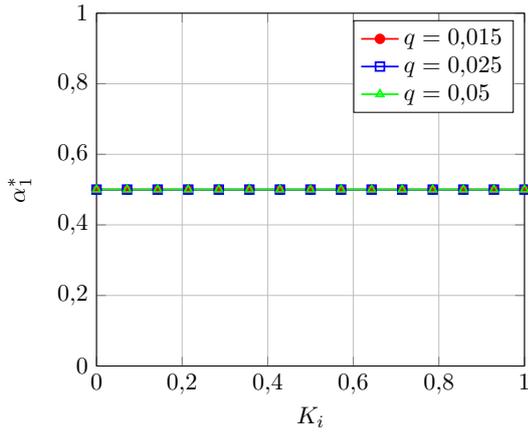
Los resultados de esta sección se obtienen en base a los valores de los parámetros mostrados en la Tabla 4.1. Esta configuración de parámetros ilustra un escenario simétrico entre los dos MNO del modelo Multi-MNO MVNO.

Cuadro 4.1: Valores de los parámetros para los cálculos numéricos.

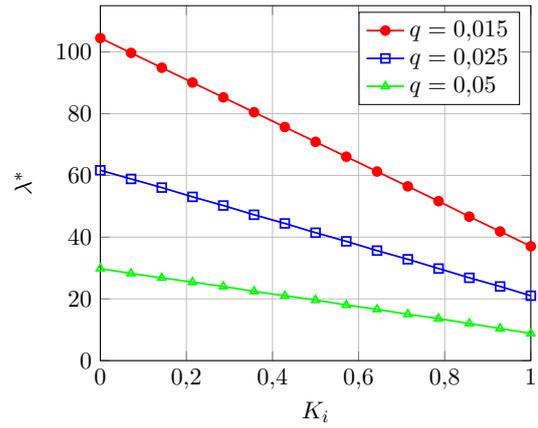
Parámetro	Valores
$K_1$	$[0, 1]$
$K_2$	$[0, 1]$
$q$	$\{0,015, 0,025, 0,5\}$
$p$	1.8
$\delta$	1.6
$c$	2

La Fig. 4.3 muestra la capacidad de la red de los MNOs ( $\mu_1^*, \mu_2^*$ ) en función de  $K_i$  ( $K_1 = K_2$ ) con diferentes valores de  $q$ . Cuando  $K_i$  y  $q$  aumentan, la capacidad de la red de los MNOs disminuye, como se muestra en las Figs. 4.3 a, b. En los dos casos anteriores, la capacidad de la red de los MNO es la misma; es decir, MNO 1 la capacidad de la red es igual a MNO 2 la capacidad de la red ( $\mu_1^* = \mu_2^*$ ).

La Fig. 4.4 muestra  $\alpha_1^*$  y  $\lambda^*$  en función de  $K_i$  con diferentes valores de  $q$ . El impacto en  $\alpha_1^*$  cuando  $K_i$  aumenta de 0 a 1 con diferentes valores de  $q$  es insignificante, como se muestra en la Fig. 4.4 a,  $\alpha_1^*$  se mantiene constante y es igual a  $\frac{1}{2}$ . El comportamiento descrito es consistente con el análisis realizado en la Proposición 2 si  $\mu_1^* = \mu_2^*$  entonces  $\alpha_1 = \frac{1}{2}$ .  $\lambda$  disminuye cuando  $K_i$  aumenta de 0 a 1 y  $q$  también aumenta como se muestra en la Fig. 4.3 b. El comportamiento descrito es consistente con el análisis realizado en la Proposición 1 para  $\alpha_1 \in (0, 1)$ , los valores que  $\lambda$  puede tomar son definidos por (4.12).



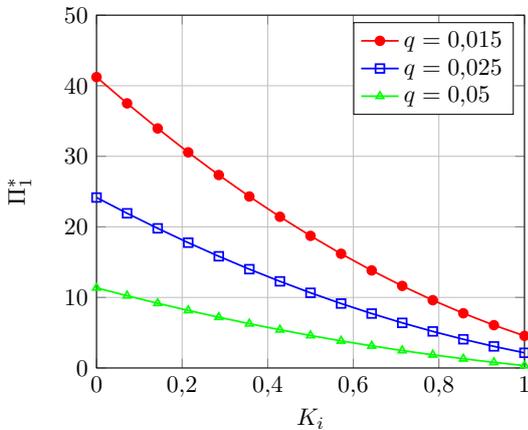
a  $\alpha_1^*$  en función de  $K_i$



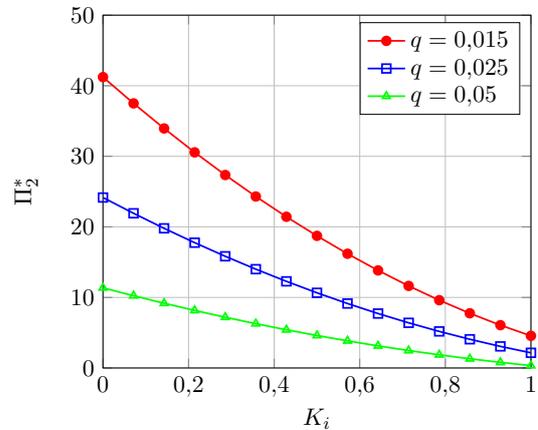
b  $\lambda^*$  en función de  $K_i$

Figura 4.4:  $\alpha_1^*$  y  $\lambda^*$  como una función de  $K_i$ .

La Fig. 4.5 muestra los beneficios de los MNOs en función de  $K_i$  con diferentes valores de  $q$ . Las ganancias de los MNOs disminuyen cuando los costos de inversión de los MNOs aumentan, como se muestra en las Figs. 4.5 a, b. Cuando los costos de inversión de los MNOs son iguales ( $K_1\mu_1 + q\mu_1^2 = K_2\mu_2 + q\mu_2^2$ ) los beneficios de los MNOs serán iguales ( $\Pi_1 = \Pi_2$ ) y su comportamiento es el descrito anteriormente cuando los costos de inversión aumentan. De la misma manera, el MNO 2 no resta el tráfico de la red del MNO 1 sino que aumenta el tráfico global del sistema ( $\lambda$ ), es decir,  $\lambda = \alpha_1\lambda_1 + (1 - \alpha_1)\lambda_2$ .



a  $\Pi_1^*$  en función de  $K_i$



b  $\Pi_2^*$  en función de  $K_i$

Figura 4.5: Beneficios de los MNOs en función de  $K_i$ .

Los resultados muestran que el aumento o la disminución de los costos de inversión de los MNOs tienen un impacto en la capacidad de la red de los MNOs (por ejemplo,  $\mu_1^*$  en la Fig. 4.3 a). Cuando los costos de inversión de los MNOs son iguales ( $K_1\mu_1 + q\mu_1^2 = K_2\mu_2 + q\mu_2^2$ ) el factor de división del tráfico será  $\frac{1}{2}$ ; es decir, el MVNO divide su tráfico de red por igual entre los MNOs. En consecuencia, cuando los costos de inversión de los MNOs de ambos operadores aumentan, la capacidad de la red de los MNOs disminuye y esto también hace que la tasa media de llegada de los usuarios de MNO disminuya. El comportamiento descrito impacta en los beneficios de los MNO, es decir, cada MNO adoptará una

estrategia que siempre proporcionará mayor utilidad a un jugador, independientemente de la estrategia del otro MNO (Estrategia dominante).

### 4.3.2. Costos de Inversión de los MNOs con $0 < K_1 < 1$ y $K_2 = 0,45$

Los resultados de esta sección se obtienen en base a los valores de los parámetros mostrados en la Tabla 4.2. Esta configuración de parámetros ilustra un escenario en el que los costos de inversión de los MNOs son diferentes.

Cuadro 4.2: Valores de parámetros para los cálculos numéricos

Parámetro	Valores
$K_1$	$[0, 1]$
$K_2$	0.45
$q$	$\{0,015, 0,025, 0,05\}$
$p$	1.8
$\delta$	1.6
$c$	2

La Fig. 4.6 muestra la capacidad de la red de los MNOs ( $\mu_1^*$ ,  $\mu_2^*$ ) en función de  $K_1$  para diferentes valores de  $q$  y  $K_2 = 0,45$ . La capacidad de la red MNO 1 ( $\mu_1^*$ ) disminuye cuando  $K_1$  aumenta de 0 a 1 para diferentes valores de  $q$  como se muestra en la Fig. 4.6 a. Al mismo tiempo, cuando  $K_1$  y  $q$  aumentan, la capacidad de la red del MNO 2 se mantiene constante como se muestra en la Fig. 4.6 b.

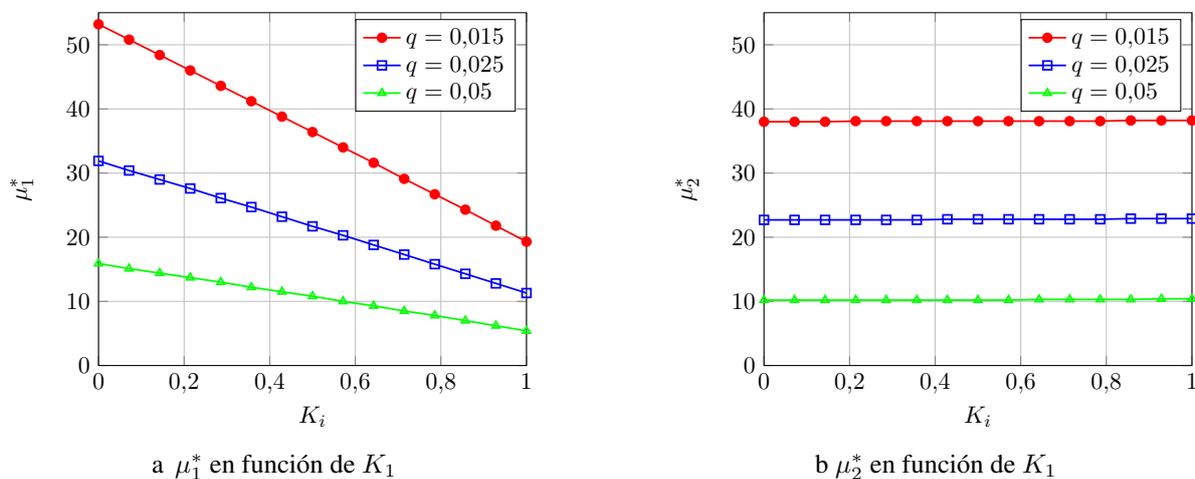


Figura 4.6: Capacidad de Red de los MNOs en función de  $K_1$  con  $K_2 = 0,45$ .

La Fig. 4.7 muestra  $\alpha_1^*$  y  $\lambda^*$  en función de  $K_1$  con diferentes valores de  $q$  y  $K_2 = 0,45$ . Cuando  $K_1$  aumenta de 0 a  $K_1 < K_2$  y  $q > 0$ ,  $\alpha_1^*$  es mayor que  $\frac{1}{2}$ , es decir, MNO 2 costo de inversión es mayor que MNO 1 costo de inversión. La capacidad de la red del MNO 2 es menor que la del MNO 1, como se muestra en la Fig.4.7 a. Cuando  $K_1 = K_2$  y  $q > 0$ ,  $\alpha_1^*$  se mantiene constante y es igual a  $\frac{1}{2}$ . Cuando  $K_1$  aumenta de 0 a 1 y  $q > 0$ ,  $\lambda$  disminuye como se muestra en la Fig. 4.7 b; es decir, los usuarios de los MVNO significan que la tasa de llegada depende de la capacidad de la red de los MVNO. El

comportamiento descrito es consistente con el análisis realizado en la Propuesta 1 de  $\alpha_1 \in (0, 1)$ ; los valores que  $\lambda$  puede tomar están definidos por (4.12).

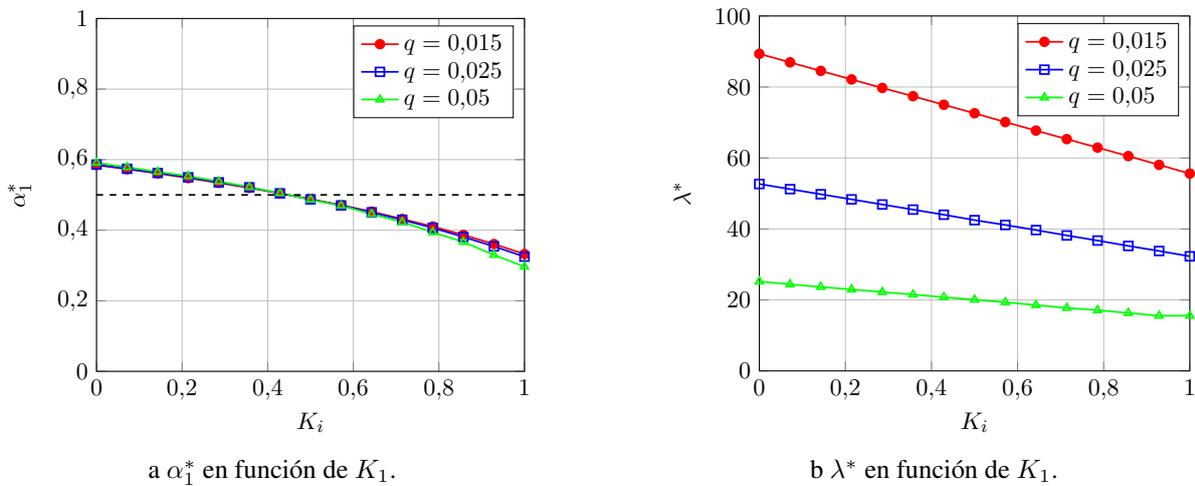


Figura 4.7:  $\alpha_1^*$  y  $\lambda^*$  en función de  $K_1$  con  $K_2 = 0,45$ .

La Fig. 4.8 muestra los beneficios de los MNOs en función de  $K_1$  y diferentes valores de  $q$  y  $K_2 = 0,45$ . Los beneficios del MNO 1 disminuyen cuando  $K_1$  pasa de 0 a 1; esto se debe a la disminución de la capacidad de la red ofrecida por el MNO 1. Este efecto es más notable cuando  $q$  ( $q\mu_i^{*2}$ ) se incrementa, como se muestra en la Fig. 4.8 a. Por otro lado, el impacto del parámetro  $K_1$  del MNO 1, los costos de inversión en los beneficios del MNO 2 es insignificante, como se muestra en la Fig. 4.8 b. Sin embargo, las ganancias del MNO 2 disminuyen cuando  $q$  aumenta, incluso cuando el MVNO asigna más tráfico de red al MNO 2, es decir,  $\alpha_2 > \alpha_1$  ( $1 - \alpha_1 > \alpha_1$ ), como se muestra en la Fig. 4.7 a. Esto ocurre cuando los costos de inversión de los MNOs aumentan y la capacidad de la red del MNO 2 disminuye, como se muestra en la Fig. 4.6 b.

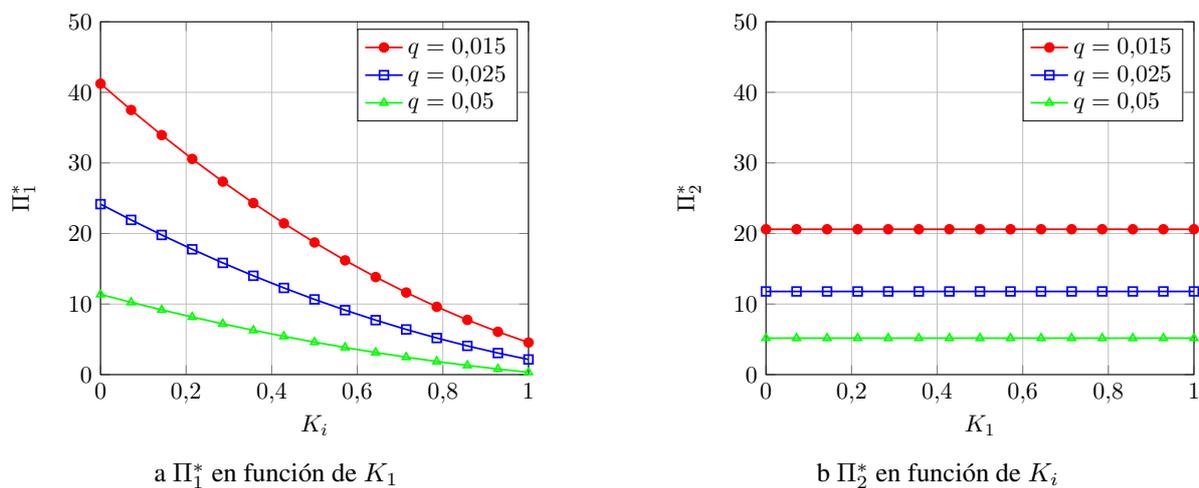


Figura 4.8: Beneficios de los MNOs en función de  $K_1$  y  $K_2 = 0,45$ .

Se concluye que cuando  $\alpha_1^* > \frac{1}{2}$  ( $K_1 < K_2$ ) la capacidad de la red del MNO 1 es mayor que la del MNO 2 y por lo tanto las ganancias del MNO 1 serán mayores. De la misma manera, cuando  $\alpha_1^* = \frac{1}{2}$  ( $K_1 = K_2$ ) la capacidad de la red del MNO 1 es igual a la capacidad de la red del MNO 2 y por lo tanto

las ganancias del MNO serán iguales. Cuando  $\alpha_1^* < \frac{1}{2}$  ( $K_1 > K_2$ ), la capacidad de la red del MNO 2 es mayor que la del MNO 1 y por lo tanto las ganancias del MNO 2 serán mayores, es decir, cada MNO adoptará una estrategia que siempre proporcionará mayor utilidad a un jugador, independientemente de la estrategia del otro MNO (Estrategia dominante).

Obsérvese que, el comportamiento cuando fijamos los parámetros  $K_2$  de 0 a 1 y  $K_1 = 0,45$ ,  $p = 0,08$ ,  $\delta = 0,6$  y  $c = 1$  es simétrico; es decir,  $\mu_i^*$ ,  $\lambda^*$ ,  $\Pi_i$  exhibe el mismo comportamiento que el descrito anteriormente pero sólo cuando  $K_2$  se incrementa de 0 a 1, como se muestra en la Fig. 4.11 en la sección 4.3.3.

### 4.3.3. Costos de Inversión de los MNOs con $0 < K_2 < 1$ y $K_1 = 0,45$

Los resultados de esta sección se obtienen en base de los parámetros mostrados en la Tabla 4.3. Esta configuración de parámetros ilustra un escenario en el que los costos de inversión de los MNOs son diferentes.

Cuadro 4.3: Valores de parámetros para los cálculos numéricos.

Parámetro	Valores
$K_1$	0,45
$K_2$	[0, 1]
$q$	{0,015, 0,025, 0,5}
$p$	1.8
$\delta$	1.6
$c$	2

La Fig. 4.9 muestra la capacidad de la red de los MNO ( $\mu_1^*$ ,  $\mu_2^*$ ) en función de  $K_2$  para diferentes valores de  $q$  y  $K_1 = 0,45$ . Cuando  $K_2$  y  $q$  aumentan, la capacidad de la red del MNO 1 se mantiene constante como se muestra en la Fig. 4.9 a. Al mismo tiempo, la capacidad de la red MNO 2 ( $\mu_2^*$ ) disminuye cuando  $K_2$  aumenta de 0 a 1 para diferentes valores de  $q$  como se muestra en la Fig. 4.9 b.

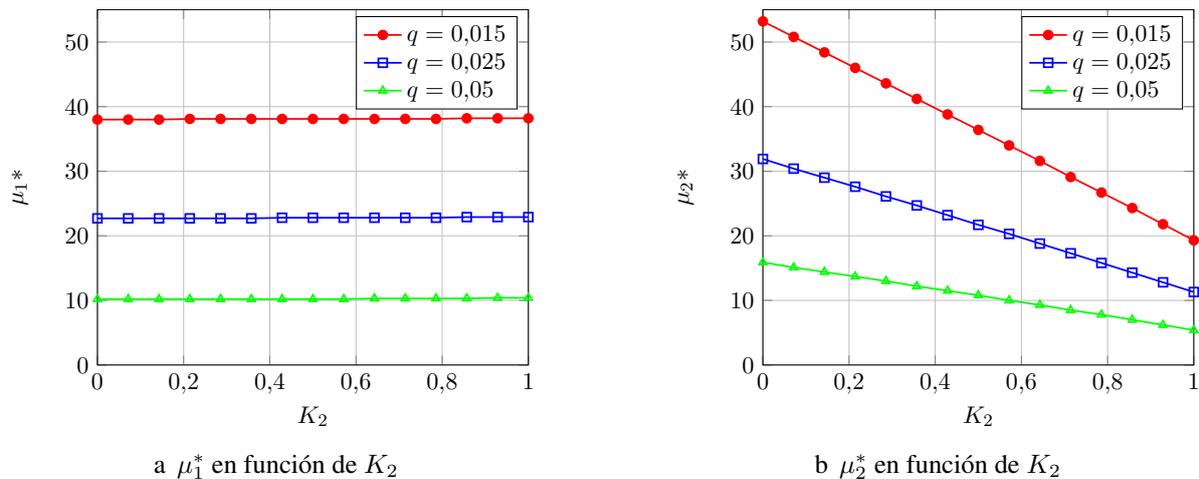


Figura 4.9: Capacidad de red de los MNOs en función de  $K_2$  con  $K_1 = 0,45$ .

La Fig. 4.10 muestra  $\alpha_1^*$  y  $\lambda^*$  en función de  $K_2$  con diferentes valores de  $q$  y  $K_1 = 0,45$ . Cuando  $K_2$  aumenta de 0 a  $K_2 < K_1$  y  $q > 0$ ,  $\alpha_1^*$  es menor que  $\frac{1}{2}$ , es decir, el costo de inversión del MNO 2 es menor que el costo de inversión del MNO 1. La capacidad de la red del MNO 1 es menor que la del MNO 2, como se muestra en la Fig. 4.9. Cuando  $K_2 = K_1$  y  $q > 0$ ,  $\alpha_1^*$  se mantiene constante y  $\alpha_1^*$  es igual a  $\frac{1}{2}$ . Además, cuando  $K_2$  aumenta de  $K_2 > K_1$  a 1 y  $q > 0$ ,  $\alpha_1^*$  es mayor que  $\frac{1}{2}$ , es decir, el costo de inversión del MNO 2 es mayor que el costo de inversión del MNO 1 y la capacidad de la red del MNO 2 es menor que la capacidad de la red del MNO 1, como se muestra en la Fig. 4.9. Cuando  $K_2$  aumenta de 0 a 1 y  $q > 0$ ,  $\lambda$  disminuye como se muestra en la Fig. 4.10 b; es decir, los usuarios del MVNO hacen que la tasa de llegada dependa de la capacidad de la red de los MNOs. El comportamiento descrito es consistente con el análisis realizado en la Proposición 1 para  $\alpha_1 \in (0, 1)$ , los valores que  $\lambda$  puede tomar son definidos por (4.12).

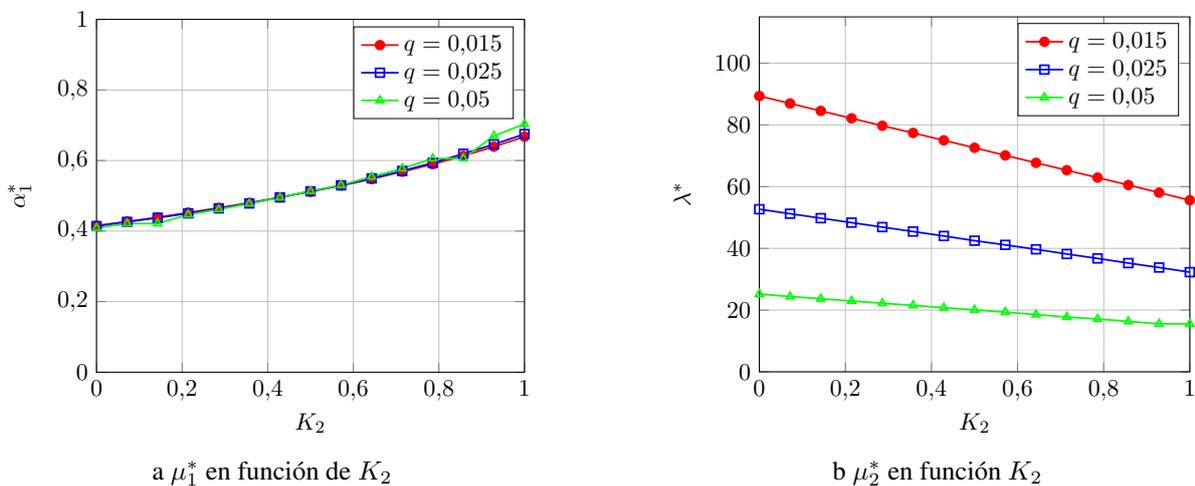
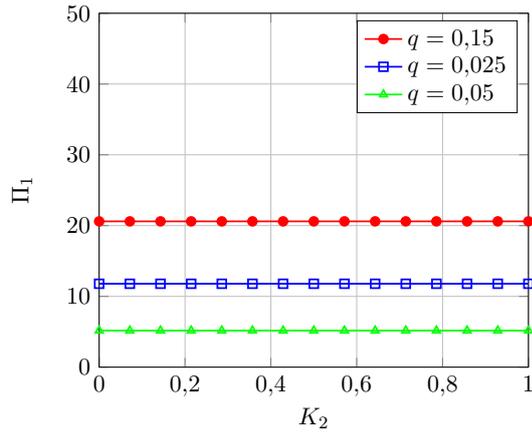
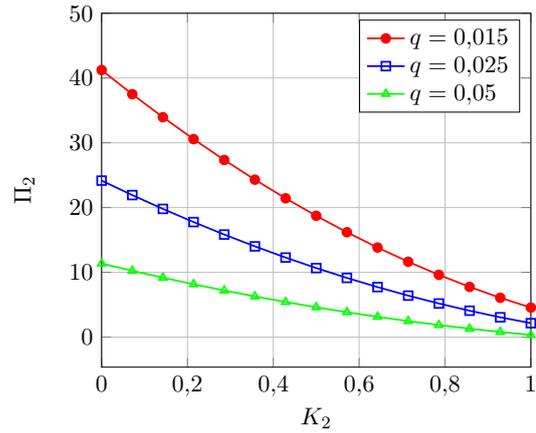


Figura 4.10:  $\alpha_1^*$  y  $\lambda^*$  en función de  $K_2$  con  $K_1 = 0,45$ .

La Fig. 4.11 muestra los beneficios de los MNOS en función de  $K_2$  y diferentes valores de  $q$  y  $K_1 = 0,45$ . Las ganancias del MNO 2 disminuyen cuando  $K_2$  aumenta de 0 a 1; esto se debe a la disminución de la capacidad de la red ofrecida por MNO 2. Este efecto es más notorio cuando  $q$  ( $q\mu_i^{*2}$ ) aumenta, como se muestra en la Fig. 4.11 b. Por otro lado, el impacto de  $K_2$  de los costos de inversión del MNO 2 en las ganancias del MNO 1 es insignificante, como se muestra en la Fig. 4.11 a. Sin embargo, las ganancias del MNO 1 disminuyen cuando  $q$  aumenta, incluso si el MVNO asigna más tráfico de red al MNO 1, es decir,  $\alpha_1 > \alpha_2$  ( $\alpha_1 > 1 - \alpha_1$ ), como se muestra en la Fig. 4.9 a. Esto ocurre cuando los costos de inversión de los MNOs aumentan y la capacidad de la red de los MNO 1 disminuye, como se muestra en la Fig. 4.10 a. Lo descrito se debe a que el costo de inversión del MNO aumenta y la capacidad de la red del MNO disminuye, como se relata en la Sección 4.3.1.



a  $\Pi_2$  en función de  $K_2$



b  $\Pi_2$  en función de  $K_2$

Figura 4.11: Beneficios de los MNOs en función de  $K_2$  con diferentes valores de  $q$  y  $K_1 = 0,1$ ,  $p = 0,08$ ,  $c = 1$ .

Obsérvese que, el comportamiento cuando se fijan los parámetros  $K_2$  de 0 a 1 y  $K_1 = 0,45$ ,  $p = 0,08$ ,  $\delta = 0,6$  y  $c = 1$  es simétrico al descrito en la sección 4.3.2; es decir,  $\mu_i^*$ ,  $\lambda^*$ ,  $\Pi_i$  exhibe el mismo comportamiento que pero sólo cuando  $K_2$  se incrementa de 0 a 1, como se muestra en la Fig. 4.11.

#### 4.3.4. Comparación entre los modelos Multi-MNO MVNO y un solo-MNO

Finalmente, en esta sección se discuten los modelos de multi-MNO, MVNO y un solo-MNO, es decir, la comparación entre la capacidad de red de los MNO, la tasa de llegada media de los usuarios del MVNO, las ganancias de los MNOs y las ganancias de los MVNO obtenidas en la Sección 4.3.2 con las obtenidas en el Apéndice resection:MONO. Para este propósito, los valores de los parámetros se muestran en la tabla 4.4.

Cuadro 4.4: Valores de parámetros para los cálculos numéricos.

Parámetro	Valores
$K_0$	$[0, 1]$
$K_1$	$[0, 1]$
$K_2$	0.45
$q$	0.025
$p$	1.8
$\delta$	1.6
$c$	2

La Fig. 4.12 muestra la capacidad de la red de los MNO (multi-MNO) y la capacidad de la red del MNO 0 (un solo-MNO) en función de  $K_1$  ( $K_0 = K_1$ ) con  $q = 0,025$  y  $K_2 = 0,45$ . En primer lugar, la capacidad de la red del MNO 1 es mayor que la capacidad de la red del MNO 0. En segundo lugar, el impacto en la capacidad de la red (MNO 0, MNO 1) cuando  $K_1$  aumenta de 0 a 1 es notorio como se muestra en la Fig. 4.12, cuando  $K_1$  aumenta la capacidad de la red (MNO 1, MNO 0) disminuye. En tercer lugar, la capacidad de la red del MNO 2 se mantiene constante cuando  $K_1$  aumenta de 0 a 1.

Además, la capacidad de la red del MNO 2 es menor que la del MNO 1 cuando  $K_1 < K_2$  ( $K_2 = 0,45$ ) y la capacidad de la red del MNO 2 es mayor que la del MNO 1. Este comportamiento se describe en la Sección 4.3.2.

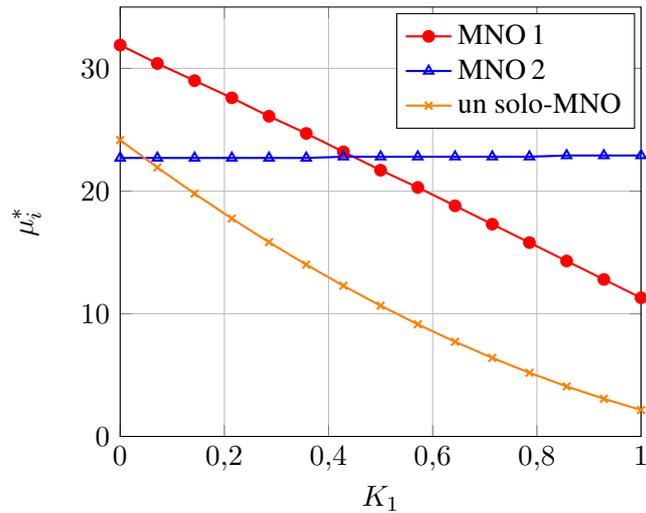


Figura 4.12: Capacidad de red de los MNO  $i$ 's en función de  $K_1$  con  $K_2 = 0,45$ .

La Fig. 4.13 muestra  $\lambda^*$  en función de  $K_1$  ( $K_0 = K_1$ ) con  $q = 0,025$  y  $K_2 = 0,45$ . El impacto en  $\lambda_0$  (un solo-MNO) y  $\lambda$  (multi-MNO MVNO) cuando  $K_1$  aumenta de 0 a 1 es alto, debido a que la llegada media de los usuarios ( $\lambda_0, \lambda$ ) disminuye. Además, la llegada media de usuarios cuando el MVNO comparte su tráfico de red con dos MNO, es mayor que cuando sólo comparte con un MNO.

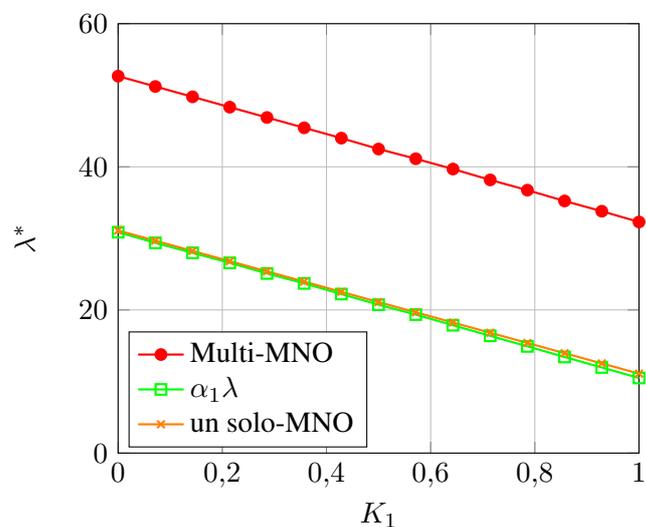
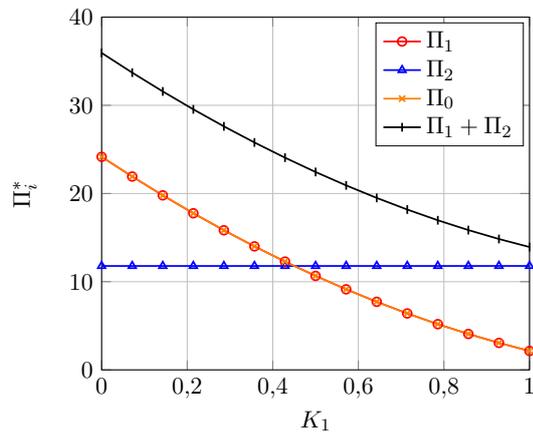


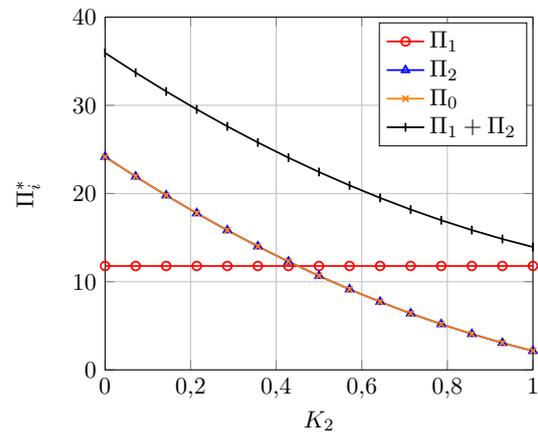
Figura 4.13: Capacidad de red de los MNOs y MVNO en función de  $K_1$  con  $K_2 = 0,45$ .

La Fig. 4.14 muestra las ganancias de equilibrio de cada operador ( $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_0$ ) en función de  $K_1$  ( $K_0 = K_1$ ) con  $q = 0,025$  y  $K_2 = 0,45$ . Observamos que cuando los beneficios de los MNO 0 y MNO 1 son iguales, cuando  $K = K_1$  aumenta de 0 a 1, los beneficios del MNO 1 disminuyen. Al mismo tiempo, los beneficios del MNO 2 se mantienen constantes ya que para ello consideramos que  $K_2 = 0,45$ , es decir, los costes de inversión del MNO 2 se mantienen constantes. Además, con  $K_0 = K_2$

y  $K_1 = 0,45$  muestran el mismo comportamiento que el descrito anteriormente pero las ganancias de MNO 2 y MNO 0 son iguales y disminuyen cuando  $K_2$  aumenta, como se muestra en la Fig. 4.14b.



a  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_0, \Pi_1 + \Pi_2$  en función de  $K_1$  con  $K_2 = 0,45$



b  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_0, \Pi_1 + \Pi_2$  en función de  $K_2$  con  $K_1 = 0,45$

Figura 4.14: Beneficios de los MNOs en el equilibrio.

Cuando se compara el beneficio que obtiene el MNO en un modelo de un solo-MNO,  $\Pi_0$  (véase sección 4.2.2), se concluye que los beneficios del MNO son los mismos para ambos modelos analizados. Sin embargo, los costos de inversión en el modelo de un solo-MNO son menores para obtener los mismos beneficios que en el modelo multi-MNO MVNO, dado que la capacidad de la red del MNO 0 es menor que la capacidad de la red del MNO 1 requerida en el modelo multi-MNO MVNO. Además, hemos determinado una suma global de beneficios, que incluye los beneficios de los MNOs en un modelo de MVNO, como se muestra en la Fig. 4.14. Los beneficios globales  $\Pi_1 + \Pi_2$  tienen el mismo comportamiento descrito anteriormente para los beneficios de los MNOs, cuando  $K_1$  disminuye como se muestra en la Fig. 4.14 a, b, es decir, también disminuyen cuando aumentan los costos de inversión. Los beneficios globales de un modelo de multi-MNO MVNO es mayor que un modelo de un solo-MNO. La Fig. 4.15 muestra las ganancias del MVNO en los modelos multi-MNO MVNO y un solo-MNO en función de  $K_1$  con  $q = 0,025$  y  $K_2 = 0,45$ . Observamos que cuando el MVNO tiene un acuerdo con dos MNOs, sus beneficios son mayores que cuando el MVNO tiene un acuerdo con un solo MNO. La explicación de estos resultados se relaciona con el hecho de que  $\lambda > \lambda_0$  como se muestra en la Fig. 4.13. Además, observamos que el MVNO sufre una reducción de sus beneficios en ambos casos. Esto se debe al hecho de que la capacidad de la red de los MNO ( $\mu_1, \mu_2$ ) disminuye cuando el costo de inversión aumenta.

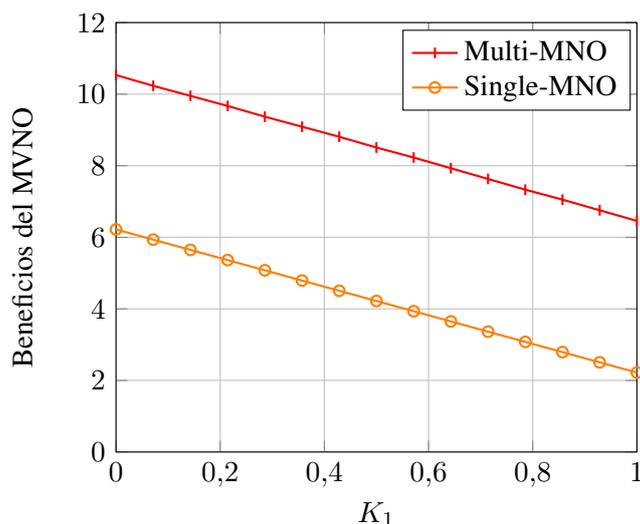


Figura 4.15: Beneficios del MVNO en equilibrio en función  $K$  con  $K_2 = 0,45$ .

Los resultados muestran que la llegada de los usuarios en el modelo multi-MNO MVNO es mayor que en el modelo de un solo-MNO ( $\lambda > \lambda_0$ ); es decir, el MVNO puede suscribir un mayor número de usuarios como se muestra en la Fig. 4.13, debido al hecho de que la entrada del MNO 2 aumenta la capacidad de la red del MVNO ( $\lambda = \alpha_1 \lambda + (1 - \alpha_1) \lambda$ ). En consecuencia, los beneficios de los MVNO en el modelo multi-MNO MVNO son mayores que en el modelo de un solo-MNO, como se muestra en la Fig. 4.15. De la misma manera, con respecto a los MNOS, la capacidad de red en el modelo multi-MNO MVNO es mayor que en el modelo de un solo-MNO, como se muestra en la Fig. 4.12. Sin embargo, los beneficios del MNO 0 y MNO 1 son iguales y disminuyen cuando  $K_1$  aumenta como se muestra en la Fig. 4.14; es decir, los MNOS necesitarán más capacidad de red en el modelo de multi-MNO MVNO para obtener las mismas ganancias que en el modelo de un solo-MNO.

#### 4.4. Conclusiones

En esta sección se ha estudiado la viabilidad del modelo multi-MNO MVNO, desde el punto de vista de los beneficios positivos para todos los actores y se han comparado los resultados con un modelo de un solo-MNO. Los principales resultados, sugieren que en el modelo de negocio, el MVNO proporciona servicio a un mayor número de usuarios, que el modelo de un solo-MNO. Como consecuencia, el modelo multi-MNO MVNO genera más ingresos al MVNO que el modelo de un solo-MVNO. En este contexto, los beneficios del MNO 1 son iguales a los beneficios del MNO 0, porque cada MNO adoptará una estrategia que siempre proporcionará mayor utilidad a un jugador, independientemente de lo que utilice la estrategia del otro MNO (Estrategia dominante). En el modelo multi-MNO MVNO, la capacidad de la red del MNO 1 debe ser mayor para obtener los mismos beneficios que en el modelo de un solo-MNO. Sin embargo, la entrada del segundo operador (MNO 2) en el sistema es deseable no sólo desde el punto de vista de la eficiencia en el uso de los recursos, sino también desde el punto de vista de los usuarios, y de los operadores. Lo anterior, se explica por la entrada del MNO 2 en el mercado, que permite aumentar el número de usuarios al MVNO y generar beneficios positivos para todos los operadores en el modelo multi-MNO MVNO. Además, el nuevo operador MNO 2 no resta usuarios al operador incumbente (MNO 1), sino que aumenta la capacidad del MVNO, que distribuirá su tráfico de red según  $\alpha_1$ . Así mismo, se ha demostrado que el modelo multi-MNO MVNO es factible, ya que proporciona

incentivos a los operadores en comparación con el escenario de un solo-MNO. Para cada configuración de parámetros, hay un rango de valores de  $K_i$  y  $q$ , para los cuales se puede diseñar un beneficio global en el sistema para que el MNO 1 tenga un incentivo para dejar entrar al MNO 2.

Dado que se ha demostrado que las tres etapas son factibles, en condiciones específicas de decisión de suscripción, a partir de la división óptima del tráfico de la red del MVNO y los operadores con beneficios positivos, podemos concluir que todo el modelo de multi-MNO MVNO es condicionalmente factible desde el punto de vista económico.

---

---

## CAPÍTULO 5

---

# VIABILIDAD ECONÓMICA DE MODELOS DE NEGOCIO DE COMPARTICIÓN DE INFRAESTRUCTURA ENTRE UN MNO Y UN MVNO

El objetivo de este capítulo es analizar la viabilidad económica en la prestación de servicios mediante la compartición de infraestructura de un MNO. Se proponen dos modelos de negocio en el cual el MNO es el propietario de la red y proporciona los servicios a su base usuarios y al MVNO que proporciona servicio a sus propios usuarios. En el primer modelo analizado el MNO proporciona el servicio a las dos bases de usuarios, mientras que en el otro modelo el MVNO realiza un pago al MNO por cada usuario que se suscribe al servicio.

El capítulo tiene la siguiente estructura: en la sección 5.1 se describen los modelos de negocio analizados, la disciplina de cola empleada para modelar la utilidad de los usuarios, el esquema de beneficios de los operadores y el modelo de juego empleado, para maximizar la utilidad de los actores. En la sección 5.2 se realiza el análisis de la interacción estratégica de los actores para cada uno de los modelos planteados en este capítulo. En la sección 5.3 se presentan los resultados de dos escenarios denominados *Compartición Igualitaria* y *Compartición Prioritaria*, en los cuales se considera la misma sensibilidad para los usuarios ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ) del MNO y MVNO y un pago del MVNO  $\delta = 0$  al MNO. En la sección 5.4 se presentan los resultados del análisis de los Modelos de Negocio *Monopólico* y *Estratégico*, para escenarios en los cuales se considera para los usuarios sensibilidades iguales y diferentes, así como un pago  $\delta > 0$  del MVNO al MNO. Finalmente, en la sección 5.5 se se presentan las conclusiones del modelo propuesto.

## 5.1. Descripción del Modelo

En este capítulo, se proponen dos modelos de negocio para un Operador de Red (MNO, que se denomina Operador 1) y un Operador Virtual (MVNO, que se denomina Operador 2). Los dos operadores tienen su propia base de usuarios, por lo que no hay competencia para los usuarios. El MNO opera su propia infraestructura de red, pero el MVNO no posee infraestructura. La red del MNO apoya entonces la prestación de servicios de ambos operadores.

La base de usuarios de cada operador genera ingresos para su prestador de servicio. El número de suscriptores de cada operador depende de la QoS recibida y el precio del servicio. La QoS dependerá de la capacidad de red y de como comparten la misma los operadores, ambos aspectos están fijados externamente. Sin embargo, el precio del servicio está fijado por los operadores (MNO y MVNO) con el fin de maximizar sus beneficios.

La diferencia entre los dos modelos analizados en este capítulo radica en lo siguiente:

- En el primer modelo, se denomina *Monopólico*, el MNO provee el servicio a su propia base de usuarios como a la base de usuarios del MVNO.
- En el segundo modelo, se denomina *Estratégico*, cada operador presta servicio a su propia base de usuarios; además el MNO obtiene un ingreso por cada usuario del MVNO.

Los dos modelos de negocio se evaluarán considerando un *Escenario Base*. En este escenario, el MNO presta servicio únicamente a su propia base de usuarios a través de su red y no presta servicio a los usuarios del MVNO.

Los modelos de negocio antes indicados, se especifican formalmente en esta sección, con el fin de proporcionar una base para el análisis. En primer lugar se describe el *Escenario Base*. En segundo lugar, el modelo de *Monopolio* en el cual, se describe el servicio prestado por un solo proveedor de la infraestructura de red. En tercer lugar el modelo *Estratégico*, en el cual el MNO recibe un incentivo económico y por los usuarios del MVNO.

### 5.1.1. Modelo del Sistema

La red que soporta la prestación de servicios a los usuarios se modela como una cola M/M/1-DPS, tal como se observa en la Fig. (3.4) y se explica a continuación.

Los usuarios son modelados, como fuentes de paquetes Poisson independientes, con una tasa de generación de paquetes individuales  $\lambda_d$ , de modo que, a cada operador se le ofrece una fuente de paquetes Poisson con tasa  $\lambda_i = \lambda_d n_i$  (donde  $n_i$  es el número de usuarios del Operador  $i$ ) y la suma de las dos fuentes es también de Poisson con tasa  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ . Se supone que el tiempo medio de servicio de los paquetes se distribuyen exponencialmente con una media de  $\frac{1}{\mu}$ . Por razones de estabilidad se considera que  $\lambda < \mu$ .

Se representa todo el modelo propuesto, como una sola cola M/M/1, es una simplificación que se justifica por la necesidad de obtener, expresiones manejables para la utilidad de los usuarios de la red. Este enfoque ha sido adoptado anteriormente por [125–127] en el contexto del análisis económico del servicio

de Internet bajo el paradigma DiffServ (servicio diferenciado). Además, en este trabajo se elige una cola con disciplina de servicio DPS para modelar la compartición de la capacidad de la red que se habilita mediante NS. Concretamente, con una cola con disciplina de servicio DPS se gestionan dos prioridades y cada cola atiende a su propia base de abonados, y cada cola recibe servicio para sus paquetes a una tasa instantánea proporcional a su prioridad. Esta elección permite modelar, la distribución de la prioridad de servicio entre las clases de usuarios de manera más flexible, que las disciplinas más simples como la cola de prioridades. La elección de disciplina de servicio DPS se hace también en [125].

Una cola con disciplina de servicio DPS funciona básicamente de la siguiente manera: si hay clientes  $n$  con prioridades  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ( $x_i \leq 1$  para  $i = 1, \dots, n$ ), entonces el cliente  $i$  se sirve a una fracción  $\frac{x_i}{\sum_{j=1}^n x_j}$  de la capacidad del servidor [150]. En el modelo propuesto, las dos prioridades son  $x_1 = 1 - \gamma$  para los paquetes de usuarios del MNO, y  $x_2 = \gamma$  para los paquetes de usuarios del MVNO, donde  $x_1 + x_2 = 1$  y  $0 \leq \gamma \leq 1$ . Una disciplina DPS es un mecanismo mucho más flexible que las colas con disciplina de servicio con prioridad para modelar la compartición de un recurso común, gracias al parámetro  $\gamma$ . Las fórmulas para los tiempos medios de servicio de paquetes  $T_i$  en una cola M/M/1-DPS están dadas por

$$T_1 = \frac{1}{\mu - \lambda_d n_1 - \lambda_d n_2} \left( 1 + \frac{\lambda_d n_2 (2\gamma - 1)}{\mu - (1 - \gamma)\lambda_d n_1 - \gamma\lambda_d n_2} \right), \quad (5.1)$$

$$T_2 = \frac{1}{\mu - \lambda_d n_1 - \lambda_d n_2} \left( 1 - \frac{\lambda_d n_1 (2\gamma - 1)}{\mu - (1 - \gamma)\lambda_d n_1 - \gamma\lambda_d n_2} \right). \quad (5.2)$$

En el mismo sentido, una cola con disciplina de servicio con Prioridad (PQ) es un caso especial de una Cola con disciplina DPS, es decir, cuando  $\gamma = 0$  da prioridad estricta a los usuarios del Operador 1 y  $\gamma = 1$  da prioridad estricta a los usuarios del Operador 2 [127].

En el modelo base, en el cual el MNO presta el servicio únicamente a su base de usuarios, el modelo se reduce a una cola M/M/1-PS, en la que el tiempo medio de servicio de paquetes es

$$T_1 = \frac{1}{\mu - n_1 \lambda_d}. \quad (5.3)$$

### 5.1.2. Modelo Económico

Los usuarios están interesados, en recibir el servicio de telecomunicaciones que proporciona un operador. Un suscriptor de un Operador  $i$  paga un precio de suscripción  $p_i$  por la prestación del servicio, y recibe una QoS  $Q_i$ . La expresión de la QoS viene dada por

$$Q_i \equiv c T_i^{-\alpha_i}, \quad i = 1, 2, \quad (5.4)$$

donde  $c > 0$  es un factor de conversión y  $T_i$  es el tiempo medio de servicio de los paquetes, que también llamamos retardo. El parámetro  $\alpha_i$  ( $0 \leq \alpha_i \leq 1$ ) representa la sensibilidad al retardo de los usuarios de Operador  $i$ . Un incremento de la sensibilidad de retardo  $\alpha_i$  se traduce en una peor QoS para el usuario.

En el mismo sentido, proponemos que la expresión de la utilidad que recibe un usuario sea dada, por la QoS en unidades monetarias menos el precio cobrado por el operador por el servicio:

$$U_i \equiv c T_i^{-\alpha_i} - p_i, \quad i = 1, 2. \quad (5.5)$$

Se asume que  $0 \leq \alpha_i \leq 1$ , por lo que (5.5) es una función cóncava; así como,  $1/T_i$ , es habitual en el modelado de servicios de telecomunicaciones [151] para representar el retardo en la atención de un usuario en una cola.

Finalmente, establecemos un valor de utilidad de usuario igual a cero, cuando un usuario no se suscribe al servicio. Las expresiones para la utilidad de usuario (5.4) y (5.5) han sido previamente adoptadas por [125, 126] y por los autores en [19, 47].

En cuanto a los operadores, los beneficios se definen como los ingresos menos los costos. Específicamente, los ingresos que cada operador obtiene y los costos en los que cada operador incurre dependen del modelo de negocio definido en la página 58:

**Modelo Básico:**

El MNO cobra por prestar el servicio un precio  $p_1$  a su propia base de usuarios. Suponiendo que el MNO no incurra en costes, su beneficio viene dado por:

$$\Pi_0 = n_1 p_1. \tag{5.6}$$

**Modelo de Negocio Monopólico:**

El MNO cobra un precio de  $p_1$  a su propia base de usuarios, y un precio de  $p_2$  a la base de usuarios del MVNO. Suponiendo que el MNO no incurra en costes, su beneficio viene dado por

$$\Pi_m = n_1 p_1 + n_2 p_2. \tag{5.7}$$

**Modelo de Negocio Estratégico:**

El MNO cobra por prestar el servicio, el precio de  $p_1$  a su propia base de usuarios, y el MVNO cobra por prestar el servicio el precio de  $p_2$  a su propia base de usuarios. Además, el MVNO paga una tarifa  $\delta$  al MNO por cada suscriptor que accede al servicio del MVNO. En los dos casos, ni el MNO ni el MVNO incurren en costes. Por lo tanto, los beneficios vienen dados por

$$\Pi_1 = n_1 p_1 + n_2 \delta \tag{5.8}$$

$$\Pi_2 = n_2 p_2 - n_2 \delta. \tag{5.9}$$

Para los diferentes modelos propuestos, suponemos que los operadores no incurren en costes, esto lo hacemos por simplicidad, sin perder la generalidad en el análisis. En lo referente a los costes de operación, su inclusión no aportará información adicional, ya que no dependen del precio del servicio, mientras que hace menos explícita la expresión de los beneficios. En cuanto a los costes de inversión, podemos considerarlos constantes, dado que la escala de tiempo en la que el MNO, puede incrementar su capacidad de la red es mayor que la escala de tiempo en la que varían los precios [19, 125].

**5.1.3. Modelo del Juego**

En los tres escenarios antes descritos, podemos identificar interacciones estratégicas entre la decisión de suscripción de los usuarios, y las decisiones de precios de los operadores.

**Modelo Básico:**

- La decisión de suscripción de los usuarios del MNO, está influenciada por la decisión de precios del MNO.
- El beneficio de MNO, depende de la decisión de suscripción de los usuarios del MNO.

#### **Modelo de Negocio Monopólico:**

- La decisión de suscripción de los usuarios al MNO y de los usuarios al MVNO, estará influenciada por la decisión de fijación de precios del MNO.
- La decisión de suscripción de los usuarios al MNO, dependerá de las decisiones de suscripción de los usuarios de MVNO, en función del factor  $Q_1$ . Y la decisión de suscripción de los usuarios al MVNO, depende de las decisiones de suscripción de los usuarios al MNO, en función del factor  $Q_2$ .
- Los beneficios del MNO, dependen de las decisiones de suscripción de los usuarios al MNO, y de las decisiones de suscripción de los usuarios al MVNO.

#### **Modelo de negocio Estratégico:**

- La decisión de suscripción de los usuarios al MNO, está influenciada por la decisión de fijación de precios del MNO, para la prestación del servicio. Y la decisión de suscripción de los usuarios del MVNO, está influenciada por la decisión de fijación de precios del MVNO, para la prestación del servicio.
- La decisión de suscripción de los usuarios al MNO, depende de las decisiones de suscripción de los usuarios al MVNO, en función del factor  $Q_1$ . Y la decisión de suscripción de los usuarios al MVNO, depende de las decisiones de suscripción de los usuarios al MNO, en función del factor  $Q_2$ .
- Los beneficios del MNO, depende de la decisión de suscripción de los usuarios al MNO. Y los beneficios del MVNO, dependen de la decisión de suscripción de los usuarios al MVNO.
- Los beneficios del MNO, se ven influenciados por la decisión de fijar precios del MVNO, e indirectamente a través de las decisiones de suscripción de los usuarios del MVNO. Y viceversa.

Las interacciones estratégicas antes descritas son susceptibles de ser analizadas mediante la *Teoría de Juegos*, donde los jugadores son las dos bases de usuarios y el MNO en el modelo monopólico, y las dos bases de usuarios y los dos operadores en el modelo estratégico. Los incentivos son las utilidades para cada base de usuarios y las ganancias para cada operador.

El modelo de juego propuesto es, un juego de dos etapas, con una estructura diferente para cada escenario:

#### **Modelo Básico:**

La Etapa I está compuesta por un jugador (MNO), que fija  $p_1$ . La Etapa II está compuesto por su base de usuarios, dentro de la cual cada usuario elige si desea suscribirse o no.

#### **Modelo de Negocio Monopólico:**

La Etapa I está compuesta por un jugador (MNO), que fija tanto  $p_1$  como  $p_2$ .

### Modelo de Negocio Estratégico:

La Etapa I está compuesta por dos operadores (MNO y MVNO), cada uno de los cuales fija su precio de servicio.

Este juego de dos etapas se resuelve usando inducción hacia atrás [145], lo que significa que en la Etapa I los jugadores proceden anticipándose a la solución de la Etapa II, tal como se describe en la sección 3.1.

#### 5.1.3.1. II - Suscripción de los Usuarios:

En la Etapa II cada usuario toma su propia decisión de suscripción, tratando de maximizar la utilidad que obtiene al suscribirse o no al operador. Cada usuario perteneciente a una base de usuarios del Operador  $i$  que observará el precio  $p_i$  y tomará una decisión de suscripción basada en la utilidad que obtendría de cada alternativa:  $U_i$  (ver (5.5)) si se suscribe, o si no lo hace.

Suponiendo que el número de usuarios sea lo suficientemente alto, la decisión de suscripción individual de un usuario de la base de usuarios del Operador  $i$ , no afecta a la utilidad del resto de la base de usuarios del Operador  $i$ . Bajo estas condiciones, el equilibrio alcanzado es el postulado por Wardrop [148]. Básicamente, en un *equilibrio de Wardrop*, la utilidad que obtiene cada usuario se iguala entre los resultados de la decisión. Esto significa que, en lo que respecta a la base de usuarios del Operador  $i$  o bien  $U_i = 0$  y algunos usuarios se suscriben ( $n_i \geq 0$ ), o bien  $U_i < 0$  y ningún usuario se suscribe ( $n_i = 0$ ).

Para el *escenario base*, podemos identificar dos casos posibles:

- Caso I:

$$U_1 = 0, \text{ y } n_1^* \geq 0. \quad (5.10)$$

- Caso II:

$$U_1 < 0, \text{ y } n_1^* = 0. \quad (5.11)$$

Mientras que para los modelos de negocio *monopólico* y *estratégico*, podemos identificar cuatro posibles casos:

- Caso I:

$$U_1 = 0, U_2 = 0, \text{ y } n_1^* \geq 0, n_2^* \geq 0. \quad (5.12)$$

- Caso II:

$$U_1 = 0, U_2 < 0, \text{ y } n_1^* \geq 0, n_2^* = 0. \quad (5.13)$$

- Caso III:

$$U_1 < 0, U_2 = 0, \text{ y } n_1^* = 0, n_2^* \geq 0. \quad (5.14)$$

- Caso IV:

$$U_1 < 0, U_2 < 0, \text{ y } n_1^* = 0, n_2^* = 0. \quad (5.15)$$

Como se detalla en la Sección 5.2, los cuatro resultados anteriores expresan  $n_1^*$  y  $n_2^*$  como funciones de  $p_1$  y  $p_2$ , es decir,  $n_1^*(p_1, p_2)$  y  $n_2^*(p_1, p_2)$ .

### 5.1.3.2. Etapa I - Decisión de precios del/de los operador/es:

En el escenario base, el MNO elige un  $p_1$  para maximizar sus ganancias,  $\Pi_0$ , están dadas por (5.6). El MNO anticipa que la suscripción de los usuarios se establecerá en el equilibrio descrito en la sección anterior, de modo que  $\Pi_0$  estará en función de  $p_1$ . El precio de maximización de ganancias  $p_1^*$  se da como

$$p_1^* = \arg \max_{p_1} \Pi_0(p_1). \quad (5.16)$$

En el modelo de negocio monopólico, el MNO elige  $p_1$  y  $p_2$  para maximizar sus ganancias,  $\Pi_m$ , dadas por (5.7). El MNO prevé que la suscripción de los usuarios se estabiliza en el equilibrio descrito en la sección anterior, de modo que  $\Pi_m$  será una función de  $p_1$  y  $p_2$ . Los precios de maximización de ganancias  $p_1^*$  y  $p_2^*$  se dan de la siguiente manera

$$\{p_1^*, p_2^*\} = \arg \max_{p_1, p_2} \Pi_m(p_1, p_2). \quad (5.17)$$

En el modelo estratégico de negocio, cada operador es consciente no sólo del equilibrio de la suscripción de usuarios en la Etapa II y de su función de beneficio, sino también del comportamiento racional del otro operador. El precio de maximización del beneficio para cada operador dependerá entonces de la elección del otro operador, es decir, estará dado por una función de mejor respuesta (BR):

$$BR_1(p_2) = \arg \max_{p_1} \Pi_1(p_1, p_2), \quad (5.18)$$

$$BR_2(p_1) = \arg \max_{p_2} \Pi_2(p_1, p_2). \quad (5.19)$$

El equilibrio de Nash en la Etapa I, será un par de precios  $p_1^*$  y  $p_2^*$  de manera que cada operador fijará el mejor precio de respuesta al precio del otro operador, es decir, la solución del siguiente sistema de ecuaciones:

$$p_1^* = BR_1(p_2^*), \quad (5.20)$$

$$p_2^* = BR_2(p_1^*). \quad (5.21)$$

## 5.2. Análisis

En esta sección, en primer lugar, se obtiene analíticamente el equilibrio de Wardrop para la Etapa II. Luego, se presenta la solución de la Etapa I para los modelos descritos anteriormente.

### 5.2.1. Análisis Etapa II

#### 5.2.1.1. Equilibrio de Wardrop: Modelo Básico

La utilidad de un usuario puede ser obtenida reemplazando (5.3) en (5.5), obteniendo

$$U_1 = c \cdot (\mu - n_1 \cdot \lambda_d)^{\alpha_1} - p_1. \quad (5.22)$$

Con ésta la utilidad del usuario, el equilibrio de Wardrop expresado en (5.10) y (5.11) se obtiene  $n_1^*$  para las siguientes condiciones:

$$n_1^* = \begin{cases} \frac{\mu - \left(\frac{p_1}{c}\right)^{\frac{1}{\alpha_1}}}{\lambda_d} & \text{if } p_1 \leq c\mu^{\alpha_1}, \\ 0 & \text{if } p_1 > c\mu^{\alpha_1}. \end{cases} \quad (5.23)$$

### 5.2.1.2. Equilibrio de Wardrop: Modelos de Negocio Monopólico y Estratégico

La utilidad de un usuario perteneciente a cada base de usuarios puede obtenerse reemplazando (5.1) y (5.2) en (5.5), como resultado se obtiene

$$U_1 = c \left( \frac{\mu - (1 - \gamma)(\lambda_d n_1 + \lambda_d n_2)}{(\mu - \lambda_d n_1 - \lambda_d n_2)(\mu - (1 - \gamma)\lambda_d n_1 - \gamma\lambda_d n_2)} \right)^{-\alpha_1} - p_1, \quad (5.24)$$

$$U_2 = c \left( \frac{\mu - \gamma(\lambda_d n_1 + \lambda_d n_2)}{(\mu - \lambda_d n_1 - \lambda_d n_2)(\mu - (1 - \gamma)\lambda_d n_1 - \gamma\lambda_d n_2)} \right)^{-\alpha_2} - p_2. \quad (5.25)$$

Con estas expresiones para la utilidad del usuario, el equilibrio de Wardrop expresado en (5.12), (5.13), (5.14) y (5.15) resulta en las siguientes especificaciones para  $n_1^*$ :

- Caso I: de (5.12), (5.24) y (5.25),

$$n_1^* = \frac{1}{\lambda_d} \left[ \frac{1}{\gamma \tilde{p}_2^{-\frac{1}{\alpha_2}} - (1 - \gamma) \tilde{p}_1^{-\frac{1}{\alpha_1}}} - \frac{\mu \tilde{p}_2^{-\frac{1}{\alpha_2}}}{\gamma \tilde{p}_1^{-\frac{1}{\alpha_1}} - (1 - \gamma) \tilde{p}_2^{-\frac{1}{\alpha_2}}} \right] \quad (5.26)$$

$$n_2^* = \frac{1}{\lambda_d} \left[ \frac{\mu \tilde{p}_1^{-\frac{1}{\alpha_1}}}{\gamma \tilde{p}_1^{-\frac{1}{\alpha_1}} - (1 - \gamma) \tilde{p}_2^{-\frac{1}{\alpha_2}}} - \frac{1}{\gamma \tilde{p}_2^{-\frac{1}{\alpha_2}} - (1 - \gamma) \tilde{p}_1^{-\frac{1}{\alpha_1}}} \right], \quad (5.27)$$

$$p_1 \leq \hat{p}_1(p_2), \quad (5.28)$$

$$p_2 \leq \hat{p}_2(p_1). \quad (5.29)$$

donde

$$\tilde{p}_i \equiv \frac{p_i}{c}, \quad i = 1, 2, \quad (5.30)$$

$$\hat{p}_2(p_1) \equiv c \left[ \frac{(1 - \gamma) \tilde{p}_1^{\frac{1}{\alpha_1}} + \gamma \mu}{(1 - \gamma) \mu \tilde{p}_1^{-\frac{1}{\alpha_1}} + \gamma} \right]^{\alpha_2}, \quad (5.31)$$

$$\hat{p}_1(p_2) \equiv c \left[ \frac{\gamma \tilde{p}_2^{\frac{1}{\alpha_2}} + (1 - \gamma) \mu}{\gamma \mu \tilde{p}_2^{-\frac{1}{\alpha_2}} + (1 - \gamma)} \right]^{\alpha_1}. \quad (5.32)$$

- Caso II: de (5.13), (5.24) y (5.25),

$$n_1^* = \frac{\mu - \tilde{p}_1^{\frac{1}{\alpha_1}}}{\lambda_d}, \quad (5.33)$$

$$n_2^* = 0, \quad (5.34)$$

$$p_1 \leq c\mu^{\alpha_1}, \quad (5.35)$$

$$p_2 > \hat{p}_2(p_1). \quad (5.36)$$

- Caso III: de (5.14), (5.24) y (5.25),

$$n_1^* = 0, \quad (5.37)$$

$$n_2^* = \frac{\mu - \tilde{p}_2^{\frac{1}{\alpha_2}}}{\lambda_d}, \quad (5.38)$$

$$p_2 \leq c\mu^{\alpha_2}, \quad (5.39)$$

$$p_1 > \hat{p}_1(p_2). \quad (5.40)$$

- Caso IV: finalmente, de (5.15), (5.24) y (5.25)

$$n_1^* = 0, \quad (5.41)$$

$$n_2^* = 0, \quad (5.42)$$

$$p_1 > c\mu^{\alpha_1}, \quad (5.43)$$

$$p_2 > c\mu^{\alpha_2}. \quad (5.44)$$

En la tabla 5.1 se resume las expresiones anteriores para el equilibrio de Wardrop.

En las Figs. 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 se muestra una representación gráfica de los casos de equilibrio en el plano  $(p_2, p_1)$  para diferentes combinaciones de  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\gamma$ . En todas las figuras se considera  $c = 1$  y  $\mu = 1$  paquete/s, de modo que el caso IV siempre corresponde a  $p_1 > 1$  y  $p_2 > 1$ .

En todas las figuras, para un  $p_2$  dado, un  $p_1$  lleva a  $n_2^*$  cero (Caso II); al incrementar el  $p_1$  permite finalmente que  $n_2^*$  incremente, mientras que  $n_1^*$  disminuye hasta  $n_1^*$  llegue a cero (Caso III). Y viceversa para un  $p_1$  y  $p_2$  dado que aumentan desde un valor bajo. Los precios que causan la transición del Caso II a través del Caso I al Caso III dependen de los parámetros  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\gamma$ . Para un determinado  $\alpha_2$ , cuanto mayor sea  $\alpha_1$ , menor será  $p_1$  que cause la transición al Caso III (véase por ejemplo, Fig. 5.1 vs. Fig. 5.2). En otras palabras, cuanto más sensibles sean los usuarios, menor será el precio mínimo que les haga negarse a suscribirse. La influencia de  $\gamma$  está en el “ancho” del Caso I. Cuanto más cerca esté  $\gamma$  de  $\frac{1}{2}$ , más delgada será la región del Caso I (vease, por ejemplo, Fig. 5.3 vs. Fig. 5.4). O, en otras palabras, cuanto más asimétrica sea la distribución de prioridades, más amplia será la gama de valores de precios que resulten en suscripciones no nulas para ambos operadores.

Los casos de equilibrio descritos anteriormente se denominarán en adelante *Regiones de Equilibrio*.

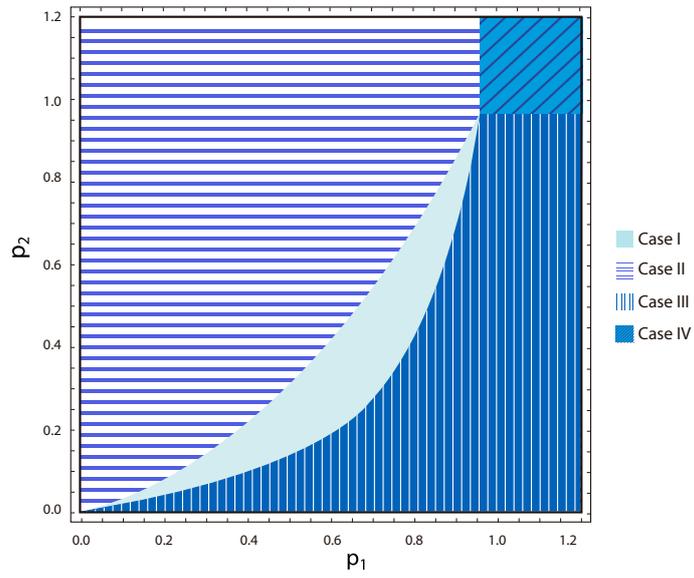


Figura 5.1: Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para  $\gamma = 1/10$  y  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,8$

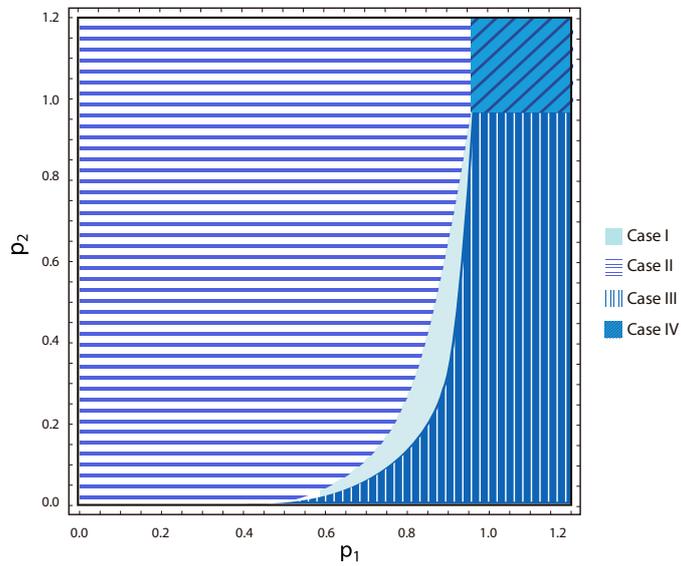


Figura 5.2: Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para  $\gamma = 1/10$ ,  $\alpha_1 = 0,2$  y  $\alpha_2 = 0,8$

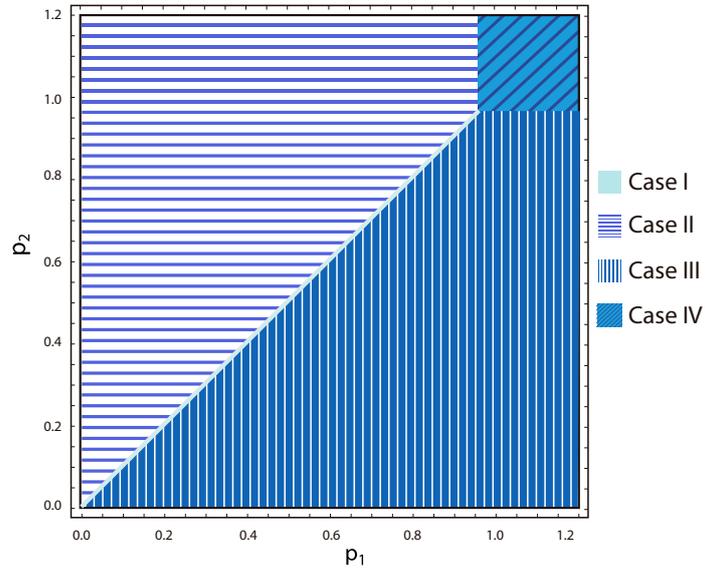


Figura 5.3: Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para  $\gamma = 1/2$  y  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,8$

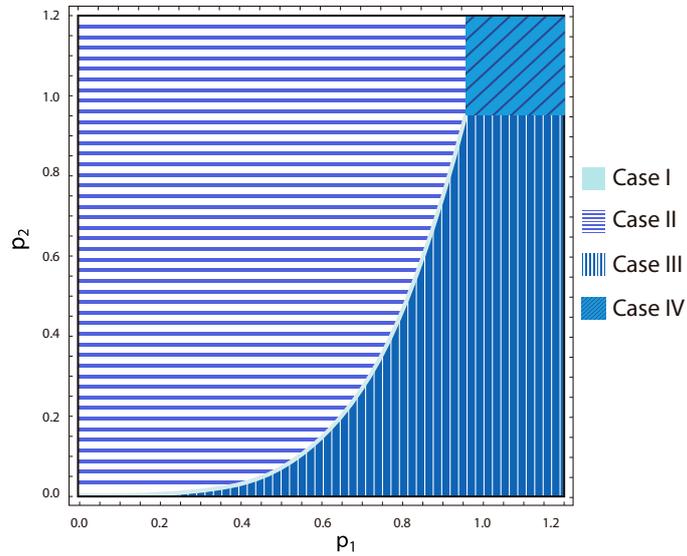


Figura 5.4: Casos y regiones del Equilibrio de Wardrop para  $\gamma = 1/2$ ,  $\alpha_1 = 0,2$  y  $\alpha_2 = 0,8$

Cuadro 5.1: Equilibrio de Wardrop para la suscripción de los usuarios

Caso	$n_1^*$	$n_2^*$	$p_1$	$p_2$
I	(5.26)	(5.27)	$p_1 \leq \widehat{p}_1(p_2)$	$p_2 \leq \widehat{p}_2(p_1)$
II	$\frac{\mu - \widehat{p}_1^{\frac{1}{\alpha_1}}}{\lambda_d}$	0	$p_1 \leq c\mu^{\alpha_1}$	$p_2 > \widehat{p}_2(p_1)$
III	0	$\frac{\mu - \widehat{p}_2^{\frac{1}{\alpha_2}}}{\lambda_d}$	$p_1 > \widehat{p}_1(p_2)$	$p_2 \leq c\mu^{\alpha_2}$
IV	0	0	$p_1 > c\mu^{\alpha_1}$	$p_2 > c\mu^{\alpha_2}$

### 5.2.2. Análisis de la Etapa I

Para el escenario base, de acuerdo con el equilibrio de Wardrop obtenido en (5.23), la expresión que maximiza los beneficios del MNO está dada por:

$$\Pi_0(p_1) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_d} \left[ \mu - \left(\frac{p_1}{c}\right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \right] p_1, & \text{if } p_1 \leq c\mu^{\alpha_1}, \\ 0 & \text{if } p_1 > c\mu^{\alpha_1}. \end{cases} \quad (5.45)$$

El precio óptimo que resuelve (5.16) y maximiza los beneficios es

$$p_1^* = c \left( \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} \mu \right)^{\alpha_1}, \quad (5.46)$$

$$\Pi_0^* = \Pi_0(p_1^*) = \frac{c}{\alpha_1 \lambda_d} \left( \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} \mu \right)^{1 + \alpha_1}. \quad (5.47)$$

Para los modelos de negocio monopolístico y estratégico, la solución de la etapa I no es posible analizarla analíticamente, por lo que en las siguientes secciones, se presentan los resultados de la aplicación de los modelos descritos, para diferentes escenarios basados en redes 5G. Conforme a lo descrito en el Capítulo 2, las redes 5G harán técnicamente posible, los acuerdos de compartición de redes entre operadores móviles. Sin embargo, dependiendo de la QoS acordada y aplicada, la prestación de servicios puede dar lugar a casos comerciales no viables económicamente.

### 5.3. Análisis de Escenarios con $\alpha_1 = \alpha_2$ y $\delta = 0$ para el Modelo de Negocio *Estratégico*

En esta sección se presentan, los resultados del análisis de dos escenarios basados en el modelo de negocio *Estratégico* descrito en la sección 5.1, para analizar la interacción estratégica entre el Operador 1 y Operador 2. El Operador 1 es el propietario de la infraestructura, mientras que el Operador 2 arrienda el recurso en virtud del acuerdo de compartición específico. Tal como se describió en la sección 5.1.1 el recurso que se utiliza para proporcionar el servicio, se modela como una cola M/M/1/ $\infty$ , donde los paquetes son generados por los abonados de los dos operadores. Es decir, el Operador<sub>*i*</sub> tiene  $n_i$  suscriptores que generan independientemente paquetes siguiendo un proceso de Poisson con una tasa media de llegadas  $\lambda_d$ , por lo que, para cada operador la tasa media de llegada de paquetes, se define como  $\lambda_i = \lambda_d n_i$  y la suma de los dos procesos es también es, una tasa de llegadas de Poisson definida como  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ . En los escenarios analizados, los usuarios de los dos operadores tienen la misma sensibilidad, i.e.,  $\alpha_1 = \alpha_2$ , pero son atendidos con una disciplina de servicio diferente.

Así mismo, para los escenarios analizados en esta sección, consideramos que la tarifa  $\delta$  que el Operador 2 paga al Operador 1 es  $\delta = 0$ . Por lo tanto, en (5.8) y (5.9) con  $\delta = 0$ , tendremos

$$\Pi_i = \lambda_d n_i p_i, \quad i = 1, 2. \quad (5.48)$$

#### 5.3.1. Escenario de Compartición Igualitaria de Recursos (“Pooling”)

Los operadores comparten por igual el recurso, la disciplina de servicio utilizada en este escenario es FIFO (el primero que llega es el primero en ser servido). La disciplina FIFO se puede obtener como un caso especial de la disciplina DPS con  $\gamma = \frac{1}{2}$  en (5.1) y (5.2), es decir, el tiempo medio de un paquete en el sistema  $T_i$  puede ser calculado como:

$$T_1 = T_2 = \left( \frac{1}{\mu - (n_1 + n_2) \lambda_d} \right). \quad (5.49)$$

Así mismo, la utilidad del servicio de los usuarios, se puede obtener reemplazando 5.49 en 5.5

$$U_i = c \cdot (\mu - (n_1 + n_2) \cdot \lambda_d)^\alpha - p_i \quad i = 1, 2. \quad (5.50)$$

#### 5.3.2. Compartición Prioritaria

Los operadores comparten el recurso bajo diferentes prioridades, la disciplina de servicio utilizada es DPS (véase la descripción en la sección 5.1.1). Es decir el  $T_i$  estará dado por (5.1) y (5.2). Así como utilidad percibida por los usuarios estará dada por 5.5 con  $\alpha_1 = \alpha_2$ , es decir

$$U_1 = c \left( \frac{\mu + (\gamma - 1)(\lambda_d n_1 + \lambda_d n_2)}{(\mu - \lambda_d n_1 - \lambda_d n_2)(\mu - \gamma \lambda_d n_2 + (\gamma - 1)\lambda_d n_1)} \right)^{-\alpha} - p_1, \quad (5.51)$$

Cuadro 5.2: Decisión de Suscripción de los usuarios - Escenario Compartición Igualitaria de Recursos

Caso	$n_1^*$	$n_2^*$	$p_1$	$p_2$
I	$\frac{[\mu - (\frac{p_1}{c})^{1/\alpha}]}{2\lambda_d}$	$\frac{[\mu - (\frac{p_2}{c})^{1/\alpha}]}{2\lambda_d}$	$p_1 \leq c\mu^\alpha$	$p_2 = p_1$
II	$\frac{[\mu - (\frac{p_1}{c})^{1/\alpha}]}{\lambda_d}$	0	$0 \leq p_1 \leq c\mu^\alpha$	$p_2 > p_1$
III	0	$\frac{[\mu - (\frac{p_2}{c})^{1/\alpha}]}{\lambda_d}$	$p_1 > p_2$	$0 \leq p_2 \leq c\mu^\alpha$
IV	0	0	$p_1 > c\mu^\alpha$	$p_2 > c\mu^\alpha$

$$U_2 = c \left( \frac{\mu - \gamma(\lambda_d n_1 + \lambda_d n_2)}{(\mu - \lambda_d n_1 - \lambda_d n_2)(\mu - \gamma\lambda_d n_2 + (\gamma - 1)\lambda_d n_1)} \right)^{-\alpha} - p_2. \quad (5.52)$$

### 5.3.3. Análisis de los Escenarios

En esta sección se muestran los resultados del análisis de los escenarios descritos para la Etapa I (véase sección 5.1.3.1) y Etapa II (véase sección 5.1.3.1), es decir, se obtiene analíticamente el equilibrio de Wardrop y las  $BR_i$  para obtener el Equilibrio de Nash en cada escenario.

#### 5.3.3.1. Escenario de Compartición Igualitaria de Recursos

##### Etapa II

En la tabla 5.2 se muestran los resultados del análisis de la Etapa I, donde se presentan los valores del equilibrio para  $n_1$  y  $n_2$  dados  $p_1$  y  $p_2$ . La Fig. 5.3 muestra una representación gráfica de las regiones para una configuración específica de los parámetros ( $\gamma = \frac{1}{2}, \alpha = 0,8$ ).

##### Etapa I

En este punto se analizan los precios de equilibrio  $p_i^*$  dados los valores de  $n_1^*$  y  $n_2^*$ . Para ello se considera (5.48) y se obtienen las  $BR_i$  como se define en (5.18) y (5.19) es un valor aleatorio positivo muy pequeño. Donde  $p_0^*$  es el precio de maximización de beneficios para un MNO en el Modelo Básico (véase en la sección 5.2.2), que viene dado por (5.6) y  $\epsilon$ , que es un valor aleatorio positivo muy pequeño.

El equilibrio de Nash es la intersección de las  $BR_i$ , de donde se deriva fácilmente que  $p_1^* = 0$  y  $p_2^* = 0$ , es decir, que el beneficio de los operadores de acuerdo a (5.48) también será cero, tal como se observa a continuación

$$BR_1(p_2) = \begin{cases} p_1 \geq 0 & \text{if } p_2 = 0 \\ p_2 - \epsilon & \text{if } 0 < p_2 \leq p_0^* \\ c \cdot \mu^\alpha \cdot \left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^\alpha & \text{if } p_2 > p_0^* \end{cases}$$

Cuadro 5.3: Decisión de Suscripción de los usuarios-Escenario de Compartición Prioritaria

Case	$n_1^*$	$n_2^*$	$p_1$	$p_2$
I ( $\gamma \neq 1/2$ )	$\frac{1}{\lambda_d} \frac{1}{(\gamma-1) \left(\frac{c}{p_1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} + \gamma \left(\frac{c}{p_2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}$	$\frac{1}{\lambda_d} \frac{\mu}{(\gamma-1) \left(\frac{c}{p_2}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{c}{p_1}\right)^{-\frac{1}{\alpha}} + \gamma}$	$p_1 \leq \hat{p}_{1\gamma}$	$p_2 \leq \hat{p}_{2\gamma}$
I ( $\gamma = 1/2$ )	$-\frac{1}{\lambda_d} \frac{\mu}{\gamma \left(\frac{c}{p_2}\right)^{-\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{c}{p_1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} + \gamma - 1}$ $\frac{[\mu - (\frac{p_1}{c})^{1/\alpha}]}{2\lambda_d}$	$-\frac{1}{\lambda_d} \frac{1}{(\gamma-1) \left(\frac{c}{p_1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} + \gamma \left(\frac{c}{p_2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}$ $\frac{[\mu - (\frac{p_2}{c})^{1/\alpha}]}{2\lambda_d}$	$p_1 \leq \hat{p}_{1\gamma}$	$p_2 = p_1$
II	$[\mu - (\frac{p_1}{c})^{1/\alpha}] \left(\frac{1}{\lambda_d}\right)$	0	$0 \leq p_1 \leq \hat{p}_{1U}$	$p_2 > \hat{p}_{2\gamma}$
III	0	$[\mu - (\frac{p_2}{c})^{1/\alpha}] \cdot \left(\frac{1}{\lambda_d}\right)$	$p_1 > \hat{p}_{1\gamma}$	$0 \leq p_2 \leq \hat{p}_{2U}$
IV	0	0	$p_1 > \hat{p}_{1U}$	$p_2 > \hat{p}_{2U}$

$$BR_2(p_1) = \begin{cases} p_2 \geq 0 & \text{if } p_1 = 0 \\ p_1 - \epsilon & \text{if } 0 < p_1 \leq p_0^* \\ c \cdot \mu^\alpha \cdot \left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^\alpha & \text{if } p_1 > p_0^* \end{cases}$$

Se concluye que, el escenario de compartición igualitaria entre un operador de red y un operador virtual en el escenario analizado, genera una interacción estratégica que lleva los precios y las ganancias a cero.

### 5.3.3.2. Escenario de Compartición Prioritaria

#### Etapa II

Siguiendo un razonamiento similar al de la Sección 5.2, se obtienen los valores de equilibrio para  $n_1^*$  y  $n_2^*$  y las restricciones de  $p_1$  y  $p_2$ , que se muestran en la Tabla 5.3. La Fig. 5.1 muestra una representación gráfica de las regiones, para una configuración específica de los parámetros.

Nótese que cuando  $\gamma = \frac{1}{2}$ , el escenario de compartición prioritaria de recursos se reduce al escenario de compartición prioritaria, ya que FCFS y DPS dan como resultado el mismo valor para  $T_i$ .

#### Etapa I

A diferencia de la Sección 5.3.3.1, se procede numéricamente en el análisis de la Etapa I, en lo que respecta a los BR y el Equilibrio Nash. Los resultados se presentan en la sección 5.3.4.

### 5.3.4. Resultados del Análisis de Escenarios de compartición con $\alpha_1 = \alpha_2$ y $\delta = 0$

En esta sección se presentan, los resultados numéricos del escenario de compartición prioritaria de recursos entre el MNO y MVNO que maximizan las utilidades de los usuarios y beneficios de los operadores. Nótese que los precios y los beneficios son cero, para el escenario de compartición igualitaria de recursos, tal como se concluyó en la sección 5.3.3.1.

Para obtener los resultados numéricos, se fijan los parámetros:  $\alpha = \{0,5, 0,8, 1\}$ ,  $c = 1$ ,  $\mu = 1$  paquetes/s,  $\lambda_d = 0,01$  paquetes/s y variamos  $\gamma \in [0, 1]$ .

Las Figs. 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 muestran los precios, el número de usuarios y los beneficios respectivamente. Los valores  $p_0^*$ ,  $n_0^*$  y  $\Pi_0^*$  se refieren al Modelo Básico mientras que los valores  $p_1^*$ ,  $n_1^*$ ,  $\Pi_1^*$  se refieren al MNO, y los valores  $p_2^*$ ,  $n_2^*$ ,  $\Pi_2^*$  se refieren al MVNO en el escenario de Compartición Prioritaria.

La Fig. 5.5 muestra el efecto de  $\gamma$  (la prioridad relativa del operador virtual), en los precios de equilibrio.  $p_1$  disminuye a medida que  $\gamma$  aumenta, ya que la calidad del servicio que el operador de red puede ofrecer a sus abonados es menor. El precio  $p_1$  disminuye a medida que aumentan  $\alpha$  y  $\gamma$ , ya que la QoS y la prioridad  $(1 - \gamma)$  del servicio que el operador de la red puede ofrecer a sus abonados es menor. Sin embargo, cuando  $\gamma$  se acerca a 1 el precio  $p_1$  aumenta. En esta situación el operador de red da prioridad estricta al operador virtual, es decir, la disciplina DPS se comporta como un PQ. Este ajuste específico se analiza en [19,47,127] y los resultados coinciden con los mostrados en la Fig. 5.5. El precio  $p_0^*$  obtenido para el Modelo Básico es un valor constante porque no depende de  $\gamma$  (Véase sección 5.2.2). Cuando  $\gamma \in ]0, 1[$ ,  $p_0^*$  es mayor que los precios de equilibrio, mientras que  $p_i^* = p_0^*$  cuando se da prioridad estricta al Operador  $i$ , ya que recibe un servicio de prioridad preferente, es decir, no se ve afectado por los usuarios no prioritarios.

La Fig. 5.6 muestra el efecto de  $\alpha$  y  $\gamma$  en los precios de equilibrio del operador 2. El comportamiento de los precios  $(p_1, p_2)$  es simétrico, es decir,  $p_2$  muestra el mismo comportamiento que el descrito anteriormente. pero cuando  $\alpha$  aumenta y  $\gamma$  disminuye de 1 a 0. El comportamiento de los precios  $(p_1, p_2)$  es simétrico, es decir,  $p_2$  muestra el mismo comportamiento que el descrito anteriormente, pero cuando  $\alpha$  aumenta y  $\gamma$  disminuye de 1 a 0.

Se concluye que, la entrada del operador virtual hace que el precio cobrado tanto por el operador de red como por el operador virtual disminuya, por lo tanto, es beneficioso para los usuarios. Además se comprobó numéricamente que el PQ es el caso límite de que el DPS siempre proporciona los precios más altos.

La Fig. 5.7 muestra el efecto de  $\alpha$  y  $\gamma$  en el número de usuarios del operador 1.  $n_1$  aumenta cuando  $\alpha$  pasa de 0 a 1 y  $\gamma$  pasa de 0 a 0,5, lo que se explica por la disminución del precio  $p_1$ . Al mismo tiempo, el operador 2 pierde todos sus usuarios, y  $n_2$  llega a cero. Cuando  $\gamma = 0,5$ , el sistema se comporta como en el acuerdo de agrupación, es decir, cero precios e igual nivel de suscripción. Cuando  $\gamma$  aumenta de 0,5 a 1, el número de usuarios cambia el operador 1 pierde sus usuarios. La Fig. 5.8 muestra el efecto de  $\alpha$  y  $\gamma$  en el número de usuarios del operador 2. El comportamiento de  $n_2$  y  $n_1$  es simétrico, es decir,  $n_2$  muestra el mismo comportamiento que el descrito anteriormente pero cuando  $\alpha$  aumenta de 0 a 1 y  $\gamma$  disminuye de 1 a 0.

Los resultados muestran que el operador de mayor prioridad (por ejemplo, el operador 1 en la parte izquierda de la Fig. 5.7) es capaz de prestar un servicio satisfactorio a un número máximo de usuarios, aunque el precio de equilibrio debe ser muy bajo pero no nulo (Fig. 5.5). Para  $\gamma$  cerca de los valores de 0

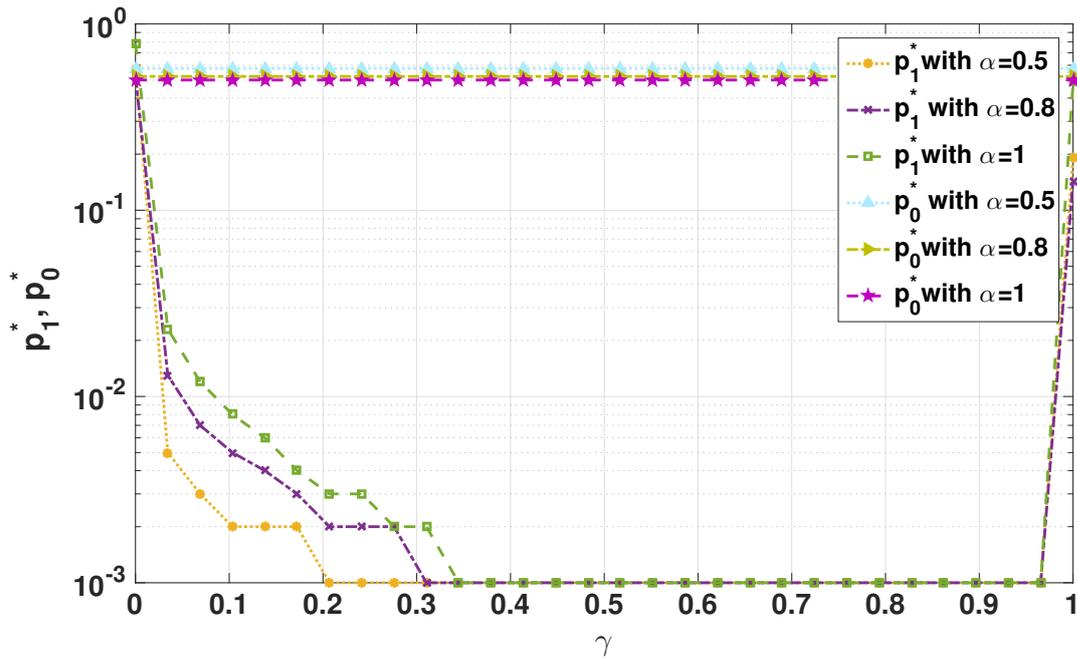


Figura 5.5: Precios de los usuarios del MNO en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha$ .

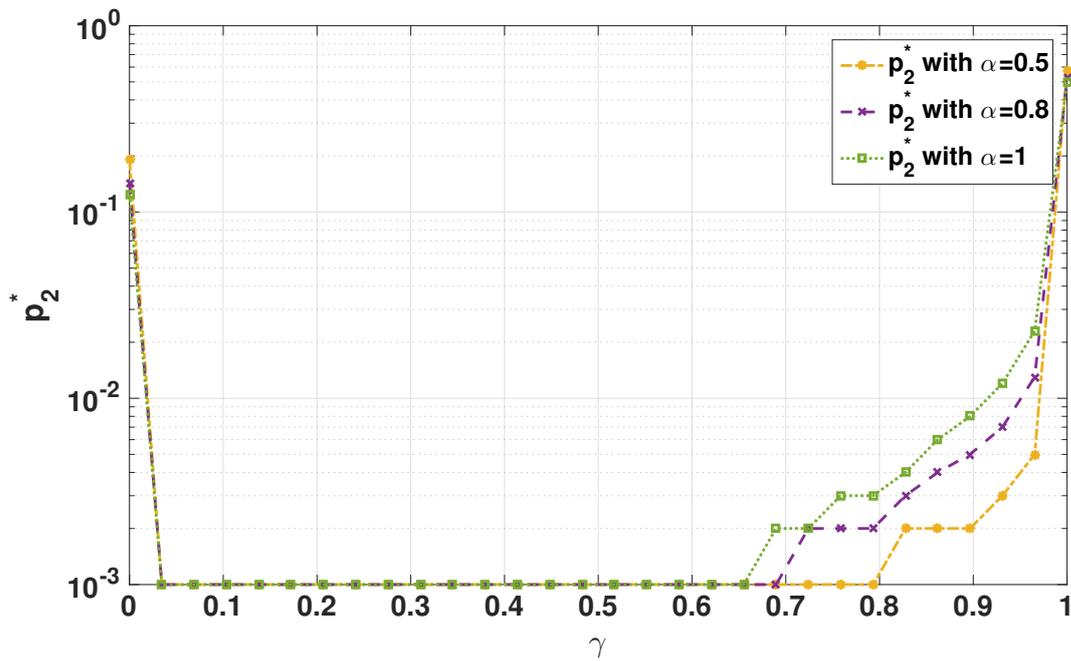


Figura 5.6: Precios de los usuarios del MVNO en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha$ .

y 1, el número de usuarios que puede atender el operador de mayor prioridad es menor que el máximo, sin embargo, el precio de equilibrio no es tan bajo como antes, y los beneficios son mayores (véase la Fig. 5.9). Este escenario específico se analiza en [19,47,127], donde la disciplina de servicio utilizada es

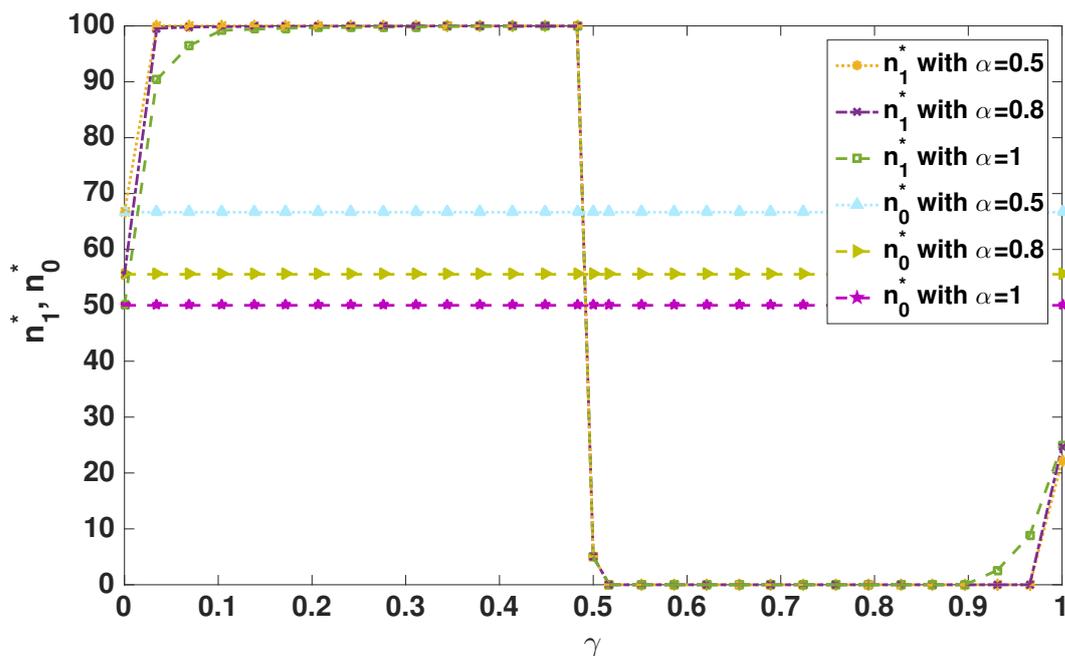


Figura 5.7: Número de usuarios del operador 1 en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha$ .

de prioridad de reanudación preventiva (que, si los usuarios son atendidos de manera compartida con el procesador, equivale a una disciplina de servicio DPS con  $\gamma = 0$  o  $1$ ). La explicación de estos resultados se relaciona con el hecho de que sólo cuando  $\gamma$  está cerca de  $0$  o  $1$ , la QoS recibida por cada grupo de usuarios es lo suficientemente diferente de cada uno para que la competencia entre los dos operadores no sea demasiado feroz y los precios no tengan que ser demasiado bajos.

La Fig. 5.9 muestra la ganancia de equilibrio de cada operador cuando  $\alpha$  y  $\gamma$  varían. Se observa que, el operador de la red sufre una reducción significativa de su beneficio cuando el valor de la  $\alpha$  y  $\gamma$  aumenta entre  $0 < \gamma < 1$ . Las ganancias sólo se recuperan cuando  $\gamma$  se acerca a  $0$  o  $1$ , es decir, la disciplina DPS se comporta como un PQ. El comportamiento descrito es consistente con el comportamiento combinado de los precios y el número de usuarios, descrito anteriormente. El comportamiento del operador 2 es simétrico, es decir,  $\Pi_2$  tiene el mismo comportamiento que el descrito anteriormente pero cuando  $\alpha$  aumenta y  $\gamma$  disminuye de  $1$  a  $0$ .

Cuando se compara con el beneficio que obtendría el operador 1,  $\Pi_0$  en el Modelo de Negocio Básico (Véase Ec.5.45), concluimos que el operador 2 siempre está peor bajo un acuerdo de reparto de prioridades. Obviamente, también está peor bajo un acuerdo de agrupación.

Sin embargo, podemos determinar un pago de una tarifa global  $m$  que el operador 2 haría al operador 1 con el fin de, proporcionar un incentivo a este último. De hecho, este pago no sólo debería mejorar la situación del operador de red, es decir,  $\Pi_1 + m \geq \Pi_0$  sino que también debería permitir al operador virtual obtener beneficios no negativos  $\Pi_2 - m \geq 0$ . Uniendo las dos condiciones obtenemos  $\Pi_0 - \Pi_1 \leq m \leq \Pi_2$ . Por lo tanto, una condición necesaria para la existencia de un posible pago es  $\Pi_1 + \Pi_2 \geq \Pi_0$ . Esta condición, obviamente, no se aplica al escenario de compartición igualitaria. En cuanto al acuerdo de reparto de prioridades, la Fig. 5.10 muestra que, esta condición se mantiene sólo para valores suficientemente pequeños de  $\gamma$  o  $1 - \gamma$ .

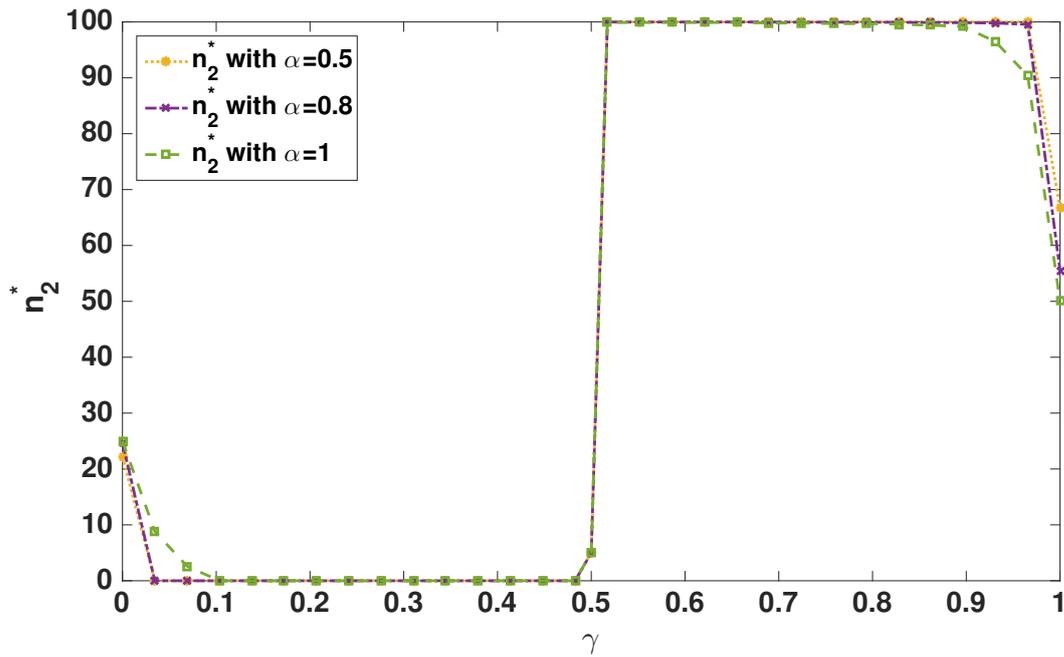


Figura 5.8: Número de usuarios del operador 2 en el Modelo de Compartición Prioritaria y para el Modelo Básico en función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha$ .

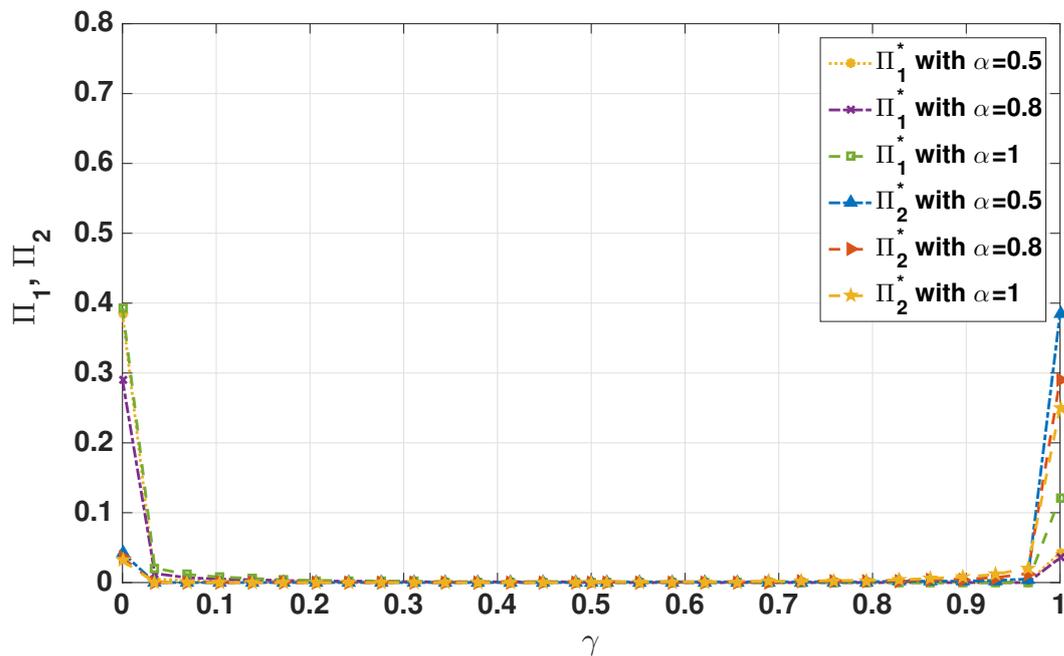


Figura 5.9: Beneficio del operador 1 y operador 2 como función de  $\gamma$  para diferentes valores  $\alpha$ .

Podemos concluir que la compartición de la red es compatible con el incentivo bajo las siguientes condiciones. En primer lugar, que se llegue a un acuerdo de compartición prioritaria. Y segundo, que se conceda una prioridad relativa muy baja o muy alta al operador virtual dispuesto a acceder a los recursos del operador de red.

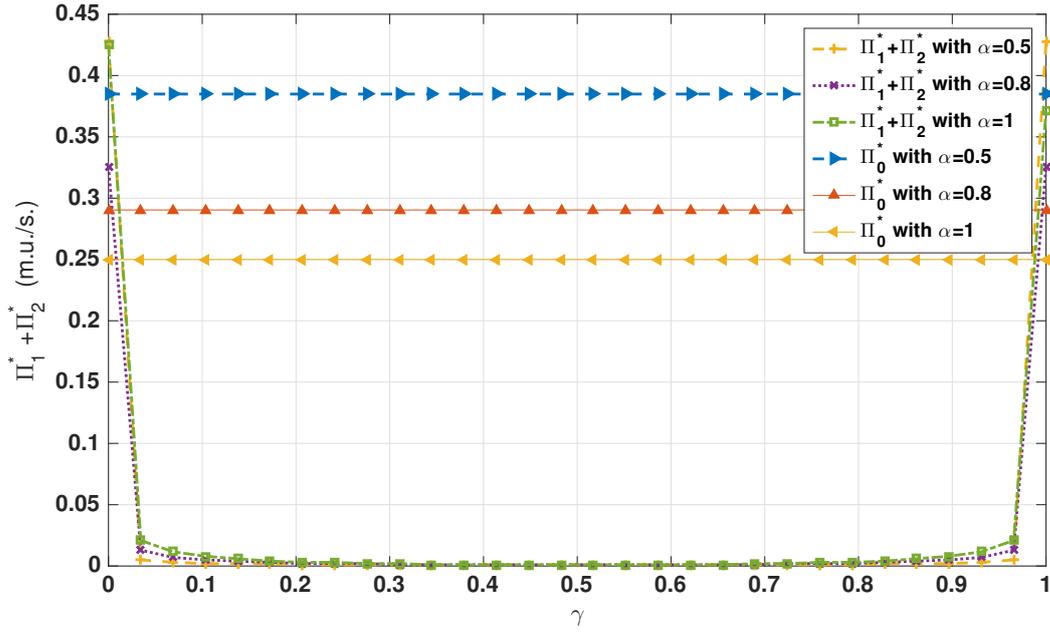


Figura 5.10:  $\Pi_1^* + \Pi_2^*$  y beneficios del operador 1 para el Modelo de Negocio Básico como una función  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha$ .

En esta sección, se han evaluado los escenarios de la compartición de la red entre un MNO y un MVNO, con fines de maximización de beneficios. Se ha estudiado la viabilidad económica de la compartición en el marco de acuerdos de puesta en común y de compartición prioritaria, y se comparan con un monopolio. Nuestros principales resultados sugieren que el operador de la red está peor en cualquier circunstancia bajo un acuerdo de agrupación. La entrada de un operador virtual es deseable desde el punto de vista de los precios de los usuarios. Además, para un rango de valores del parámetro  $\gamma$ , se puede diseñar una tarifa de una suma global para que el operador de red tenga un incentivo para dejar entrar al operador virtual.

#### 5.4. Análisis de los Modelos de Negocio *Monopólico* y *Estratégico* con $\alpha_1 \neq \alpha_2$ y $\delta > 0$

En esta sección, se muestran los resultados del análisis de los modelos *Monopólico* y *Estratégico* y comparados con el modelo *Básico* desarrollado en la sección 5.2.

Para cada modelo de negocio, se analiza el caso en que tienen sensibilidades diferentes ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ) y se compara con el caso en el que ambas bases de usuarios tienen la misma sensibilidad ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ). En ambos escenarios analizados se considera  $\delta > 0$ . Por último, en esta sección se analiza la viabilidad de cada modelo de negocio, es decir, qué incentivos proporciona cada modelo de negocio al MNO y al MVNO para que estén en mejor situación que en el escenario de referencia. Si no indicamos lo contrario, se utilizarán los siguientes valores de parámetros:

- $c = 1$ , que es una constante normalizadora de los precios y beneficios.

- $\mu = 1$  paquete/s.
- $\lambda_d = 0,01$  paquete/s, es decir, dos órdenes de magnitud inferiores a  $\mu = 1$ , por lo que se puede justificar la suposición de que el número de usuarios es alto, lo que permite cumplir con el análisis utilizando el equilibrio de Wardrop.

### 5.4.1. Modelo de Negocio Monopolístico

Se representa y discute, el equilibrio en el modelo de negocio monopolístico, donde el operador 1 opera la red y provee servicio a su propia base de suscriptores y a la base de suscriptores del operador 2. A la base de suscriptores del operador 1 se le asigna una prioridad de  $1 - \gamma$  en el uso de la capacidad de la red, mientras que a la base de suscriptores del operador 2 se le asigna una prioridad de  $1 - \gamma$ .

En primer lugar, se aborda el caso en que ambas bases de usuarios tienen la misma sensibilidad al retraso ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ), y en segundo lugar, el caso en que tienen sensibilidades diferentes ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ).

#### 5.4.1.1. Bases de usuarios con la misma sensibilidad

Se establecen los parámetros  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = \{0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1\}$  y se analiza el efecto de la prioridad  $\gamma$  en el equilibrio.

**5.4.1.1.1. Precios:** La Fig. 5.11 muestra el precio  $p_{1m}^*$  fijado por el operador 1 en el equilibrio de cada base de suscriptores en función de  $1 - \gamma$  (prioridad de la base de suscriptores del operador 1) para diferentes valores de  $\alpha$ . Debido a la simetría, este gráfico también representa  $p_{2m}^*$  en función de  $\gamma$  (prioridad de la base de suscriptores del operador 2).

Se observa que el servicio tiene un precio más alto, a medida que aumenta la prioridad del servicio. Y que la base de suscriptores que recibe un servicio apoyado por una mayor prioridad tiene un precio más alto (note que si  $1 - \gamma \leq 1/2$  cuando  $\gamma \geq 1/2$ ). En consecuencia, con esta observación, cuando  $\gamma = 1/2$ , ambas bases de suscriptores tienen el mismo precio. Por último, cuanto mayor sea la sensibilidad  $\alpha$ , menor será el precio fijado por el operador 1 a los abonados.

**5.4.1.1.2. Número de Usuarios:** En la Fig. 5.12 se muestra el número de suscriptores de operador 1,  $n_{1m}^*$ , en el equilibrio en función de  $1 - \gamma$  (prioridad de la base de suscriptores de operador 1) para diferentes valores de  $\alpha$ . Debido a la simetría, este gráfico también representa  $n_{2m}^*$  en función de  $\gamma$  (prioridad de la base de suscriptores de operador 2). El número de abonados es una medida del beneficio agregado que obtienen los usuarios, teniendo en cuenta que el equilibrio de los usuarios está en la Región I, donde  $U_1 = U_2 = 0$  (Véase las Figs. 5.1 y 5.2).

Se pueden distinguir dos evoluciones diferentes de  $n_{1m}^*$  con  $1 - \gamma$ , que dependen de  $\alpha$ . Para los usuarios de baja sensibilidad (es decir, valores bajos de  $\alpha$  como 0,2), el número de suscriptores  $n_{1m}^*$  aumenta a medida que aumenta su prioridad ( $1 - \gamma$ ). Sin embargo, para los usuarios de alta sensibilidad (es decir,  $\alpha \geq 0,4$ ), el número de suscriptores  $n_{1m}^*$  primero disminuye, alcanza un mínimo y luego aumenta; la posición de este mínimo depende de  $\alpha$ : cuanto más alto sea  $\alpha$ , más alta es la prioridad  $1 - \gamma$  que da el mínimo.

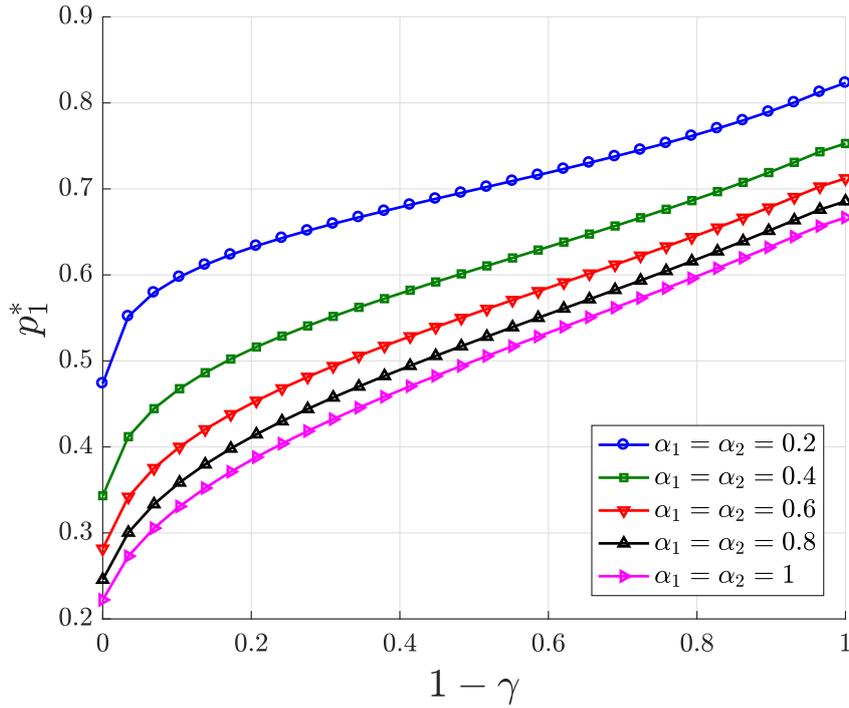


Figura 5.11: Precio  $p_{1m}^*$  como una función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\alpha$  (modelo monopolístico)

De la observación de la forma en que, el precio y el número de abonados varía con la prioridad del servicio, se deduce que, tanto para los usuarios de baja como de alta sensibilidad, una alta prioridad se traduce en una calidad de servicio suficientemente alta que compensa el alto precio fijado; y que, sólo para los usuarios de alta sensibilidad, una baja prioridad también se traduce en un precio suficientemente bajo, que compensa la baja calidad de servicio recibida.

En cuanto a la sensibilidad, se observa que, para los usuarios de alta sensibilidad, cuanto mayor sea la sensibilidad  $\alpha$ , menor será el número de abonados. De la observación de cómo el precio y el número de abonados varía con la sensibilidad, se deduce que, para los usuarios de alta sensibilidad, una mayor sensibilidad se traduce en una menor calidad de servicio que no se compensa con los precios más bajos. Esto también puede aplicarse a los usuarios de baja sensibilidad, excepto cuando la prioridad es muy baja.

Por último, la Fig. 5.13 muestra el número total de abonados, es decir,  $n_{1m}^* + n_{2m}^*$ . Las tasas máximas de suscripción se alcanzan cuando la prioridad del servicio es igual a 1 o 0.

La conclusión es que, cuando las dos bases de usuarios tienen la misma sensibilidad, la configuración de red más favorable para los usuarios, es aquella en la que se da prioridad total a una base de usuarios.

**5.4.1.1.3. Beneficios de los operadores:** En la Fig. 5.14 muestra el beneficio del operador 1, en función de  $\gamma$  (prioridad de la base de suscriptores del operador 2) para diferentes valores de  $\alpha$ .

Como se observa, en cuanto más alta es la diferencia entre las prioridades de las dos bases de usuarios ( $|(1 - \gamma) - \gamma| = 2|1/2 - \gamma|$ ), más alta es la ganancia del operador 2. Esto es consistente con el hecho de que un valor alto de  $1 - \gamma$  da valores altos de  $p_{1m}^*$  y  $n_{1m}^*$ , mientras que un alto valor de  $\gamma$  da altos valores de  $p_{2m}^*$  y  $n_{2m}^*$ .

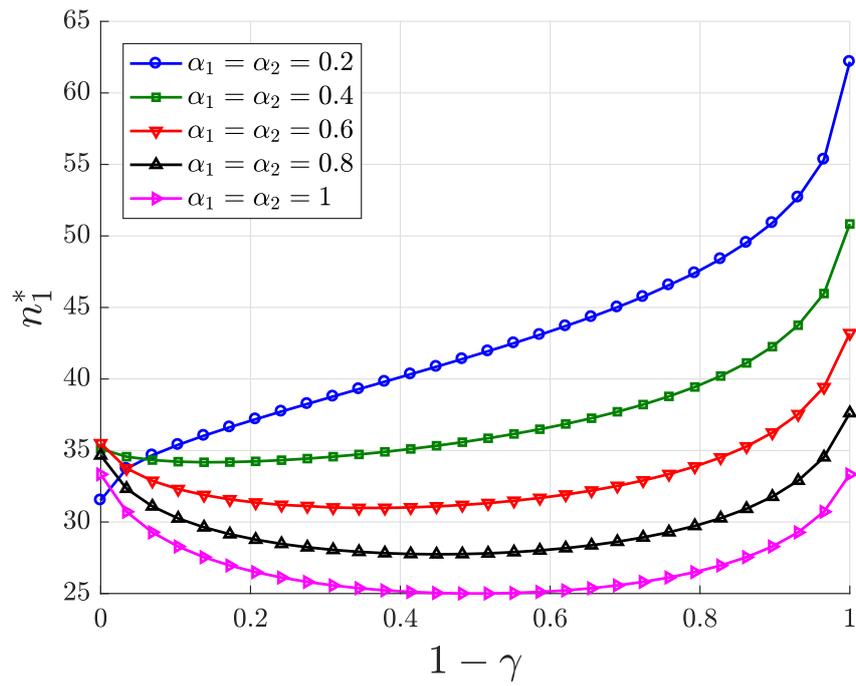


Figura 5.12: Número de usuarios  $n_{1m}^*$  en función de  $1-\gamma$  para diferentes valores de un  $\alpha$  común (Modelo Monopólico)

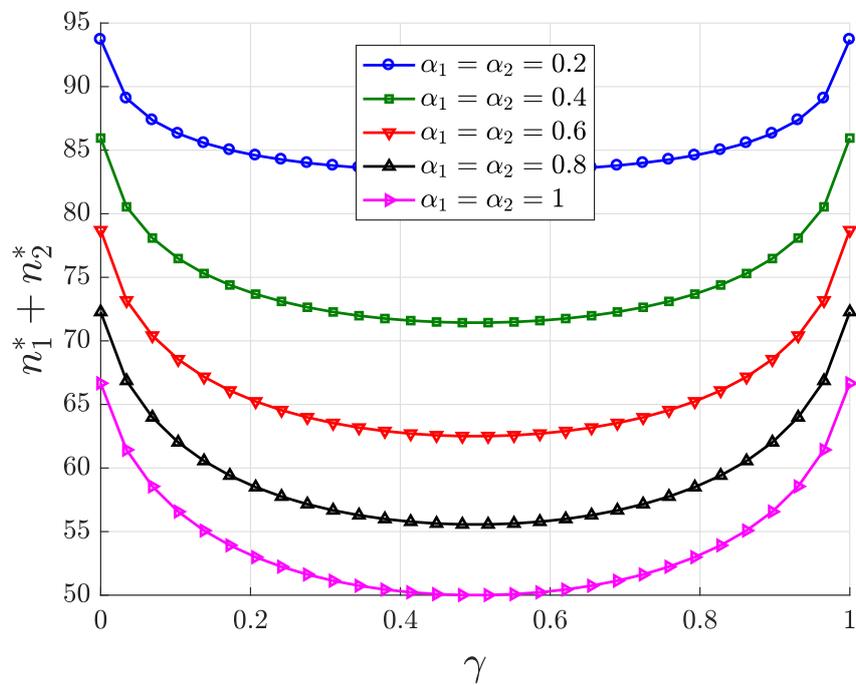


Figura 5.13: Número total de usuarios en función de  $\gamma$  para diferentes valores de un  $\alpha$  común (Modelo Monopolístico)

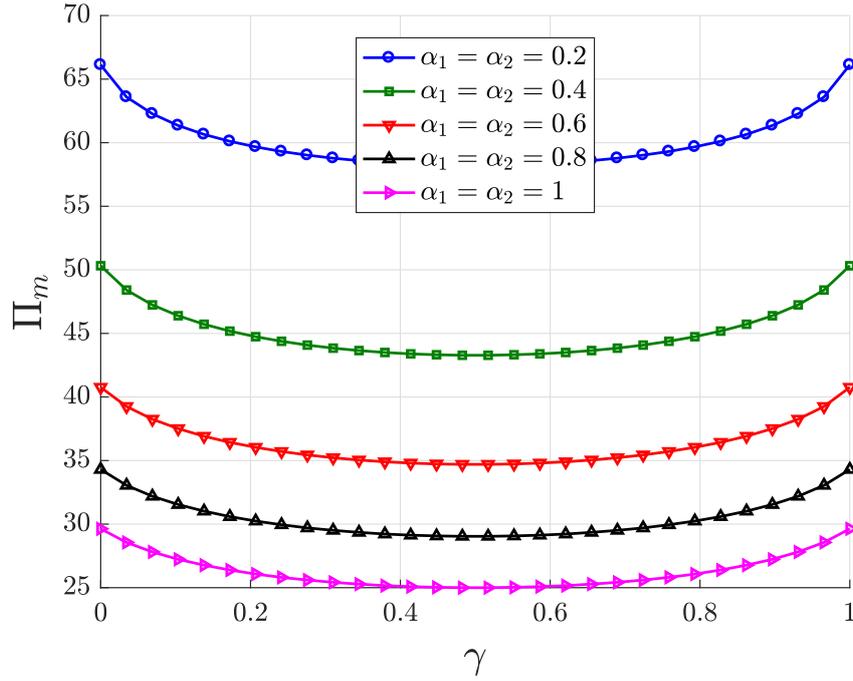


Figura 5.14: Beneficios del operador 1  $\Pi_m^*$  como una función de  $\gamma$  para diferentes valores de un  $\alpha$  común (Modelo Monopólico)

#### 5.4.1.2. Bases de Usuarios con diferente sensibilidad

Se establecen los parámetros  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = \{0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1\}$  y se analiza el efecto de la prioridad  $\gamma$  en el equilibrio.

**5.4.1.2.1. Precios:** En las Figs. 5.15 y 5.16 se muestran los precios  $p_{1m}^*$  y  $p_{2m}^*$  fijados por el operador 1, respectivamente, en el equilibrio de cada base de abonados en función de la prioridad del servicio ( $1 - \gamma$  en la Fig. 5.15 y  $\gamma$  en la Fig. 5.16), para diferentes valores de  $\alpha_2$ . Se observa que el servicio tiene un precio más alto, a medida que aumenta la prioridad del servicio. Y que la variación de la sensibilidad de los abonados del operador 2 tiene un efecto no sólo en el precio fijado a los abonados del operador 2 (Fig. 5.16), sino también en el precio fijado a los abonados del operador 1 (Fig. 5.15). De hecho, aumentar  $\alpha_2$ , mientras se mantiene  $\alpha_1$  constante, hace que  $p_{1m}^*$  aumente (para bajas prioridades de servicio) o disminuya (para altas prioridades de servicio). Además, surge una diferencia cualitativa y relevante cuando se compara con el caso de  $\alpha$  común (Figs. 5.11: cuando  $\alpha_1 > \alpha_2$  (cuando  $\alpha_1 < \alpha_2$ ), el precio fijado a los suscriptores del operador 1,  $p_{1m}^*$  (a los suscriptores del operador 2,  $p_{2m}^*$ ), no varía para un rango de valores intermedios de  $\gamma$ .

**5.4.1.2.2. Número de Usuarios:** En las Figs. 5.17 y 5.18, se muestra el número de suscriptores de cada base de usuarios,  $n_{1m}^*$  y  $n_{2m}^*$ , respectivamente, en el equilibrio en función de la prioridad del servicio ( $1 - \gamma$  en la Fig. 5.17 y  $\gamma$  en la Fig. 5.18) para diferentes valores de  $\alpha_2$ .

Se observa que nuevamente la variación de la sensibilidad de los suscriptores del operador 2 tiene un efecto no sólo en el número de suscriptores del operador 2 (Fig. 5.18), sino también en el número de suscriptores del operador 1 (Fig. 5.17). De hecho, el aumento de  $\alpha_2$ , mientras se mantiene constante  $\alpha_1$ , hace que el número de suscriptores de operador 2 disminuya y el número de suscriptores de operador 2

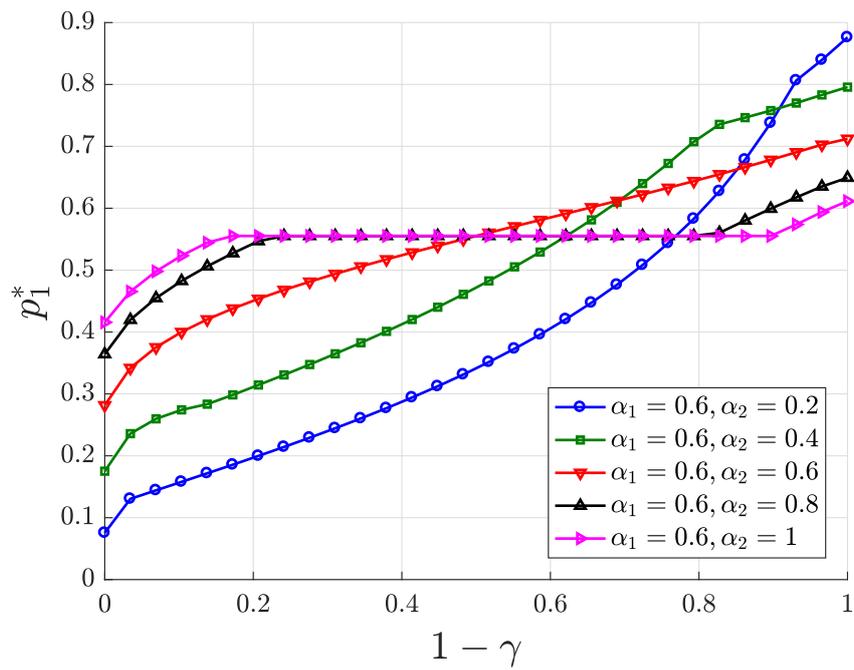


Figura 5.15: Precio  $p_{1m}^*$  como una función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (Modelo Monopolístico)

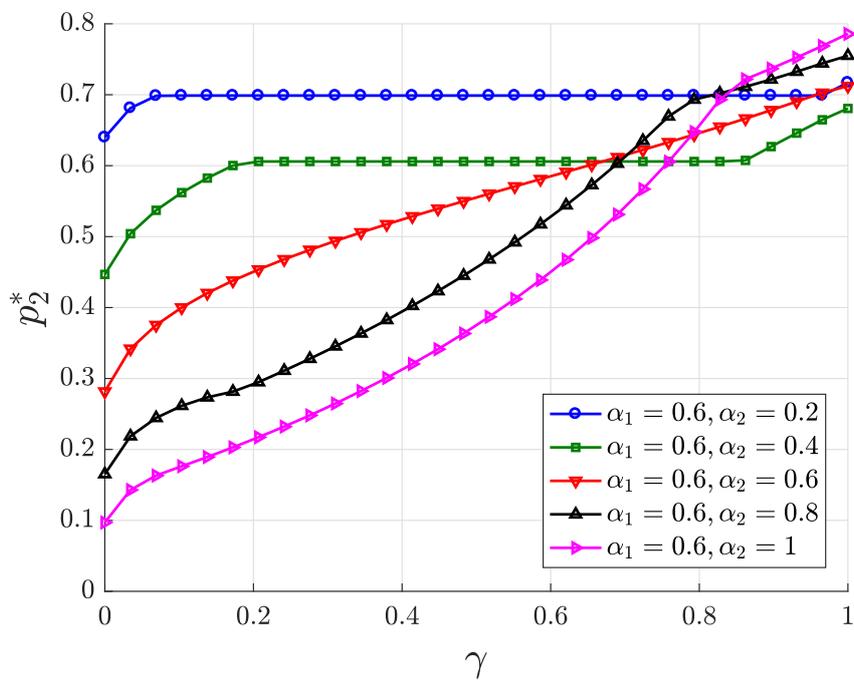


Figura 5.16: Precio  $p_{2m}^*$  como una función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (Modelo Monopolístico)

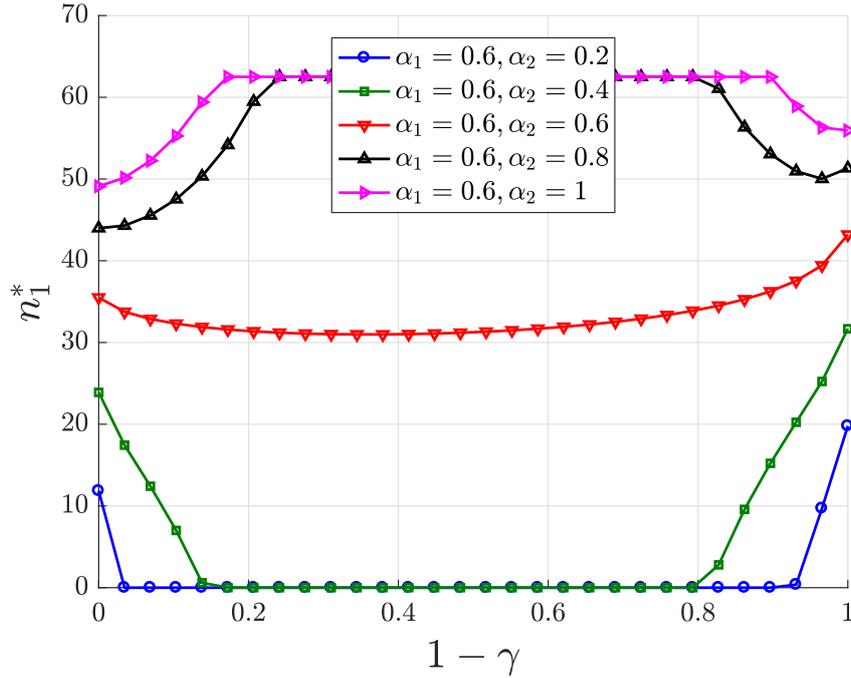


Figura 5.17: Número de Usuarios  $n_{1m}^*$  como función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (Modelo Monopólico)

aumente. Esto es consistente con el hecho de que, los suscriptores de operador 2 se vuelven más sensibles al retraso.

Además, surgen dos diferencias cualitativas y relevantes, cuando se comparan con el caso de la  $\alpha$  (Figs. 5.12): cuando  $\alpha_1 > \alpha_2$  (cuando  $\alpha_1 < \alpha_2$ ), el número de suscriptores de operador 1,  $n_{1m}^*$  (suscriptores de operador 2,  $n_{2m}^*$ ), alcanza un máximo y  $n_{2m}^*$  ( $n_{1m}^*$ ) baja a cero para un rango de valores intermedios de  $\gamma$ , y se mantiene constante. Esto se debe al hecho de que, cuando  $\alpha_1 > \alpha_2$ , se alcanza el equilibrio en el límite entre la Región I y la Región II (Véase las Figs. 5.1 y 5.2); y, cuando  $\alpha_1 < \alpha_2$ , en el límite entre la Región I y la Región III.

Finalmente, la Fig. 5.19 muestra el número total de suscriptores, es decir,  $n_{1m}^* + n_{2m}^*$ . Las tasas máximas de suscripción se alcanzan cuando  $\gamma$  es igual a 1 o a 0. Específicamente, cuando  $\alpha_1 > \alpha_2$ , la tasa máxima de suscripción se alcanza cuando  $\gamma = 1$  (o la máxima prioridad de servicio para la base de suscriptores de operador 1). Y viceversa cuando  $\alpha_1 < \alpha_2$ .

La conclusión es que, cuando las dos bases de usuarios tienen sensibilidades diferentes, la configuración de red más favorable para los usuarios es aquella en la que se da prioridad total a la base de usuarios de menor sensibilidad.

**5.4.1.2.3. Beneficios de los Operadores:** La Fig. 5.20 muestra el beneficio del operador 1 en función de  $\gamma$  (prioridad de suscripción de operador 2) para diferentes valores de  $\alpha_2$ .

Se observa que prioridades similares (pero no necesariamente iguales), dan como resultado un beneficio mínimo. Esto es consistente con el hecho de que, los valores intermedios para  $\gamma$  resultan en que no hay suscriptores para el operador 1 ( $\alpha_1 > \alpha_2$  en Fig. 5.17) o no hay suscriptores de operador 2 ( $\alpha_1 < \alpha_2$  en Fig. 5.18). Los máximos beneficios se consiguen cuando  $\gamma$  es igual a 1 o a 0. Específicamente, cuando  $\alpha_1 > \alpha_2$ , el máximo beneficio se consigue cuando  $\gamma = 0$  (o máxima prioridad de servicio para la base

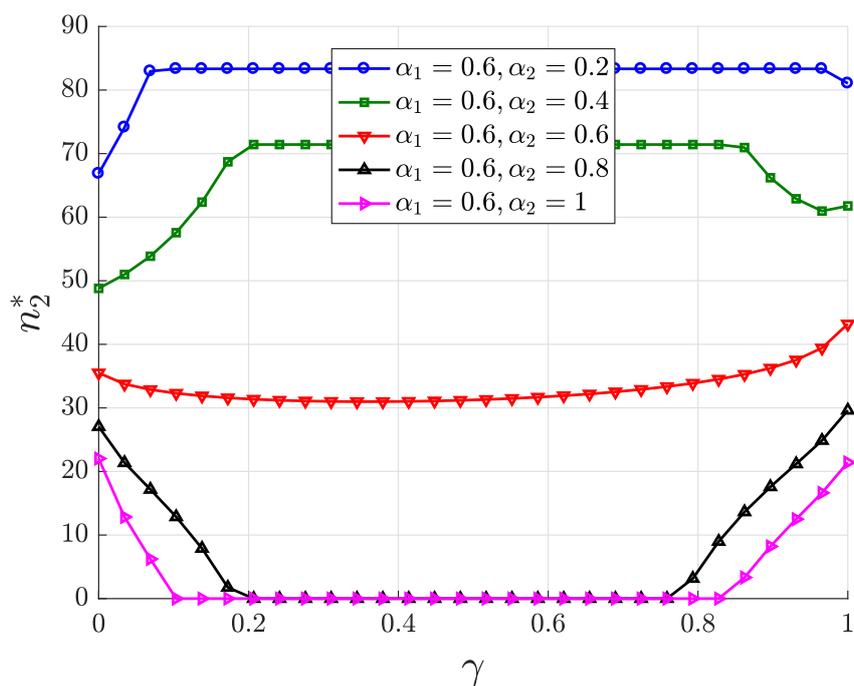


Figura 5.18: Números de usuarios  $n_{2m}^*$  como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (Modelo Monopólico)

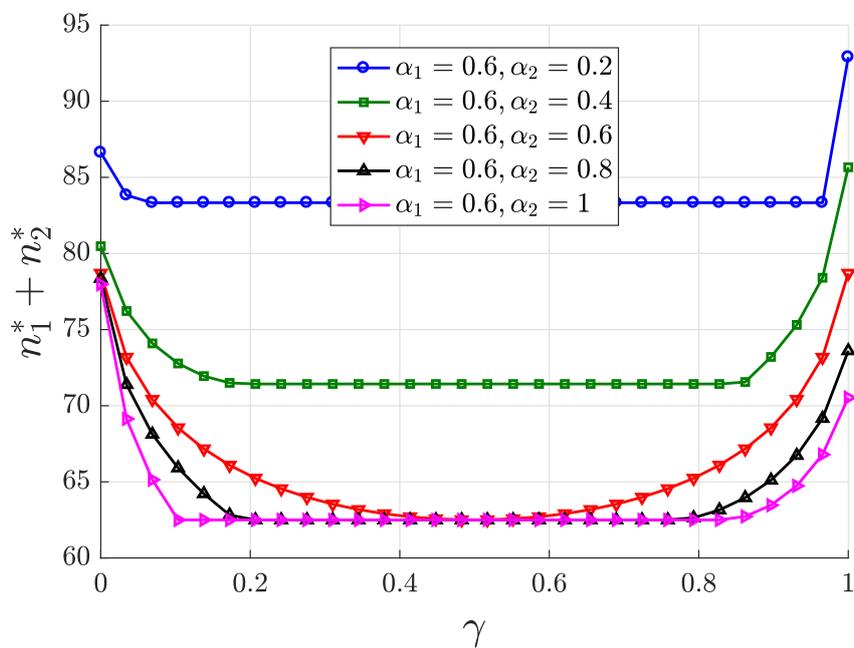


Figura 5.19: Número total de usuarios como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (monopólico)

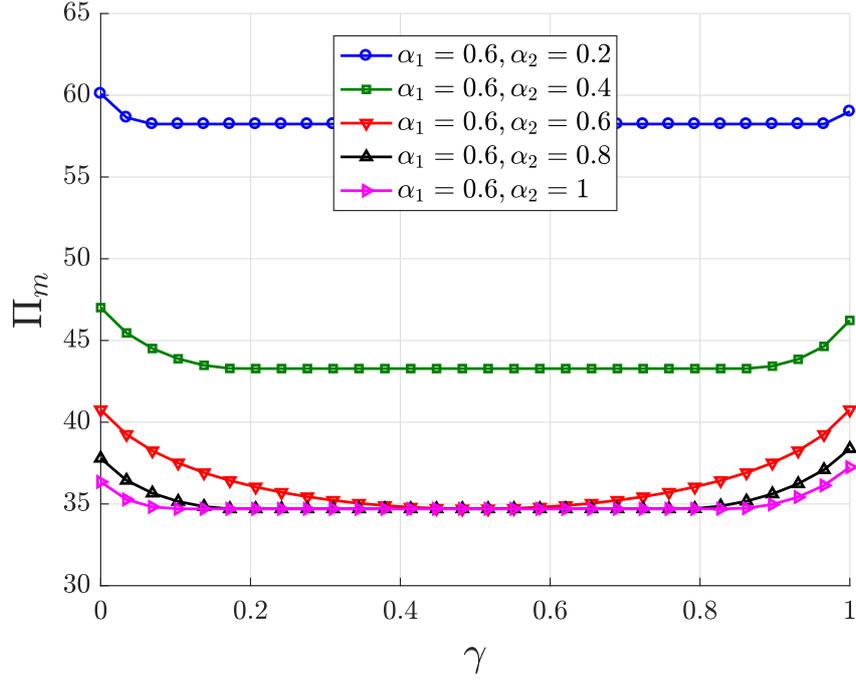


Figura 5.20: Beneficios del MNO  $\Pi_m^*$  en función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (Modelo Monopólico)

de suscriptores de operador 1). Y viceversa cuando  $\alpha_1 < \alpha_2$ .

La conclusión es que, cuando las dos bases de usuarios tienen sensibilidades diferentes, la configuración de red más favorable para el operador es aquella en la que, se da prioridad absoluta a la base de usuarios de mayor sensibilidad. Esto contrasta con la configuración más favorable desde el punto de vista de los usuarios.

### 5.4.2. Modelo de Negocio Estratégico

A continuación se presenta y discute, el equilibrio en el escenario estratégico, donde el operador 1 opera la red y provee servicio a su propia base de suscriptores y el operador 2 provee servicio a su propia base de suscriptores. A la base de suscriptores del operador 1 se le asigna una prioridad de  $1 - \gamma$  en el uso de la capacidad de la red, mientras que a la base de suscriptores del operador 2 se le asigna una prioridad de  $1 - \gamma$ . Finalmente, el operador 2 paga una tarifa  $\delta$  al operador 1 por cada suscriptor del operador 2.

En primer lugar, se aborda el caso en que ambas bases de usuarios tienen la misma sensibilidad al retraso, es decir,  $\alpha_1 = \alpha_2$ , y en segundo lugar, el caso en que tienen sensibilidades diferentes, es decir,  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ .

Hay que hacer dos advertencias, en la interpretación de los resultados discutidos en esta sección. Primero, el perfil de estrategia  $\{p_1^*, p_2^*\} = \{0, 0\}$  es siempre un equilibrio de Nash, pero a partir de entonces no se hace ninguna referencia explícita a él, ya que siempre hay un equilibrio de Nash no nulo. Y segundo, hay configuraciones de parámetros donde hay un conjunto de equilibrios de Nash. Más específicamente, hay equilibrios de Nash en  $\underline{p}_1 \leq p_1^* \leq \bar{p}_1$  y  $\underline{p}_2 \leq p_2^* \leq \bar{p}_2$ . En esos casos, el equilibrio elegido es aquel en el que el beneficio agregado  $\Pi_1^* + \Pi_2^*$  es máximo.

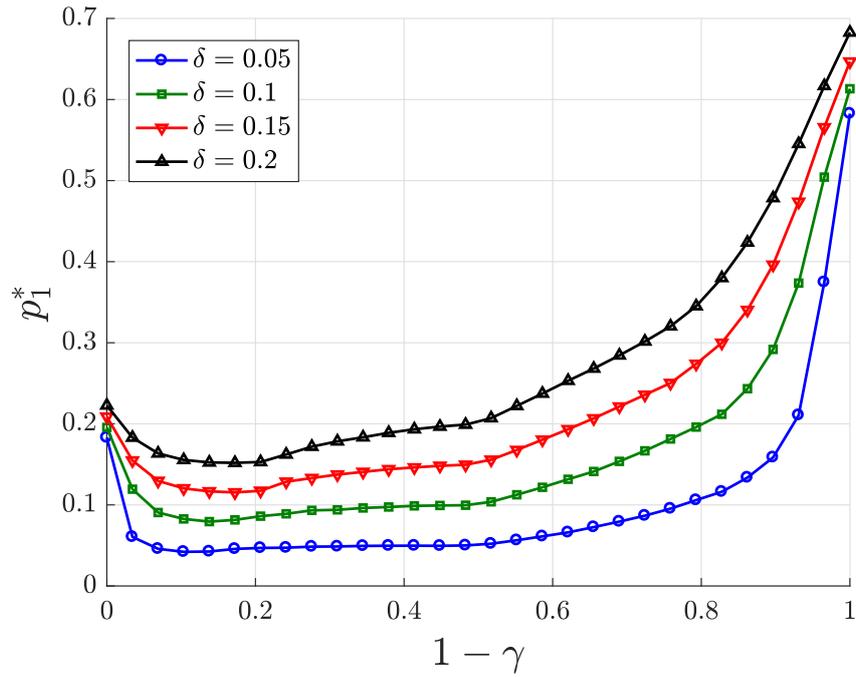


Figura 5.21: Precio  $p_1^*$  como una función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

#### 5.4.2.1. Bases de Usuarios con la misma sensibilidad

Se establecen parámetros  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,6$  y se analiza el efecto de la tasa  $\delta$  en el equilibrio. Los valores de  $\delta$  han sido elegidos para que tanto el MNO como el MVNO obtengan beneficios positivos.

**5.4.2.1.1. Precios:** En las Figs. 5.21 y 5.22, se muestran los precios  $p_1^*$  fijados por el operador 1 y  $p_2^*$  fijados por el operador 2, respectivamente, en el equilibrio de su respectiva base de abonados en función de la prioridad del servicio ( $1 - \gamma$  en Fig. 5.21 y  $\gamma$  en Fig. 5.22) para diferentes valores de  $\delta$ .

Se observa que, para una gama de valores de prioridad superior a un umbral, el servicio tiene un precio más alto a medida que aumenta la prioridad. El umbral para la prioridad del operador 1 si es diferente del umbral para la prioridad del operador 2. Para el operador 1, el umbral varía entre 0,5 (cuando  $\delta = 0,05$ ) y 0,75 (cuando  $\delta = 0,2$ ). Para el operador 2, el umbral es un intervalo de prioridades en el que el precio se aplana y varía entre  $[0,1, 0,5]$  (cuando  $\delta = 0,05$ ) y  $[0,25, 0,5]$  (cuando  $\delta = 0,2$ ). Y que, por debajo de ese umbral, el servicio tiene un precio más alto a medida que la prioridad disminuye. Este comportamiento es diferente al observado en el escenario monopolístico. La razón radica en el hecho de que una interacción estratégica entre los dos operadores tiene lugar aquí y estaba ausente allí. También se observa que la base de abonados que recibe un servicio apoyado por una mayor prioridad tiene un precio más alto; consistentemente con esta observación, cuando  $\gamma = 1/2$ , ambas bases de abonados tienen un precio igual. En cuanto al efecto de  $\delta$ , se ve que cuanto más alto es  $\delta$ , más altos son ambos precios.

En cuanto al efecto de  $\delta$ , se ve que cuanto más alto es  $\delta$ , más altos son ambos precios.

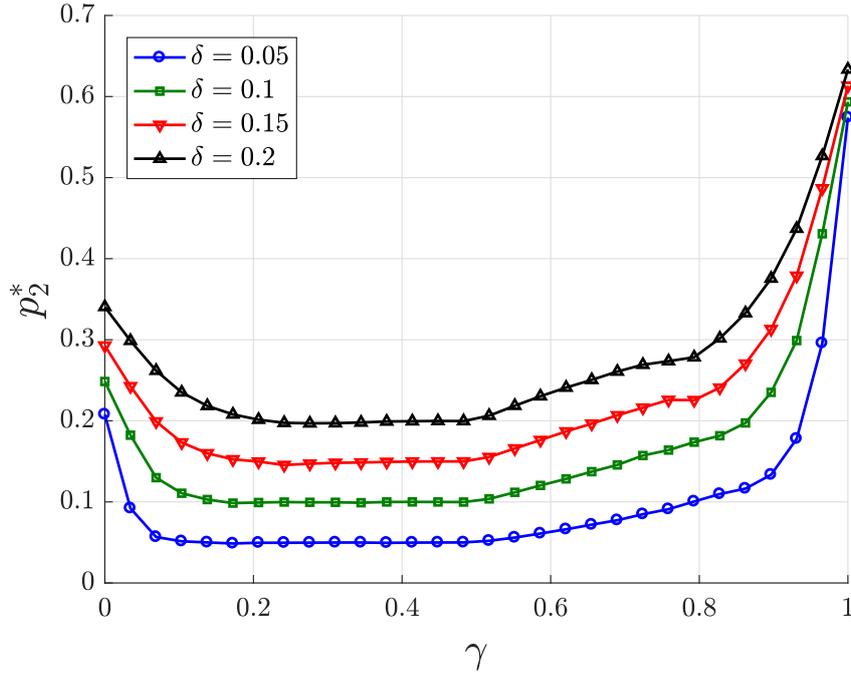


Figura 5.22: Precio  $p_2^*$  como una función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

**5.4.2.1.2. Número de Usuarios:** En las Figs. 5.23 y 5.24 se muestra el número de usuarios del operador 1 ( $n_1^*$ ) y de usuarios del operador 2 ( $n_2^*$ ), respectivamente, en el equilibrio, en función de la prioridad del servicio ( $1 - \gamma$  en la Fig. 5.23 y  $\gamma$  en la Fig. 5.24), para diferentes valores de  $\delta$ . Se observa que, para valores de prioridad superiores a  $\frac{1}{2}$ , el número de suscriptores disminuye, a partir de un valor máximo a medida que la prioridad aumenta. Esto es coherente con el hecho de que el precio (por ejemplo,  $p_1^*$  en la Fig. 5.21) aumenta, lo que parece tener un efecto negativo que no se compensa con la mejora de la QoS. El efecto de un aumento de  $\delta$  es aumentar  $n_1^*$  y disminuir  $n_2^*$ , lo que es coherente con el aumento de la tasa por usuario que debe pagar el operador 2. Por el contrario, para valores de prioridad inferiores a  $\frac{1}{2}$ , el número de suscriptores disminuye a medida que la prioridad aumenta, hasta que se colapsa a cero más allá de una prioridad umbral. El efecto de  $\delta$  es mixto, dependiendo del valor de la prioridad. La ausencia de abonados, para una gama de prioridades inferiores a  $\frac{1}{2}$  pero no muy bajas se debe a un efecto combinado del precio relativamente bajo, y la alta calidad de servicio para la base de usuarios del otro operador, y de la relativamente baja calidad de servicio para la propia base de usuarios. Nótese que para estos valores de rango de prioridades, el número de abonados es máximo para la la base de usuarios del otro operador. Finalmente, la Fig. 5.25 muestra el número total de abonados, es decir,  $n_{1m}^* + n_{2m}^*$ . Las tasas máximas de suscripción se alcanzan cuando  $\gamma$  es igual a  $\frac{1}{2}$ , que es un resultado diferente del modelo de negocio monopólico.

La conclusión es que, cuando las dos bases de usuarios tienen la misma sensibilidad, la configuración de red más favorable para los usuarios, es aquella en la que la prioridad se comparte por igual entre las bases de usuarios.

**5.4.2.1.3. Beneficios de los Operadores:** En las Figs. 5.26 y 5.27 se muestran los beneficios del operador 1  $\Pi_1^*$  y del operador 2  $\Pi_2^*$ , respectivamente, en el equilibrio en función de la prioridad del servicio ( $1 - \gamma$  en Fig. 5.26 y  $\gamma$  en Fig. 5.27) para diferentes valores de  $\delta$ .

Se observa que, el efecto de la prioridad sobre el beneficio es similar al efecto sobre el precio, es decir,

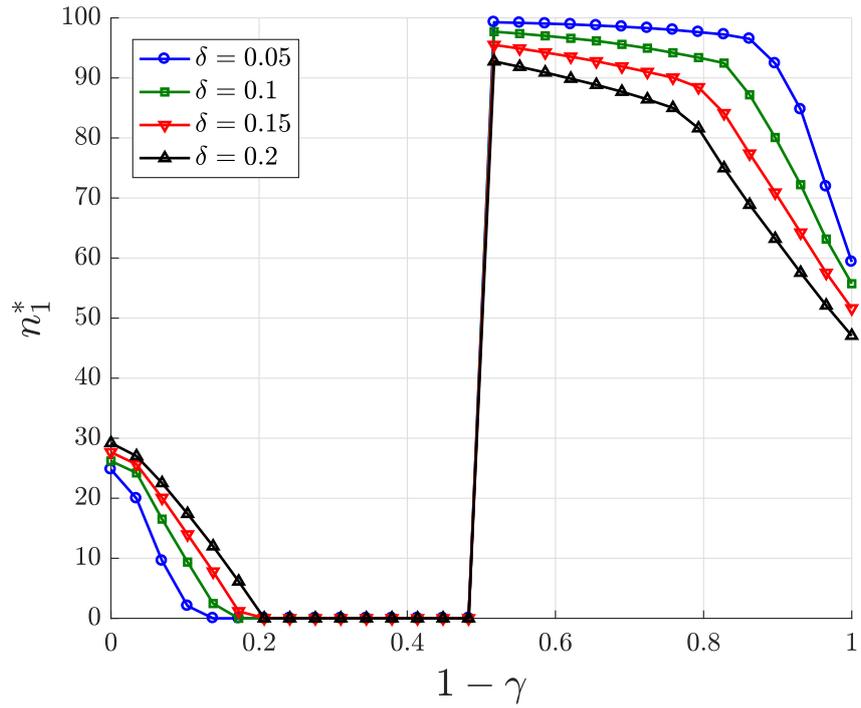


Figura 5.23: Número de Usuarios  $n_1^*$  como función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

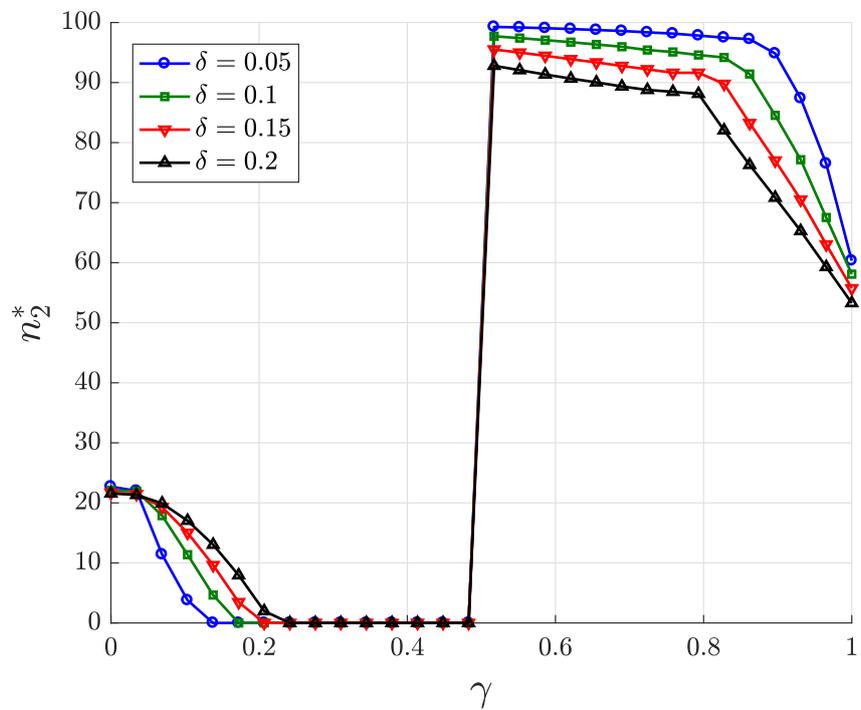


Figura 5.24: Número de Usuarios  $n_2^*$  como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

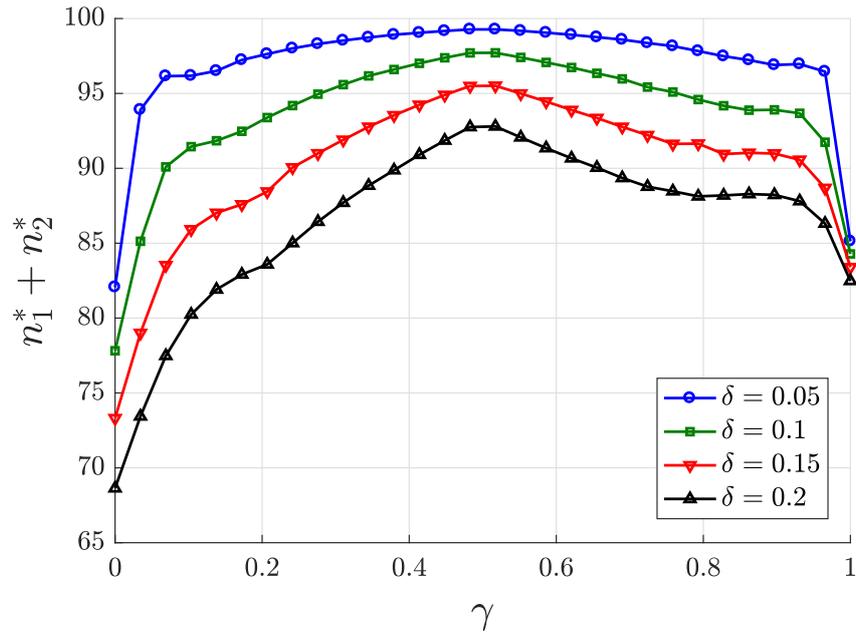


Figura 5.25: Número total de usuarios como una función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

cuanto más alta es la prioridad, más altos son los beneficios, excepto en el caso de prioridades muy bajas. Y también que el efecto modulador que tiene el número de usuarios sobre los beneficios: cuando  $n_2^*$  es cero en Fig. 5.24, el beneficio  $\Pi_2^*$  es cero como se observa en la Fig. 5.27. Sin embargo, cuando  $n_1^*$  es cero como se observa en la Fig. 5.23, la ganancia  $\Pi_1^*$  no es cero como se observa en la Fig. 5.26, porque el operador 1 obtiene ingresos también de la base de suscriptores del operador 2, que no es cero (Véase la Fig. 5.24).

El efecto de la tasa  $\delta$  pagada por el operador 2 al operador 1 sobre el beneficio  $\Pi_1^*$  es claro en Fig. 5.26: cuanto más alto es el  $\delta$ , más alto es el  $\Pi_1^*$ . El efecto en el beneficio no es tan claro: cuanto más alto es el  $\delta$ , más bajo es  $\Pi_2^*$ , sólo para las altas prioridades.

La conclusión es que, para las bases de usuarios con la misma sensibilidad, la configuración de red más favorable para cada operador, es aquella en la que se da toda la prioridad a su propia base de usuarios. Esto está en contradicción con la configuración más favorable, desde el punto de vista de los usuarios.

### 5.4.2.2. Bases de usuarios con diferente sensibilidad

Los parámetros se establecen como  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = \{0,2,0,4,0,6,0,8,1\}$  y se analiza el efecto de la prioridad  $\gamma$  en el equilibrio. El parámetro  $\delta$  se establece en 0,15.

**5.4.2.2.1. Precios:** En las Figs. 5.28 y 5.29 se muestran los precios  $p_1^*$  fijados por el operador 1 y  $p_2^*$  fijados por el operador 2, respectivamente, en el equilibrio en función de la prioridad de servicio ( $1 - \gamma$  en Fig. 5.28 y  $\gamma$  en Fig. 5.29) para diferentes valores de  $\alpha_2$ .

Se observa que hay similitudes con el caso de bases de usuarios con las mismas sensibilidades mientras  $\alpha_2 \geq 0,4$ : ambos precios aumentan para valores de prioridad cercanos a 0 y 1.

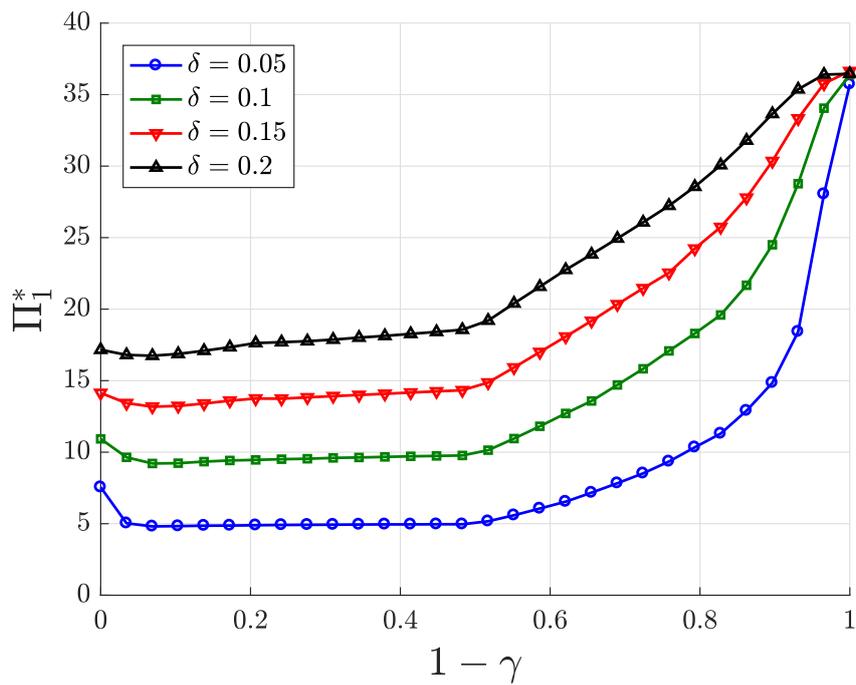


Figura 5.26: Beneficios del operador 1  $\Pi_1^*$  como función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

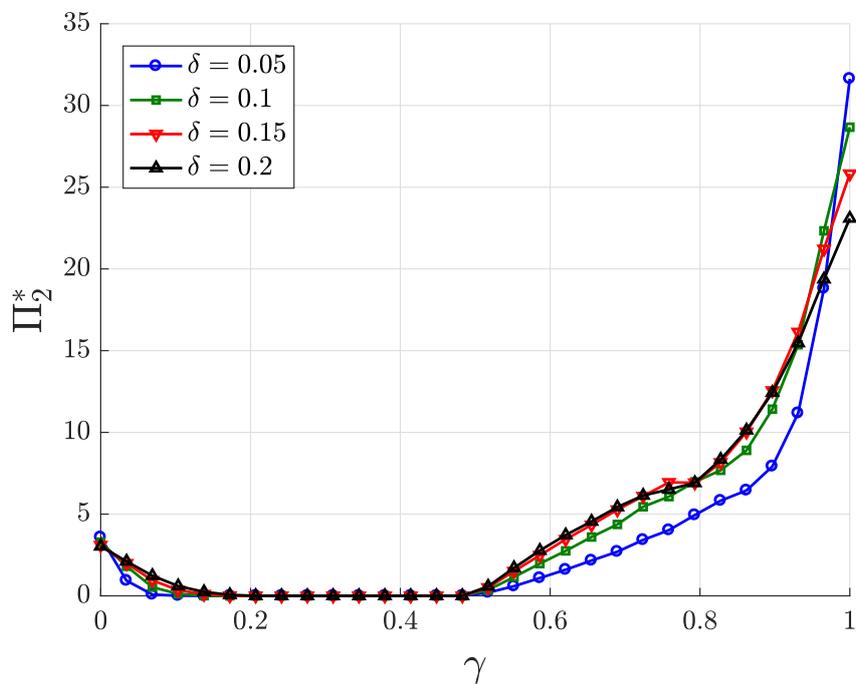


Figura 5.27: Beneficios del MVNO  $\Pi_2^*$  como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

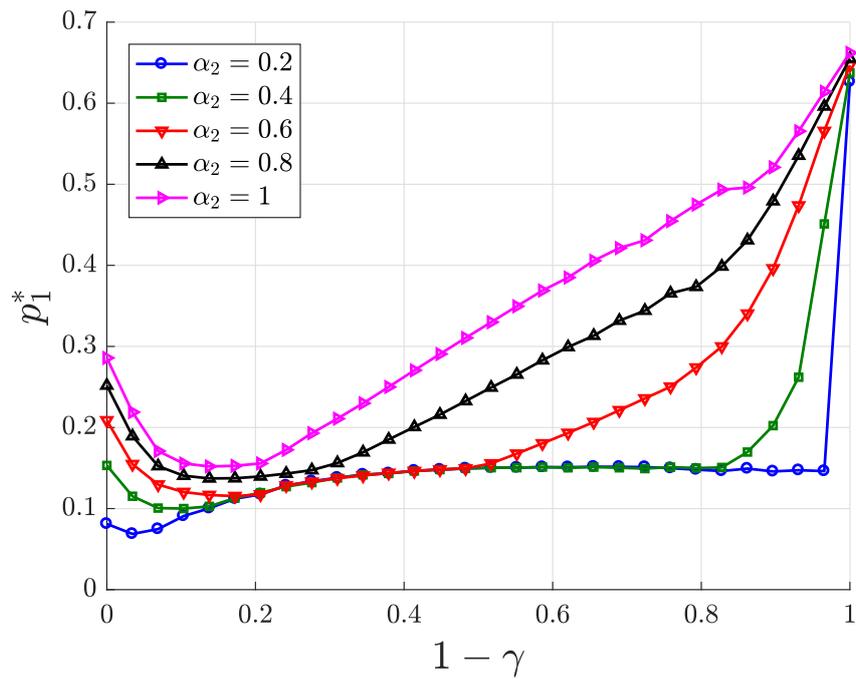


Figura 5.28: Precio  $p_1^*$  como función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_2$  (Modelo Estratégico,  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\delta = 0,15$ )

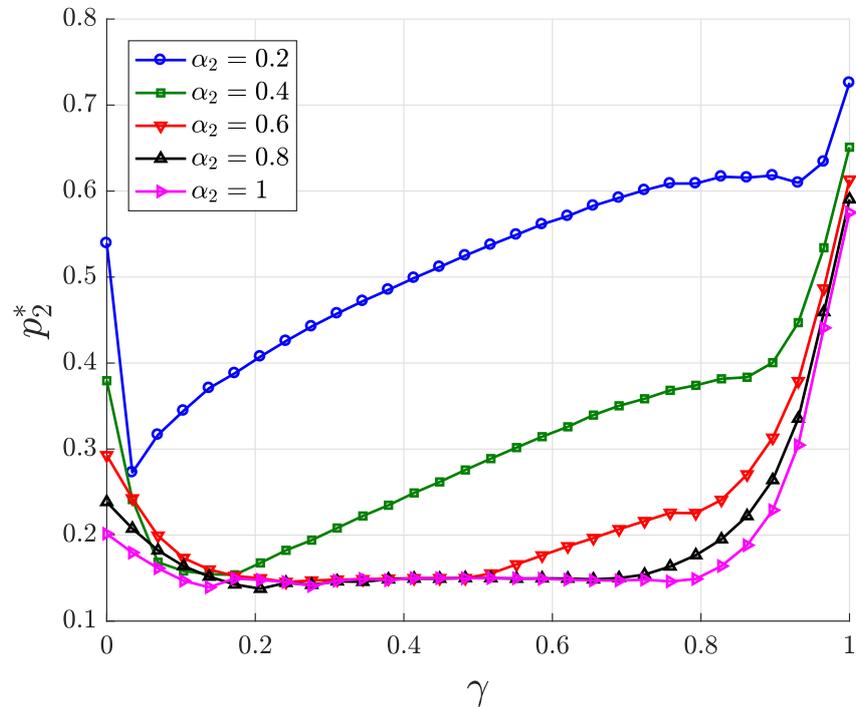


Figura 5.29: Precio  $p_2^*$  como función de  $\gamma$  para diferentes valores  $\alpha_2$  (Modelo Estratégico,  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\delta = 0,15$ )

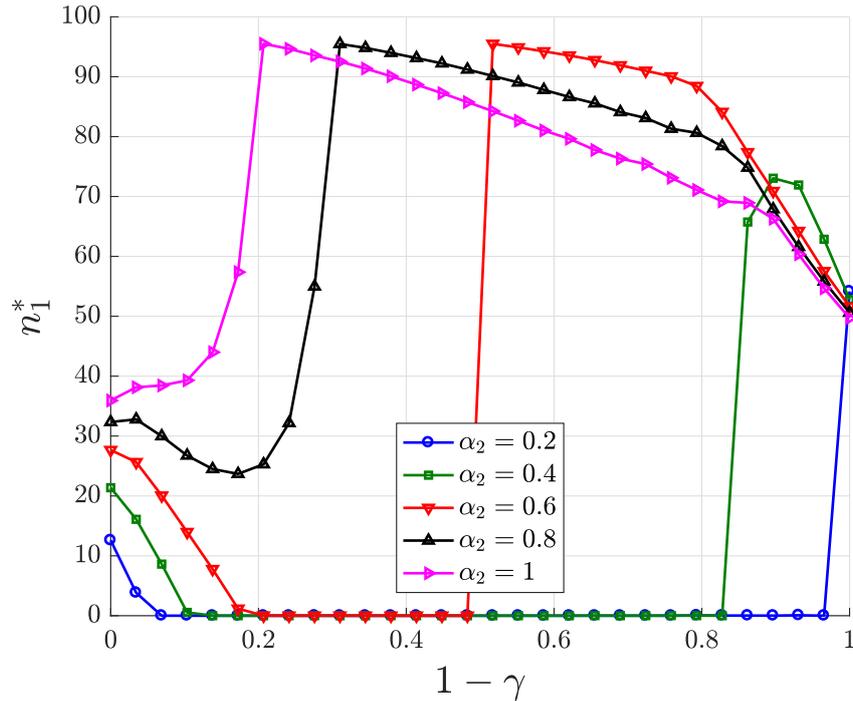


Figura 5.30: Número de usuarios  $n_1^*$  como una función de  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_2$  (Modelo Estratégico,  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\delta = 0,15$ )

**5.4.2.2.2. Número de Usuarios:** En las Figs.5.30 y 5.31, se muestra el número de usuarios del operador 1  $n_1^*$  y del operador 2  $n_2^*$ , respectivamente, en el equilibrio en función de la prioridad del servicio ( $1 - \gamma$  en la Fig. 5.30 y  $\gamma$  en la Fig. 5.31) para diferentes valores de  $\alpha_2$ .

Se ve que hay una transición brusca de un valor mínimo a uno máximo de  $n_1^*$ , como en el caso de que las bases de usuarios tuvieran las mismas sensibilidades. Sin embargo, el valor mínimo no siempre es cero. Y el valor de prioridad donde se realiza la transición depende de  $\alpha_2$ : cuanto más alto es  $\alpha_2$ , más alta es la prioridad de la transición.

Finalmente, la Fig. 5.32 muestra el número total de suscriptores, es decir,  $n_{1m}^* + n_{2m}^*$ . Las tasas máximas de suscripción se alcanzan para un valor intermedio de  $\gamma$ , que es de  $\frac{1}{2}$  para el caso con las mismas sensibilidades. Este valor intermedio depende, sin embargo, de  $\alpha_2$ : cuanto más alto sea  $\alpha_2$ , más alto es este valor intermedio que resulta en una tasa de suscripción máxima.

Al respecto, concluimos que cuando las dos bases de usuarios tienen sensibilidades diferentes, la configuración de red más favorable para los usuarios es aquella en la que la prioridad se comparte entre las bases de usuarios, en una proporción que depende de lo diferentes que sean las sensibilidades.

**5.4.2.2.3. Beneficios de los Operadores:** En las Figs. 5.33 y 5.34 se muestra la ganancia del operador 1  $\Pi_1^*$  y la ganancia del operador 2  $\Pi_2^*$ , respectivamente, en el equilibrio en función de la prioridad de servicio ( $1 - \gamma$  en la Fig. 5.33 y  $\gamma$  en la Fig. 5.34) para diferentes valores de  $\alpha_2$ .

Se ve que el efecto de la prioridad en el beneficio es similar al del caso con las mismas sensibilidades, es decir, cuanto más alta es la prioridad, más altos son los beneficios, excepto para prioridades muy bajas (y excepto para el operador 1,  $\alpha_2 = 1$  y altas prioridades).

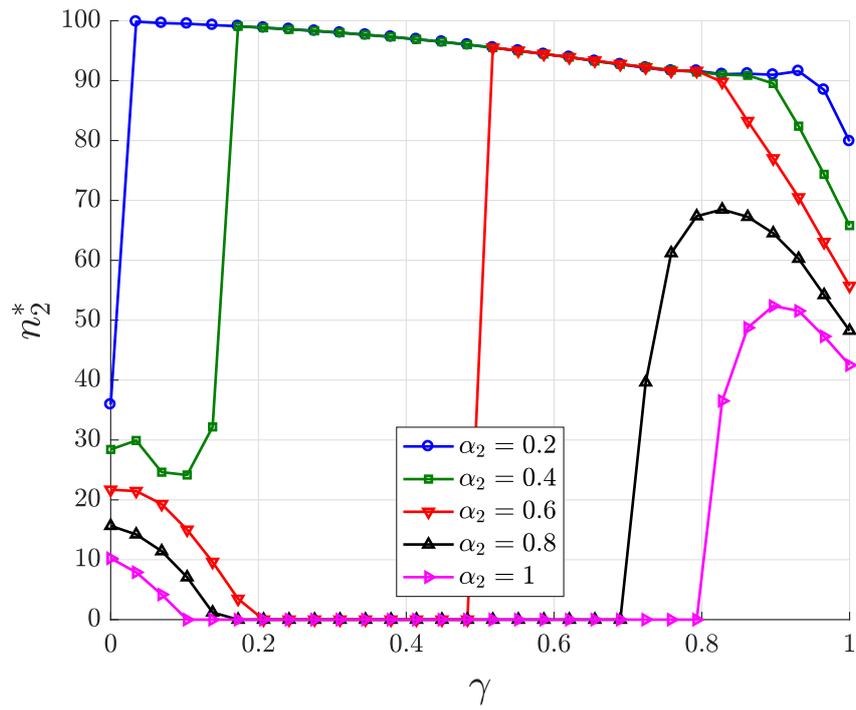


Figura 5.31: Número de usuarios  $n_2^*$  como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_2$  (Modelo Estratégico,  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\delta = 0,15$ )

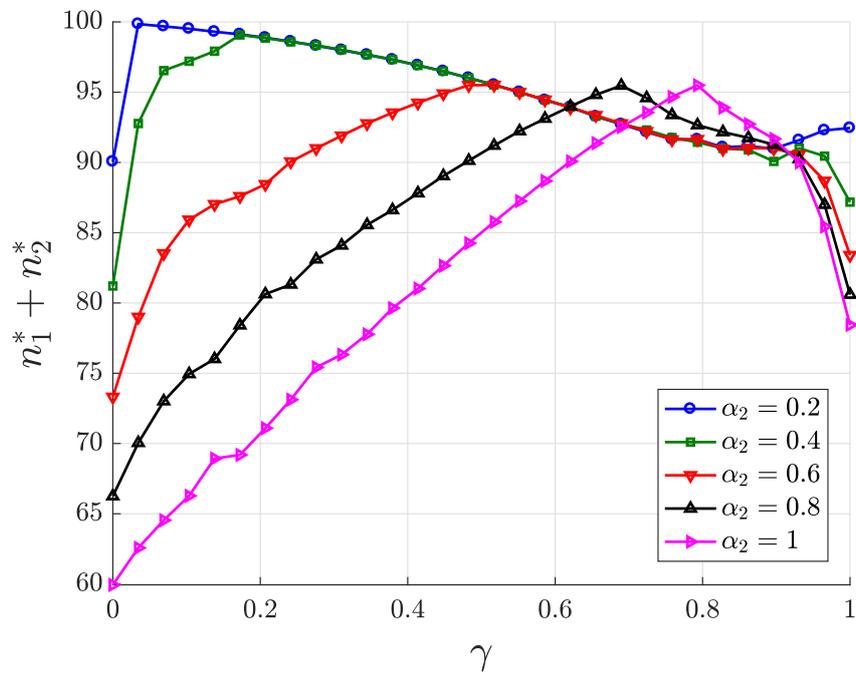


Figura 5.32: Número total de usuarios como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\alpha_2$  (Modelo Estratégico,  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\delta = 0,15$ )

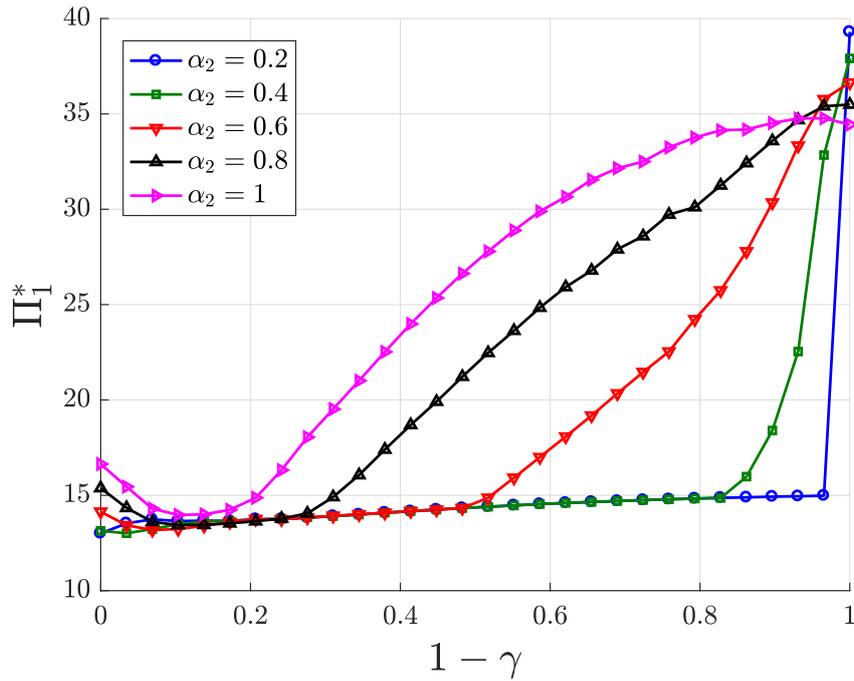


Figura 5.33: Beneficios del operador 1  $\Pi_1^*$  como función  $1 - \gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

Además, a medida que la sensibilidad de la base de usuarios del MVNO aumenta comparativamente, el beneficio del operador 2 disminuye, mientras que el beneficio del operador 1 aumenta.

La conclusión es que, para las bases de usuarios con diferentes sensibilidades, la configuración de red más favorable para cada operador es aquella en la que se da prioridad a su propia base de usuarios, que es la misma conclusión a la que se llega cuando las bases de usuarios tienen las mismas sensibilidades. Esta conclusión está en contradicción con la configuración más favorable desde el punto de vista de los usuarios.

### 5.4.3. Factibilidad de los Modelos de Negocio

En esta sección se analizan las condiciones en las que los modelos de negocio propuestos en la Sección 5.1.1 son factibles, es decir, proporcionar incentivos tanto al operador 1 como al operador 2. En primer lugar, se aborda el modelo de negocio monopolístico y, a continuación, el modelo de negocio estratégico.

#### 5.4.3.1. Modelo de Negocio Monopolístico

En esta sección se busca plantear las condiciones bajo las cuales el operador 1 tiene un incentivo para servir a la base de suscriptores del operador 2 y el operador 2 tiene un incentivo para dejar que el operador 1 lo haga.

El operador 1 aceptará prestar servicio a la base de suscriptores del operador 2 si el beneficio en el

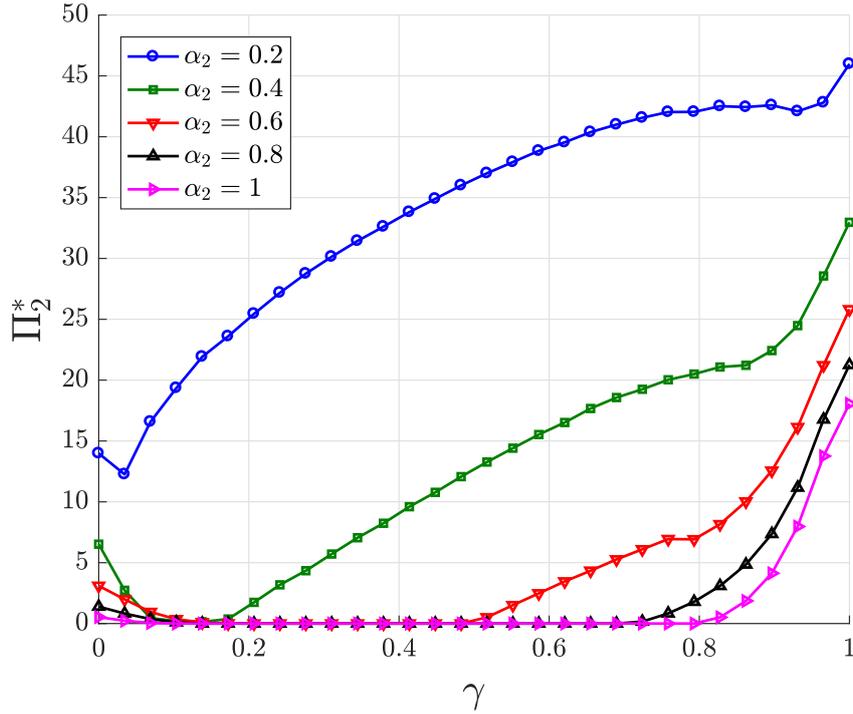


Figura 5.34: Beneficios del operador 2  $\Pi_2^*$  como función de  $\gamma$  para diferentes valores de  $\delta$  (Modelo Estratégico)

escenario monopolístico,  $\Pi_m^*$ , es mayor o igual al beneficio en el escenario base,  $\Pi_0^*$ :

$$\Pi_m^* + m \geq \Pi_0^*, \quad (5.53)$$

es factible si

$$\Pi_m^* > \Pi_0^*. \quad (5.54)$$

En las Figs. 5.35, 5.36 y 5.37 muestran  $\Pi_m^*$  en función de  $\gamma$  cuando la base de usuarios del operador 2 tiene sensibilidad,  $N - \alpha_2$ , igual a 0,4, 0,6 y 0,8, respectivamente. En las tres figuras la base de usuarios del operador 1 tiene sensibilidad  $\alpha_1 = 0,6$ . El valor  $\Pi_0^*$  también se representa como una línea simple (es independiente de  $\alpha_2$ ) horizontal (es independiente de  $\gamma$ ). También se representa el beneficio del modelo estratégico de negocios, pero se discutirá en la siguiente subsección. La condición se cumple por cada  $\gamma$  y  $\alpha_2$ . Sin embargo, el incentivo es más escaso a medida que  $\alpha_2$  aumenta y a medida que  $\gamma$  se acerca a  $\frac{1}{2}$ , es decir, a medida que la base de usuarios del operador 2 tiene una mayor sensibilidad y a medida que ambas bases de suscriptores se atienden bajo prioridades más similares.

### 5.4.3.2. Modelo de Negocio Estratégico

Ahora se buscan las condiciones bajo las cuales el operador 1 tiene un incentivo para consentir la entrada del operador 2 y el operador 2 tiene un incentivo para entrar en el acuerdo de compartición de infraestructura.

Una vez más, el operador 1 aceptará la entrada del operador 2 si la ganancia en el escenario estratégico,

$\Pi_1^*$ , es mayor o igual a la ganancia en el escenario base,  $\Pi_0^*$ :

$$\Pi_2^* \geq 0. \quad (5.55)$$

Si no se cumplen los requisitos, se podría acordar que el operador 2 pague una suma global  $m > 0$  al operador 1 (aparte de la tarifa por suscriptor,  $\delta$ ) para que éste acepte la entrada, es decir,

$$\Pi_1^* + m \geq \Pi_0^*. \quad (5.56)$$

Pero ahora, la condición (5.55) debería transformarse en

$$\Pi_2^* - m \geq 0. \quad (5.57)$$

De (5.56) y (5.57), el pago de suma global  $m$  puede ser garantizado si

$$\Pi_1^* + \Pi_2^* > \Pi_0^*. \quad (5.58)$$

En las Figs. 5.35, 5.36 y 5.37 también muestran los diferentes valores de  $\delta$ . La condición (5.58) sólo se ve cumplida para algunos valores de los parámetros  $\alpha_2$ ,  $\delta$  y  $\gamma$ . Específicamente,

- Dados  $\alpha_2$  y  $\delta$ , se cumple la condición de un rango de  $\gamma \in [0, \gamma_{low}] \cup [\gamma_{high}, 1]$ , es decir, para prioridades suficientemente diferentes para las dos bases de usuarios.
- Para algunos  $\alpha_2$  y  $\gamma$ , la condición (5.58) se cumple con un  $\delta$  suficientemente alto, es decir, con una cuota suficientemente alta pagada por el operador 2 al operador 1.
- Para algunos  $\alpha_2$  y  $\gamma$ , la condición (5.58) se cumple para un  $\alpha_2$  suficientemente bajo, es decir, para los usuarios de operador 2 de sensibilidad suficientemente baja.

La conclusión es que los dos modelos de negocio son factibles. El modelo de negocio monopolístico para cada parámetro y el modelo de negocio estratégico para la siguiente situación: prioridades diferentes, usuarios entrantes no muy sensibles y valores altos de tasa  $\delta$ .

Los dos modelos de negocio se comparan de la siguiente manera. Desde el punto de vista de los beneficios, las Figs. 5.35 y 5.37 se muestra que, el modelo de negocio monopolístico proporciona un mayor incentivo tanto al operador 1 como al operador 2 que el modelo de negocio estratégico, ya que  $\Pi_1 + \Pi_2 \leq \Pi_m$  para cada ajuste de parámetros. Este resultado es obvio, porque un juego estratégico siempre da como resultado un resultado menor o igual al resultado óptimo.

Los modelos de negocio también pueden ser comparados desde el punto de vista de los usuarios. Más específicamente, en términos del número de suscriptores que cada modelo de negocio soporta. Este indicador es una medida de la eficiencia de la prestación del servicio. En las Figs. 5.38, 5.39 y 5.40 se muestra  $n_1^* + n_2^*$  en los modelos de negocio estratégico (para diferentes valores de  $\delta$ ) y monopolístico en función de  $\gamma$ . La base de usuarios del operador 1, tiene una sensibilidad  $\alpha_1 = 0,6$  en las tres figuras y la base de usuarios del operador 2, tiene sensibilidades  $\alpha_2$  iguales a 0,4 (Fig. 5.38), 0,6 (Fig. 5.39) y 0,8 (Fig. 5.40). Se observa que, el número total de usuarios en el modelo de negocio estratégico es mayor que en el modelo de negocio monopolístico, por  $\gamma$  más alto que un valor umbral que depende de  $\alpha_2$  y  $\delta$ . Para un valor dado de  $\alpha_2$ , cuanto más alto es el  $\delta$ , más alto es el umbral. Y para un determinado delta, cuanto más alto es el delta, más alto es el umbral.

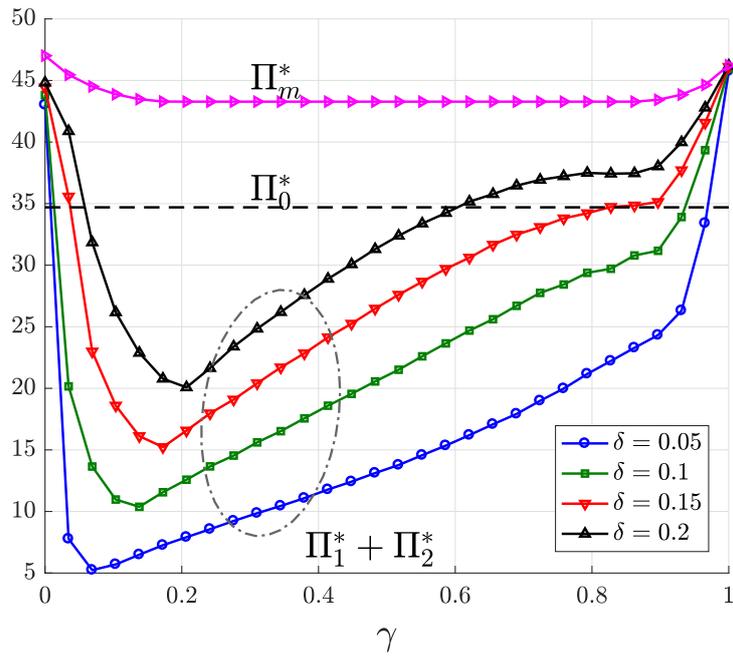


Figura 5.35:  $\Pi_1^* + \Pi_2^*$  y  $\Pi_m^*$  como una función de  $\gamma$  para  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,4$  y diferentes valores de  $\delta$

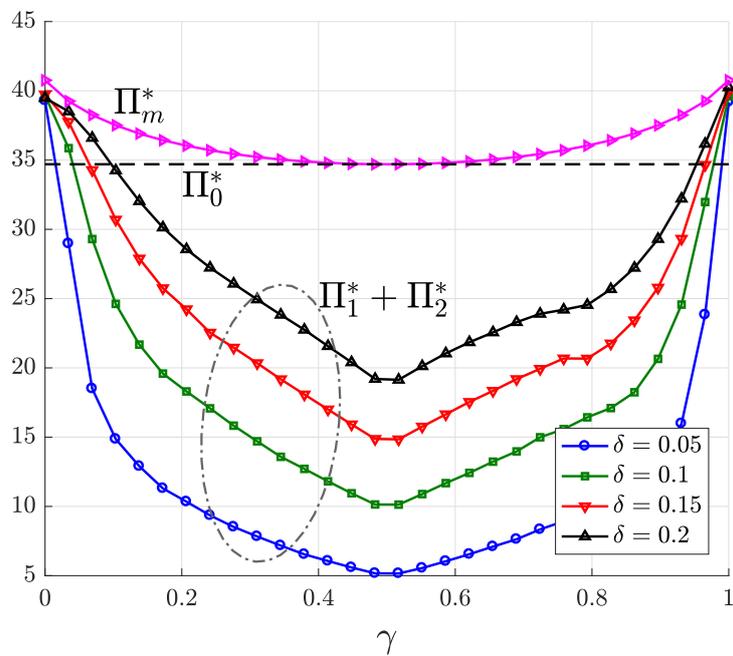


Figura 5.36:  $\Pi_1^* + \Pi_2^*$  y  $\Pi_m^*$  como una función de  $\gamma$  para  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,6$  y diferentes valores de  $\delta$

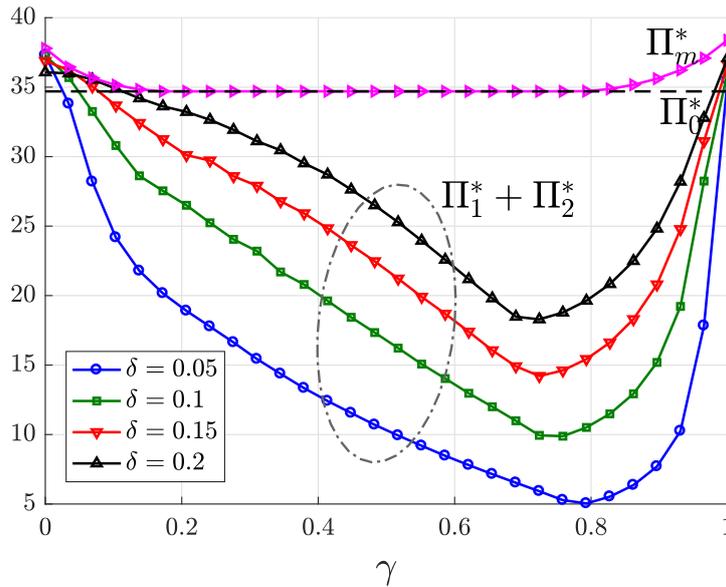


Figura 5.37:  $\Pi_1^* + \Pi_2^*$  y  $\Pi_m^*$  como una función de  $\gamma$  para  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,8$  y diferentes valores de  $\delta$

Entonces puede afirmarse que, el modelo de negocio estratégico es más deseable desde el punto de vista de los usuarios, cuando la base de usuarios al principio no tiene una gran sensibilidad y/o se le da una prioridad suficientemente alta y la tarifa que paga el operador 2, no es muy elevada. O, en otras palabras, bajo este escenario, el sistema es más eficiente en el modelo de negocio estratégico.

Se analizaron dos modelos de negocio para prestar servicio a dos bases de usuarios a través de una infraestructura de red común. Los recursos de la red se asignan a las bases de usuarios sobre la base de un acuerdo de distribución de prioridades, que puede ser apoyado por la división de la red. En un modelo de negocio, denominado *monopólico*, el operador de la red presta servicio a ambas bases de usuarios. En el otro modelo comercial, denominado *estratégico*, el operador de red presta servicio a su base de usuarios y un operador virtual presta servicio a su base de usuarios y paga una tasa por abonado al operador de red.

Se ha demostrado que ambos modelos de negocio son viables, ya que ofrecen incentivos a ambos operadores en comparación con el escenario de referencia, en el que sólo la base de usuarios del MNO recibe servicio. El modelo de negocio monopólico ofrece un incentivo más fuerte a los operadores que el modelo de negocio estratégico, pero este último es más deseable desde el punto de vista de los usuarios, ya que un mayor número de usuarios recibe el servicio.

## 5.5. Conclusiones

En esta sección, se analiza la viabilidad económica en la prestación de servicios mediante la compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO. Para ello se plantean dos modelos de negocio denominados *monopólico* y *estratégico* y se comparan con un modelo denominado *básico*.

De los resultados obtenidos se concluye que, el modelo de negocio *monopólico* desde el punto de vista de los operadores, ofrece un incentivo más fuerte, que el modelo de negocio *estratégico*.

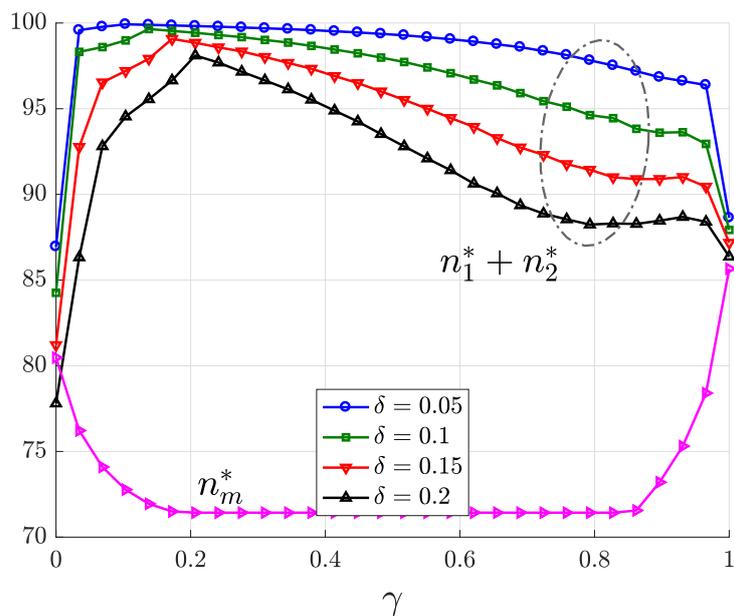


Figura 5.38:  $n_1^* + n_2^*$  en los modelos de negocio estratégico y monopólico como una función de  $\gamma$  para  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,4$  y diferentes valores de  $\delta$

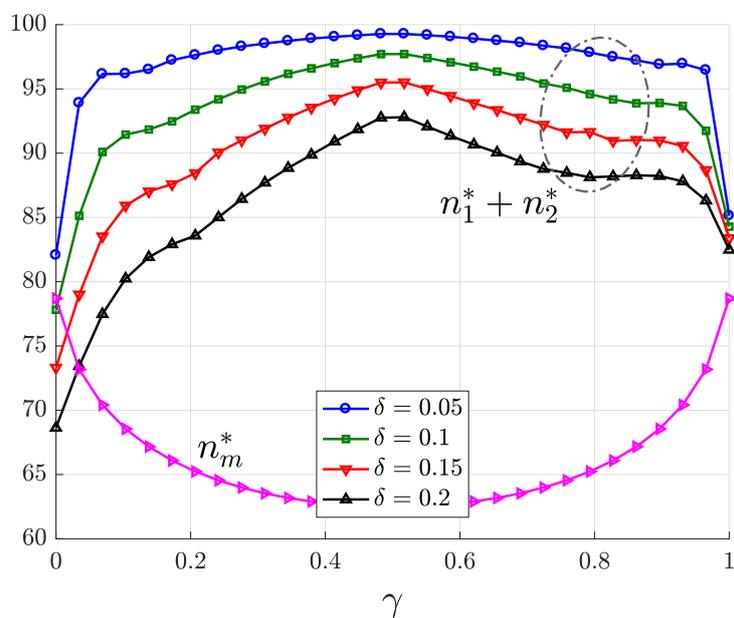


Figura 5.39:  $n_1^* + n_2^*$  en los modelos de negocio estratégico y monopólico como una función de  $\gamma$  para  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,6$  y diferentes valores de  $\delta$

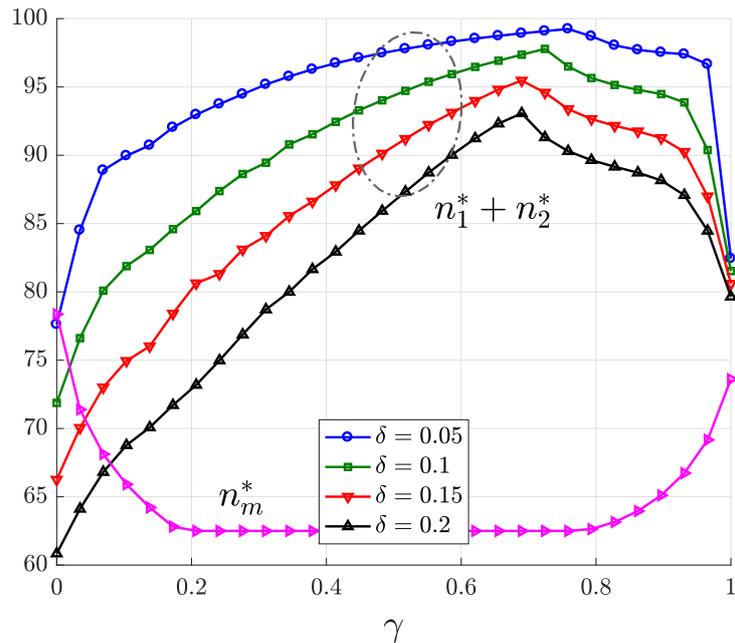


Figura 5.40:  $n_1^* + n_2^*$  en los modelos de negocio estratégico y monopólico como una función de  $\gamma$  para  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,8$  y diferentes valores de  $\delta$

Por otra parte, el modelo de negocio *estratégico*, se analizan en una primera instancia, escenarios con un pago  $\delta = 0$  del MVNO al MNO y la misma sensibilidad para los usuarios de los operadores; y en una segunda instancia, escenarios con un pago  $\delta = 0$  del MVNO al MNO y diferentes valores de sensibilidad para los usuarios. En la primera instancia, para los modelos de *compartición igualitaria* y *compartición prioritaria*, los resultados sugieren que el operador de la red está peor en cualquier circunstancia bajo un acuerdo de compartición igualitaria y por lo tanto, la entrada de un operador virtual es deseable desde el punto de vista de los precios de los usuarios. En la segunda instancia, los resultados sugieren que el modelo de negocio *estratégico* es viable para prioridades diferentes y usuarios no muy sensibles al retardo.

Así mismo, se ha demostrado que los modelos de negocio analizados para la compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO son viables ya que ofrecen incentivos a los operadores (modelo monopólico) y usuarios (modelo estratégico).

Esta conclusión proporcionaría una justificación para que un regulador obligue a la entrada de operadores virtuales en el mercado cuando haya un operador de red establecido.



---

---

# CAPÍTULO 6

---

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 6.1. Conclusiones

El mercado de las comunicaciones móviles está en constante crecimiento y evolución, a pesar de las limitaciones para el ingreso de nuevos operadores al mercado. En los últimos años el despliegue masivo de redes 4G y el desarrollo de redes 5G ha permitido el diseño de nuevos modelos de negocio de MNOs, así como, las exigencias de los usuarios en cuanto a QoS. Esto plantea para los diferentes agentes del mercado nuevos paradigmas que requieren solución desde el aspecto técnico como el económico. El desarrollo del NS y las características técnicas de las redes 5G prevén solucionar varios aspectos de la compartición E2E de la infraestructura de red de un MNO, es decir permitiría solventar el aspecto técnico para la compartición de infraestructura con un MVNO. Sin embargo, es necesario demostrar que los modelos de negocio que se pueden implementar a partir de las facilidades técnicas para la compartición de infraestructura son viables para los diferentes actores del mercado.

En esta tesis se analizan dos modelos de negocio de compartición de infraestructura entre MNOs y MVNOs, con la finalidad de demostrar que los escenarios son económicamente viables. El análisis se realizó desde el punto de vista de la microeconomía, teoría de juegos, teoría de colas y optimización. El primer modelo de negocio se centra en la provisión del servicio a los usuarios por parte de un MVNO el mismo que divide su tráfico de red a los MNOs los que alquilan su capacidad de red al MVNO. El segundo modelo de negocio, analizan dos escenarios de compartición de infraestructura de un MNO. En el primer escenario denominado *monopólico*, el MNO brinda servicio de manera independiente a dos bases de usuarios. En el segundo escenario denominado *estratégico*, el MNO brinda servicio a su base de usuarios y a su vez alquila su infraestructura a un MVNO, para que brinde servicio a su base de usuarios.

En las siguientes secciones se describe en detalle los resultados obtenidos en cada escenario.

### 6.1.1. Principales contribuciones

#### 6.1.1.1. Modelo de Negocio Multi-MNO MVNO:

En el modelo de negocio planteado en este escenario se analizó la viabilidad económica de un acuerdo entre un MVNO y dos MNOs, en el que, el MVNO distribuirá el tráfico de su base de usuarios a los MNOs. Se analiza la propuesta a través de un modelo que capta tanto las características del sistema como las económicas.

Las características del sistema se modelaron mediante una cola M/M/1 con disciplina de servicio FIFO, para obtener una expresión manejable para la utilidad de los usuarios. En el mismo sentido, se considera que los usuarios generan paquetes de información que se introducen en el sistema a una tasa  $\lambda$  y una tasa media de servicio  $\mu$ . Así como, el tiempo medio de servicio del sistema se considera como la combinación paralela de la red de ambos MNOs, es decir,  $T_i = \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2$ , donde  $\alpha_i$  es el factor de división del tráfico del MVNO.

Las características económicas se modelan desde el punto de vista de las utilidades de los usuarios y beneficios de los operadores. Los usuarios deciden si suscribir o no al MVNO, para ello evalúa la utilidad de los usuarios en base a la QoS percibida y el precio del servicio ofertado por el MVNO, el análisis se realizó considerando el equilibrio de Wardrop. En relación a los operadores, en el modelo se considera que los beneficios del MVNO están dados por los ingresos del MVNO  $\lambda p$ , menos la tarifa establecida por los MNOs por el tráfico cursado por usuario  $\lambda \delta$ . Mientras que los beneficios de los MNOs vienen dados por, los ingresos de acuerdo al tráfico recibido  $\alpha_i \lambda \delta$  y los costos de inversión  $K \mu_i + q \mu_i$ .

La viabilidad económica del modelo, se evalúa mediante un juego estratégico de tres etapas y el mismo que se resolvió mediante inducción hacia atrás. Para ello, se optimizan las funciones de utilidad de los actores del modelo de negocio, como se describió en la sección 3.1.2, se obtuvo el equilibrio de Nash, mediante el cálculo de las BR. Y los resultados obtenidos, se comparan con el modelo base en el cual sólo un MNO presta el servicio al MVNO.

En el trabajo se demuestra que, el modelo de negocio Multi-MNO MVNO, es viable económicamente, desde el punto de vista de los operadores y usuarios. En relación a los operadores, los ingresos de los MNOs en el modelo Multi-MNO MVNO, son iguales, a los obtenidos en modelo de un solo-MNO, dado que cada MNO adopta una estrategia independientemente de la decisión del otro MNO, es decir una estrategia dominante. En cuanto a los usuarios, el ingreso del MNO permite incrementar el número de usuarios del MVNO.

Finalmente, se demuestra que el modelo multi-MNO MVNO es viable, ya que proporciona incentivos a los operadores en comparación con el escenario de un solo-MNO, dado que para cada configuración de parámetros hay un rango de valores de los costos de inversión para los cuales se puede diseñar un pago global en el sistema para que el MNO 1 tenga un incentivo para dejar entrar al MNO 2.

#### 6.1.1.2. Modelos de Negocio de Compartición de Infraestructura entre un MNO y un MVNO:

En este escenario se analiza la viabilidad económica de dos modelos de negocio para la compartición de infraestructura entre un MNO y un MVNO, denominados *monopólico* y *estratégico*, respectivamente. En el modelo *monopólico*, el MNO provee el servicio a su propia base de usuarios como a la base de suscriptores del MVNO. Mientras que, en el modelo *estratégico*, cada operador presta servicio a

su propia base de usuarios. Los dos modelos de negocio se evalúan considerando un *Escenario Base*, en el cual, el MNO únicamente presta servicio a su propia base de usuarios a través de su red. Las características en modelo propuesto para cada escenario se evalúa desde el punto de vista del sistema y económico.

En cuanto al modelo del sistema, la red que soporta la prestación de servicios a los usuarios se modela con una cola M/M/1 con disciplina de servicio DPS, para los escenarios *monopólico* y *estratégico*. Mientras que el *Escenario Base* se modela a través de una cola con disciplina de servicio FIFO.

Con relación, al modelo económico, se modela desde el punto de vista de las utilidades de los usuarios y beneficios de los operadores. Los usuarios deciden si suscribir o no al operador que les brinda el servicio. Para ello se evalúa la utilidad de los usuarios en base a la QoS percibida y el precio ofertado por el operador correspondiente, el análisis se realiza considerando el equilibrio de Wardrop. En relación a los operadores, para cada escenario se considera que los beneficios están dados por el número de usuarios que suscribe al servicio. En el caso del escenario estratégico, se considera el pago  $\delta$  que realiza el MVNO al MNO por usuario que suscribe al servicios. En los escenarios propuestos para este modelo no se consideran los costos de inversión en los que incurren los operadores.

La viabilidad económica de modelo, se evalúa mediante un juego de dos etapas, el mismo que se resuelve mediante inducción hacia atrás. Para ello, se optimizan las funciones de utilidad de los actores del modelo de negocio en cada escenario para diferentes valores de los parámetros del modelo y se obtuvo el equilibrio de Nash, mediante el cálculo de las BR, tal como se describe en la sección 3.1.2. Y los resultados obtenidos de cada escenario propuesto, se comparan con el modelo base.

En el escenario 2 se demuestra que, los dos modelos de negocio propuestos para prestar servicio a dos bases de usuarios a través de una infraestructura común son viables económicamente. Específicamente, se demuestra que los modelos de negocio *monopólico* y *estratégico*, ofrecen incentivos a los dos operadores en comparación con el escenario base. En relación a los usuarios, el modelo de negocio *estratégico* es más deseable desde el punto de vista de los usuarios dado que un mayor número de usuarios recibe el servicio. Por otra parte, desde el punto de vista económico, el modelo de negocio *monopólico* ofrece un incentivo mayor a los operadores.

Finalmente, lo descrito proporciona una justificación para que el regulador obligue a la entrada de MVNOs en el mercado.

### **6.1.2. Trabajos futuros**

En los trabajos futuros se recomienda principalmente evaluar las funciones de utilidad de los usuarios mediante otros tipos de parámetros como por ejemplo la cobertura, el ancho de banda, entre otros, empleando la metodología propuesta con la finalidad de revalidar los resultados obtenidos.

Así mismo, el modelo utilizado es estático, por lo que se recomienda evaluar los modelos en escenarios en los cuales la población de usuarios cambie en el tiempo, es decir en modelos dinámicos, para dar mayor realismo a los modelos.

Finalmente, se deberá considerar en trabajos futuros la relación entre un MNO y varios MVNOs, para completar el análisis realizado en esta tesis.



---

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Varoutas, D. Katsianis, T. Spicopoulos, K. Stordahl, and I. Welling, “On the economics of 3g mobile virtual network operators (mvnos),” *Wireless Personal Communications*, vol. 36, no. 2, pp. 129–142, 2006.
- [2] H. Gruber, “Competition and innovation: The diffusion of mobile telecommunications in Central and Eastern Europe,” *Information Economics and policy*, vol. 13, no. 1, pp. 19–34, 2001.
- [3] M. Berne, P. Vialle, and J. Whalley, “An analysis of the disruptive impact of the entry of Free Mobile into the French mobile telecommunications market,” *Telecommunications Policy*, vol. 43, no. 3, pp. 262–277, 2019.
- [4] A. Kostopoulos, I. P. Chochliouros, and M. R. Spada, “Business Challenges for Service Provisioning in 5G Networks,” in *International Conference on Business Information Systems*. Springer, 2019, pp. 423–434.
- [5] N. B. Khalifa, A. Benhamiche, A. Simonian, and M. Bouillon, “Profit and Strategic Analysis for MNO-MVNO Partnership,” *arXiv preprint arXiv:1812.05413*, 2018.
- [6] A. Xiao, Y. Liu, Y. Li, F. Qian, Z. Li, S. Bai, Y. Liu, T. Xu, and X. Xin, “An In-depth Study of Commercial MVNO: Measurement and Optimization,” in *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 2019, pp. 457–468.
- [7] L. Zheng, J. Chen, C. Joe-Wong, C. W. Tan, and M. Chiang, “An economic analysis of wireless network infrastructure sharing,” in *2017 15th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt)*. IEEE, 2017, pp. 1–8.
- [8] L. Duan, L. Gao, and J. Huang, “Cooperative spectrum sharing: A contract-based approach,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 13, no. 1, pp. 174–187, 2012.
- [9] K. Samdanis, X. Costa-Perez, and V. Sciancalepore, “From network sharing to multi-tenancy: The 5G network slice broker,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 7, pp. 32–39, 2016.
- [10] P. Rost, A. Banchs, I. Berberana, M. Breitbach, M. Doll, H. Droste, C. Mannweiler, M. A. Puente, K. Samdanis, and B. Sayadi, “Mobile network architecture evolution toward 5G,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 84–91, 2016.

- [11] V. Tikhvinskiy, S. Terentyev, A. Aitmagambetov, and B. Nurgozhin, "Engineering and Architecture Building of 5G Network for Business Model of High Level Mobile Virtual Network Operator," in *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*, O. Galinina, S. Andreev, S. Balandin, and Y. Koucheryavy, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 495–504.
- [12] M. F. Cohen, *An introduction to logic and scientific method*. Read Books Ltd, 2011.
- [13] R. Copeland and N. Crespi, "Modelling multi-MNO business for MVNOs in their evolution to LTE, VoLTE and advanced policy," in *BMMP'11: Third International Workshop on Business Models for Mobile Platforms: Access and Competitiveness in Multi-Sided Markets*. IEEE, 2011, pp. 295–300.
- [14] C.-H. Ng and S. Boon-Hee, *Queueing modelling fundamentals: With applications in communication networks*. John Wiley & Sons, 2008.
- [15] P. Maillé and B. Tuffin, *Telecommunication network economics: from theory to applications*. Cambridge University Press, 2014.
- [16] J. Huang and L. Gao, "Wireless network pricing," *Synthesis Lectures on Communication Networks*, vol. 6, no. 2, pp. 1–176, 2013.
- [17] S. Keshav, *Mathematical foundations of computer networking*. Addison-Wesley, 2012.
- [18] T. A. Weber *et al.*, "Optimal control theory with applications in economics," *MIT Press Books*, vol. 1, 2011.
- [19] A. Sanchis-Cano, J. Romero, E. J. Sacoto-Cabrera, and L. Guijarro, "Economic feasibility of wireless sensor network-based service provision in a duopoly setting with a monopolist operator," *Sensors*, vol. 17, p. 2727, 2017.
- [20] E. J. Sacoto-Cabrera, A. Sanchis-Cano, L. Guijarro, J. R. Vidal, and V. Pla, "Strategic interaction between operators in the context of spectrum sharing for 5g networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, 2018.
- [21] E. J. Sacoto-Cabrera, L. Guijarro, J. R. Vidal, and V. Pla, "Economic feasibility of virtual operators in 5g via network slicing," *Future Generation Computer Systems*, 2020.
- [22] "Game theoretical analysis of a multi-mno mvno business model in 5g networks." *Electronics*, vol. 9, no. 6, 2020.
- [23] R. Amit and C. Zott, "Value creation in e-business," *Strategic management journal*, vol. 22, no. 6-7, pp. 493–520, 2001.
- [24] H. Chesbrough, "Business model innovation: it's not just about technology anymore," *Strategy & leadership*, 2007.
- [25] A. Osterwalder, Y. Pigneur, and C. L. Tucci, "Communications of the Association for Information Systems Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept CLARIFYING BUSINESS MODELS: ORIGINS, PRESENT, AND FUTURE OF THE CONCEPT," *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 16, no. 16, pp. 1–25, 2005. [Online]. Available: [http://aisel.aisnet.org/cais\\$delimiter"026E30F\\$nhhttp://aisel.aisnet.org/cais/vol16/iss1/1](http://aisel.aisnet.org/cais$delimiter)
- [26] J. Magretta, "Why business models matter," 2002.

- [27] C. Zott and R. Amit, "The fit between product market strategy and business model: implications for firm performance," *Strategic management journal*, vol. 29, no. 1, pp. 1–26, 2008.
- [28] "Business Model Innovation: When the Game Gets Tough, Change the Game," *Boston Consulting Group*, no. December, p. 9, 2009.
- [29] D. J. Teece, "Business models, business strategy and innovation," *Long Range Planning*, vol. 43, no. 2-3, pp. 172–194, 2010. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003>
- [30] E. J. Sacoto Cabrera *et al.*, "Análisis de los mercados de voz en el ecuador (cantón cuenca) 2006," 2009.
- [31] M. M. Buddhikot, "Understanding dynamic spectrum access: Models, taxonomy and challenges," in *2007 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*. IEEE, 2007, pp. 649–663.
- [32] A. Lillehagen, L. Armyr, T. Hauger, V. Masdal, and K. Skow, "An analysis of the MVNO business model," *Teletronikk*, vol. 97, no. 4, pp. 7–14, 2001.
- [33] S. Ulset, "Mobile virtual network operators: a strategic transaction cost analysis of preliminary experiences," *Telecommunications Policy*, vol. 26, no. 9-10, pp. 537–549, 2002.
- [34] ITU, Ed., *Reglamento de Radiocomunicaciones*, itu ed., Ginebra, 2012, vol. 6.
- [35] C. Camarán and D. De Miguel, "Mobile virtual network operator (mvno) basics," *Valoris, Madrid, Spain, Tech. Rep*, 2008.
- [36] T. Bassayiannis, "Mobile virtual network operator (mvno)," *Athens Information Technology MBIT Thesis*, 2008.
- [37] J. Lehtikoinen, P. Pont, and Y. Sent, "Virtually mobile: What drives mvno success," *Telecom, Media & High Tech Extranet*, 2014.
- [38] J. Matthews and S. Sweet, "Virtual mobile services: Strategies for fixed and mobile operators," *London, Ovum (Ovum reports)*, 2000.
- [39] K. Pousttchi and Y. Hufenbach, "Analyzing and categorization of the business model of virtual operators," in *2009 Eighth International Conference on Mobile Business*. IEEE, 2009, pp. 87–92.
- [40] A. Banerjee and C. M. Dippon, "Voluntary relationships among mobile network operators and mobile virtual network operators: An economic explanation," *Information Economics and Policy*, vol. 21, no. 1, pp. 72–84, 2009.
- [41] H. Le Cadre, M. Bouhtou, and B. Tuffin, "A pricing model for a mobile network operator sharing limited resource with a mobile virtual network operator," in *International Workshop on Internet Charging and QoS Technologies*. Springer, 2009, pp. 24–35.
- [42] J. Bae, E. Beigman, R. A. Berry, M. L. Honig, and R. Vohra, "Sequential bandwidth and power auctions for distributed spectrum sharing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, no. 7, pp. 1193–1203, 2008.
- [43] L. Guijarro, V. Pla, B. Tuffin, P. Maillé, and J. R. Vidal, "Competition and bargaining in wireless networks with spectrum leasing," in *2011 IEEE Global Telecommunications Conference-GLOBECOM 2011*. IEEE, 2011, pp. 1–6.

- [44] J. Romero and L. Guijarro, "Competition between primary and secondary operators with spectrum leasing and optimal spectrum subscription by users," in *2013 IEEE 24th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC Workshops)*. IEEE, 2013, pp. 143–147.
- [45] D. Acemoglu, K. Bimpikis, and A. Ozdaglar, "Price and capacity competition," *Games and Economic Behavior*, vol. 66, no. 1, pp. 1–26, 2009.
- [46] X. He, A. Prasad, and S. P. Sethi, "Cooperative advertising and pricing in a dynamic stochastic supply chain: Feedback stackelberg strategies," in *PICMET'08-2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology*. IEEE, 2008, pp. 1634–1649.
- [47] L. Guijarro, V. Pla, and B. Tuffin, "Entry game under opportunistic access in cognitive radio networks: a priority queue model," in *Wireless Days (WD), 2013 IFIP*. IEEE, 2013, pp. 1–6.
- [48] L. Duan, J. Huang, and B. Shou, "Competition with dynamic spectrum leasing," in *2010 IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum (DySPAN)*. IEEE, 2010, pp. 1–11.
- [49] S. Sengupta and M. Chatterjee, "An economic framework for dynamic spectrum access and service pricing," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 17, no. 4, pp. 1200–1213, 2009.
- [50] B. Kim and M. Kim, "Mvno wholesale pricing method," *Inf Commun Policy Study, KISDI, Seoul*, vol. 16, pp. 33–51, 2009.
- [51] Z. Yasir, Z. Liang, G. Carmelita, and T.-G. Andreas, "Lte mobile network virtualization exploiting multiplexing and multi-user diversity gain," *Springer Journal of Mobile Networks & Applications*, vol. 16, no. 4, pp. 424–432, 2011.
- [52] R. Kokku, R. Mahindra, H. Zhang, and S. Rangarajan, "Nvs: A substrate for virtualizing wireless resources in cellular networks," *IEEE/ACM transactions on networking*, vol. 20, no. 5, pp. 1333–1346, 2011.
- [53] M. Kalil, A. Shami, and Y. Ye, "Wireless resources virtualization in lte systems," in *2014 IEEE conference on computer communications workshops (INFOCOM WKSHPs)*. IEEE, 2014, pp. 363–368.
- [54] U. Habiba and E. Hossain, "Auction mechanisms for virtualization in 5g cellular networks: Basics, trends, and open challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2264–2293, 2018.
- [55] K. Pousttchi and Y. Hufenbach, "Analyzing and categorization of the business model of virtual operators," *2009 8th International Conference on Mobile Business*, pp. 87–92, 2009.
- [56] T. Smura, A. Kiiski, and H. Hämäläinen, "Virtual operators in the mobile industry: A techno-economic analysis," *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, vol. 8, no. 1-2, pp. 25–48, 2007.
- [57] S. Pattanavichai and W. Premchaiswadi, "Pricing models for mvne in supporting mvno investment in 3g umts network," *Proceedings - 2010 8th International Conference on ICT and Knowledge Engineering, ICT and KE 2010*, pp. 82–88, 2010.
- [58] B. W. Kim and S. U. Park, "Determination of the optimal access charge for the mobile virtual network operator system," *ETRI Journal*, vol. 26, no. 6, pp. 665–668, 2004.
- [59] G. P. R. Ser, "Lways est onnected," *Ieee Wireless Communications*, no. February, pp. 49–55, 2003.

- [60] J. Byun, B. W. Kim, C. Y. Ko, and J.-W. Byun, "4g lte network access system and pricing model for iot mvnos: spreading smart tourism," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 19, pp. 19 665–19 688, 2017.
- [61] Y. Coulibaly, G. Kaddoum, and M. F. Ahmed, "Mobile virtual network operator strategy for migration towards 4g," in *2015 International Conference on Information and Communication Technology Research (ICTRC)*. IEEE, 2015, pp. 266–269.
- [62] W. Premchaiswadi and S. Pattanavichai, "Pricing model and real options in 4g lte mobile network," in *2012 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*. IEEE, 2012, pp. 54–59.
- [63] J. Hultell, K. Johansson, and J. Markendahl, "Business models and resource management for shared wireless networks," in *IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004*, vol. 5. IEEE, 2004, pp. 3393–3397.
- [64] K. D. Shatzkamer, "Virtual mobile networking using always best connected business relationships," Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 2015.
- [65] M. Liyanage, A. Gurtov, and M. Ylianttila, "Mobile virtual network operators," 2015.
- [66] N. Alliance, "5g white paper," *Next generation mobile networks, white paper*, vol. 1, 2015.
- [67] G. Americas, "Network slicing for 5g network and services," in *Tech. Rep*, 2016.
- [68] P. Marsch, Ó. Bulakci, O. Queseth, and M. Boldi, *5G system design: architectural and functional considerations and long term research*. John Wiley & Sons, 2018.
- [69] J. Navarro-Ortiz, P. Romero-Diaz, S. Sendra, P. Ameigeiras, J. J. Ramos-Munoz, and J. M. Lopez-Soler, "A survey on 5g usage scenarios and traffic models," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2020.
- [70] P. K. Agyapong, M. Iwamura, D. Staehle, W. Kiess, and A. Benjebbour, "Design considerations for a 5g network architecture," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 11, pp. 65–75, 2014.
- [71] Y. Chen, J.-C. Guey, C. Hwang, P. Liao, G. Sébire, W. Wu, and W. Yang, "5 g modem design challenges," *5 G Technology: 3 GPP New Radio*, pp. 399–429, 2020.
- [72] A. A. Ateya, A. Muthanna, M. Makolkina, and A. Koucheryavy, "Study of 5g services standardization: specifications and requirements," in *2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [73] H. Atarashi, M. Iwamura, S. Nagata, T. Nakamura, and A. Toskala, "5 g targets and standardization," *5 G Technology: 3 GPP New Radio*, pp. 13–25, 2020.
- [74] F. Pujol, S. E. Elayoubi, J. Markendahl, and L. Salahaldin, "Mobile telecommunications ecosystem evolutions with 5g," *Communications & Strategies*, no. 102, p. 109, 2016.
- [75] I. Afolabi, T. Taleb, K. Samdanis, A. Ksentini, and H. Flinck, "Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2429–2453, 2018.
- [76] 3GPP, "Study on Architecture for Next Generation system," vol. Rel.14, Dec.2016.

- [77] P. Caballero, A. Banchs, G. De Veciana, and X. Costa-Pérez, “Network slicing games: Enabling customization in multi-tenant mobile networks,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 27, no. 2, pp. 662–675, 2019.
- [78] K. Larsen, “Network sharing fundamentals,” *Technology Business*, Jul, 2012.
- [79] T. GSMA, “Mobile infrastructure sharing,” *Report*, September, 2012.
- [80] S. A. Kazmi, L. U. Khan, N. H. Tran, and C. S. Hong, *Network Slicing for 5G and Beyond Networks*. Springer, 2019.
- [81] X. Foukas, G. Patounas, A. Elmokashfi, and M. K. Marina, “Network slicing in 5g: Survey and challenges,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 94–100, 2017.
- [82] A. Kaloxylos, “A survey and an analysis of network slicing in 5g networks,” *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 2, no. 1, pp. 60–65, 2018.
- [83] A. Ksentini and N. Nikaiein, “Toward enforcing network slicing on ran: Flexibility and resources abstraction,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 6, pp. 102–108, 2017.
- [84] L. Zheng, C. Joe-Wong, J. Chen, C. G. Brinton, C. W. Tan, and M. Chiang, “Economic viability of a virtual ISP,” in *IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications*. IEEE, 2017, pp. 1–9.
- [85] A. A. Barakabitze, A. Ahmad, R. Mijumbi, and A. Hines, “5g network slicing using sdn and nfv: A survey of taxonomy, architectures and future challenges,” *Computer Networks*, vol. 167, p. 106984, 2020.
- [86] D. S. Michalopoulos, M. Doll, V. Sciancalepore, D. Bega, P. Schneider, and P. Rost, “Network slicing via function decomposition and flexible network design,” in *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [87] M. Chiosi *et al.*, “Network functions virtualisation—introductory white paper. sdn and openflow world congress. october 22–24, 2012, darmstadt, germany.”
- [88] 3GPP, “Study on management and orchestration of network slicing for next generation network,” vol. Rel.14, Jan.2018.
- [89] N. Alliance, “Description of network slicing concept,” *NGMN 5G P*, vol. 1, p. 1, 2016.
- [90] NGNM, “Description of Network Slicing Concept, ngmn 5G P1 Requirements & Architecture, Work Stream End-to-End Architecture, Version 1.0,,” Jan.2016.
- [91] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, and R. Boutaba, “Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges,” *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 236–262, 2015.
- [92] O. N. Foundation, “Sdn,” Accedido en 04-04-2010 a url<https://www.opennetworking.org>, 2018.
- [93] E. Haleplidis, K. Pentikousis, S. Denazis, J. H. Salim, D. Meyer, and O. Koufopavlou, “Software-defined networking (sdn): Layers and architecture terminology,” in *RFC 7426*. IRTF, 2015.

- [94] S. A. Kazmi, N. H. Tran, T. M. Ho, and C. S. Hong, "Hierarchical matching game for service selection and resource purchasing in wireless network virtualization," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 1, pp. 121–124, 2017.
- [95] T. M. Ho, N. H. Tran, S. A. Kazmi, Z. Han, and C. S. Hong, "Wireless network virtualization with non-orthogonal multiple access," in *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. IEEE, 2018, pp. 1–9.
- [96] Q. Zhang, L. Gui, F. Tian, and F. Sun, "A caching-based incentive mechanism for cooperative data offloading," in *2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*. IEEE, 2017, pp. 1376–1381.
- [97] 3GPP, "Study on Radio Access Network (RAN) Sharing Enhancements," Jun.2017.
- [98] L. Wang, Z. Lu, X. Wen, R. Knopp, and R. Gupta, "Joint optimization of service function chaining and resource allocation in network function virtualization," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 8084–8094, 2016.
- [99] L. U. Khan, I. Yaqoob, N. H. Tran, Z. Han, and C. S. Hong, "Network slicing: Recent advances, taxonomy, requirements, and open research challenges," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 36 009–36 028, 2020.
- [100] 3GPP, "Study on new services and markets technology enablers, rel.14, march, (2016e)," vol. Rel.14, March.2016.
- [101] C. J. Bernardos, O. Dugeon, A. Galis, D. Morris, C. Simon, and R. Szabó, "5g exchange (5gex)-multi-domain orchestration for software defined infrastructures," *focus*, vol. 4, no. 5, p. 2, 2015.
- [102] M. Jiang, M. Condoluci, and T. Mahmoodi, "Network slicing management & prioritization in 5g mobile systems," in *European Wireless 2016; 22th European Wireless Conference*. VDE, 2016, pp. 1–6.
- [103] X. Li, M. Samaka, H. A. Chan, D. Bhamare, L. Gupta, C. Guo, and R. Jain, "Network slicing for 5g: Challenges and opportunities," *IEEE Internet Computing*, vol. 21, no. 5, pp. 20–27, 2017.
- [104] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J. J. Ramos-Munoz, J. Lorca, and J. Folgueira, "Network slicing for 5g with sdn/nfv: Concepts, architectures, and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80–87, 2017.
- [105] Postscapes, "Smart city infographic," [urlhttps://www.postscapes.com/anatomy-of-a-smart-city/](https://www.postscapes.com/anatomy-of-a-smart-city/), 2019.
- [106] J. F. Gomes, P. Ahokangas, and S. Moqaddamerad, "Business modeling options for distributed network functions virtualization: Operator perspective," in *European Wireless 2016; 22th European Wireless Conference*. VDE, 2016, pp. 1–6.
- [107] Y. Zhu, H. Yu, R. A. Berry, and C. Liu, "Cross-Network Prioritized Sharing: An Added Value MVNO?s Perspective," in *IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications*. IEEE, 2019, pp. 1549–1557.
- [108] M. H. Lotfi and S. Sarkar, "The economics of competition and cooperation between MNOs and MVNOs," in *2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.

- [109] C. Li, J. Li, Y. Li, and Z. Han, "Price and Spectrum Inventory Game for MVNOs in Wireless Virtualization Communication Markets," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. IEEE, 2018, pp. 1–7.
- [110] P. H. Son, S. Jha, R. Kumar, J. M. Chatterjee *et al.*, "Governing mobile Virtual Network Operators in developing countries," *Utilities Policy*, vol. 56, pp. 169–180, 2019.
- [111] P. Lambert, "What 5G hype gets wrong," *IEEE Spectrum*, IEEE Spectrum, 3 Park Ave., 17th Floor, New York, Tech. Rep. 3, 3 2020, crossTalk.
- [112] M. Jiang, M. Condoluci, and T. Mahmoodi, "Network slicing in 5g: An auction-based model," in *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [113] C. Liang and F. R. Yu, "Wireless network virtualization: A survey, some research issues and challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 358–380, 2014.
- [114] S. Dráxler, H. Karl, M. Peuster, H. R. Kouchaksaraei, M. Bredel, J. Lessmann, T. Soenen, W. Tavernier, S. Mendel-Brin, and G. Xilouris, "Sonata: Service programming and orchestration for virtualized software networks," in *2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*. IEEE, 2017, pp. 973–978.
- [115] K. Katsalis, N. Nikaein, E. Schiller, R. Favraud, and T. I. Braun, "5g architectural design patterns," in *2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*. IEEE, 2016, pp. 32–37.
- [116] E. J. Kitindi, S. Fu, Y. Jia, A. Kabir, and Y. Wang, "Wireless network virtualization with sdn and c-ran for 5g networks: Requirements, opportunities, and challenges," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 19 099–19 115, 2017.
- [117] A. A. Gebremariam, M. Chowdhury, M. Us, A. Goldsmith, and F. Granelli, "Softslice: Policy-based dynamic spectrum slicing in 5g cellular networks," in *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [118] S. O. Oladejo and O. E. Falowo, "5g network slicing: A multi-tenancy scenario," in *2017 Global Wireless Summit (GWS)*. IEEE, 2017, pp. 88–92.
- [119] Y. Sun, G. Feng, L. Zhang, M. Yan, S. Qin, and M. A. Imran, "User access control and bandwidth allocation for slice-based 5g-and-beyond radio access networks," in *ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [120] F. Song, J. Li, C. Ma, Y. Zhang, L. Shi, and D. N. K. J. Li, "Dynamic virtual resource allocation for 5g and beyond network slicing," *arXiv preprint arXiv:2004.00506*, 2020.
- [121] Y. K. Tun, N. H. Tran, D. T. Ngo, S. R. Pandey, Z. Han, and C. S. Hong, "Wireless network slicing: Generalized kelly mechanism-based resource allocation," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 37, no. 8, pp. 1794–1807, 2019.
- [122] S. Gendy and Y. Gadallah, "Lte-based network virtualization schemes adaptation for m2m deployments," in *2019 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*. IEEE, 2019, pp. 1–3.
- [123] X. Li, R. Ni, J. Chen, Y. Lyu, Z. Rong, and R. Du, "End-to-end network slicing in radio access network, transport network and core network domains," *IEEE Access*, 2020.

- [124] P. Naor, "The regulation of queue size by levying tolls," *Econometrica: journal of the Econometric Society*, pp. 15–24, 1969.
- [125] M. Mandjes, "Pricing strategies under heterogeneous service requirements," *Computer Networks*, vol. 42, no. 2, pp. 231–249, 2003.
- [126] Y. Hayel, D. Ros, and B. Tuffin, "Less-than-best-effort services: Pricing and scheduling," in *IEEE INFOCOM 2004*, vol. 1. IEEE, 2004.
- [127] Y. Hayel and B. Tuffin, "Pricing for heterogeneous services at a discriminatory processor sharing queue," in *International Conference on Research in Networking*. Springer, 2005, pp. 816–827.
- [128] G. Allon and A. Federgruen, "Service competition with general queueing facilities," *Operations Research*, vol. 56, no. 4, pp. 827–849, 2008.
- [129] R. Hassin and M. Haviv, *To queue or not to queue: Equilibrium behavior in queueing systems*. Springer Science & Business Media, 2003, vol. 59.
- [130] R. Hassin, *Rational queueing*. CRC press, 2016.
- [131] L. Guijarro, M. Naldi, V. Pla, and J. R. Vidal, "Pricing of wireless sensor data on a centralized bundling platform," in *2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT)*. IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [132] A. Sanchis-Cano, L. Guijarro, V. Pla, and J. R. Vidal, "Duopoly provision of services based on wireless sensor-supplied data: a differential game model," *Mobile Networks and Applications*, pp. 1–11.
- [133] J. Romero, A. Sanchis-Cano, and L. Guijarro, "Dynamic price competition between a macrocell operator and a small cell operator: A differential game model," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, 2018.
- [134] A. Sanchis-Cano, L. Guijarro, and M. Condoluci, "Dynamic capacity provision for wireless sensorsâ connectivity: A profit optimization approach," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, no. 4, p. 1550147718772544, 2018.
- [135] L. Guijarro, J. R. Vidal, V. Pla, and M. Naldi, "Economic analysis of a multi-sided platform for sensor-based services in the internet of things," *Sensors*, vol. 19, no. 2, p. 373, 2019.
- [136] L. Guijarro, V. Pla, J. R. Vidal, and M. Naldi, "Competition in data-based service provision: Nash equilibrium characterization," *Future Generation Computer Systems*, vol. 96, pp. 35–50, 2019.
- [137] H. R. Varian, E. Rabasco, and L. Toharia, *Microeconomía intermedia: un enfoque actual*. Antoni Bosch Barcelona, 2010, no. HB171. V37 1996.
- [138] P. Naor, "The regulation of queue size by levying tolls," *Econometrica: journal of the Econometric Society*, pp. 15–24, 1969.
- [139] J. W. Cohen and A. Browne, *The single server queue*. North-Holland Amsterdam, 1982, vol. 8.
- [140] R. B. Cooper, "Queueing theory," in *Proceedings of the ACM'81 conference*, 1981, pp. 119–122.
- [141] S. S. Reynolds, "Capacity investment, preemption and commitment in an infinite horizon model," *International Economic Review*, pp. 69–88, 1987.

- [142] M. J. Osborne *et al.*, *An introduction to game theory*. Oxford university press New York, 2004, vol. 3.
- [143] E. N. Barron, *Game theory: an introduction*. John Wiley & Sons, 2013, vol. 2.
- [144] L. Guijarro, J. R. Vidal, and V. Pla, “Competition in service provision between slice operators in 5g networks,” *Electronics*, vol. 7, no. 11, p. 315, 2018.
- [145] M. Maschler, E. Solan, and S. Zamir, “Game theory (translated from the hebrew by ziv hellman and edited by mike borns),” *Cambridge University Press, Cambridge*, pp. xxvi, vol. 979, p. 4, 2013.
- [146] N. Bonneau, M. Debbah, E. Altman, and A. Hjórungnes, “Non-atomic games for multi-user systems,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, no. 7, pp. 1047–1058, 2008.
- [147] R. J. Aumann and L. S. Shapley, *Values of non-atomic games*. Princeton University Press, 2015.
- [148] J. G. Wardrop, “Some theoretical aspects of road traffic research,” in *Inst Civil Engineers Proc London/UK*, 1952.
- [149] A. K. Dixit and S. Skeath, *Games of Strategy: Fourth International Student Edition*. WW Norton & Company, 2015.
- [150] R. Hassin and M. Haviv, *To queue or not to queue: Equilibrium behavior in queueing systems*. Springer Science & Business Media, 2003, vol. 59.
- [151] P. Reichl, B. Tuffin, and R. Schatz, “Logarithmic laws in service quality perception: where microeconomics meets psychophysics and quality of experience,” *Telecommunication Systems*, vol. 52, no. 2, pp. 587–600, 2013.

---

# GLOSARIO DE TÉRMINOS

Fourth-Generation Networks-4G	<i>Redes de Cuarta Generación. I, II, III, IV, V, VI, 1, 2, 3, 5, 8, 11, 12, 23, 101</i>
Fifth-Generation Networks-5G	<i>Redes de Quinta Generación. I, II, III, IV, V, VI, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 31, 68, 101</i>
Mobile Virtual Network Operators-MVNOs	<i>Operadores Móviles Virtuales. I, II, III, IV, V, VI, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 45, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 73, 76, 89, 93, 97, 99, 101, 102</i>
Mobile Network Operators-MNOs	<i>Operadores Móviles de Red. I, II, III, IV, V, VI, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 68, 73, 76, 84, 97, 99, 101, 102, 103</i>
Discriminatory Processor Sharing-DPS	<i>Compartición Discriminatoria del Servidor. I, II, V, 22, 32, 33, 34, 58, 59, 69, 71, 72, 74, 103</i>
Third-Generation Networks-3G	<i>Redes de Tercera Generación. I, 5, 8, 11, 12, 14, 17</i>
Quality of Service-QoS	<i>Calidad de Servicio. 2, 11, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 22, 25, 26, 30, 31, 32, 58, 59, 68, 72, 74, 86, 101, 102, 103</i>
Multi-MNOs	<i>Múltiples MNOs. 4, 5, 11, 20, 21, 23, 29, 31, 32, 34, 36, 39, 45, 16, 52, 53, 54, 55, 56, 102</i>
Network Slicing-NS	<i>División de Red. 7, 14, 15, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 32, 33, 54, 101</i>



---

# NOMENCLATURA

## Términos Comunes

*	Todos los símbolos con * representan el valor de tales símbolos en el caso óptimo/equilibrio
$\lambda_i$	Tasa media de llegada al servicio $i$
$T_i$	Tiempo medio de servicio en la cola $i$
$Q_i$	Calidad del Servicio percibida por los usuarios
$c$	Factor de conversión a unidades monetarias
$U_i$	Utilidad de los usuarios al elegir la estrategia $i$
$\Pi$	Beneficios de los operadores o proveedores de servicios
$p_i$	Precio cobrado por el operador de la red $i$ a los usuarios de su servicio de conectividad

## Escenario 1

$\mu_i$	Capacidad de red de los MNOs
$\alpha_i$	Factor de división del tráfico del MVNO
$p$	Precio cobrado por el MVNO a los usuarios
$u_m$	Utilidad de los usuarios del MVNO al elegir la estrategia $i$
$\delta$	Tarifa pagada por el MVNO a los MNOs
$K_i$	Constante del costo unitario de adquisición de los MNOs
$q$	Parámetro de ajuste de costos de los MNOs
$\Pi_m$	Beneficios del MVNO
$\Pi_i$	Beneficios de los MNOs en el modelo de negocio Multi-MNO

$K_0$	Constante del costo unitario de adquisición de los operadores móviles de red en el modelo de negocio de un solo-MNO
$q_0$	Parámetro de ajuste de costos
$\Pi_{m0}$	Beneficios del operador MVNO en el modelo de negocio de un solo-MNO
$\Pi_0$	Beneficios del MNO en el modelo de negocio de un solo-MNO

### **Escenario 2**

$\lambda_d$	Tasa media de paquetes por usuario
$n_1$	Número de suscriptores del MNO
$n_2$	Número de suscriptores del MVNO
$\gamma$	Prioridad del MVNO
$\alpha_i$	Sensibilidad del usuario al retraso del servicio de los operadores $i$
$\hat{p}_i$	Umbral superior del precio $p_i$ para garantizar la prestación de servicio de los operadores
$\Pi_m$	Beneficio del MNO en el modelo de negocio monopolístico
$\Pi_i$	Beneficio de los MNOs en el modelo de negocio estratégico