
ÍNDICE GENERAL

Resumen	I
Abstract	V
Resum	VII
Índice de tablas	XV
Índice de figuras	XVII
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodología	3
1.4. Herramientas	3
1.5. Contexto	4
1.6. Publicaciones	4
1.7. Estructura de la tesis	5
2. Estado del Arte	7

2.1. Evolución de las telecomunicaciones	8
2.2. Modelos de negocio	9
2.2.1. Modelos de negocio en redes 4G	10
2.3. Redes 5G	11
2.3.1. Network slicing	14
2.3.2. Modelos de negocio en redes 5G	18
2.4. Análisis económico de distintos modelos de negocio para servicios URLLC y eMBB/mMTC	23
2.5. Conclusiones	25
3. Escenarios y modelos para la prestación de los servicios URLLC y eMBB/mMTC sobre una red 5G	27
3.1. Aspectos generales	28
3.1.1. Escenarios	28
3.1.2. Modelo de red	28
3.1.3. Modelos de negocio	29
3.1.4. Juego	30
3.1.5. Óptimo social	32
3.2. Descripción de escenarios y modelos para la prestación de servicios URLLC y eMBB	32
3.2.1. Modelo del sistema	33
3.2.2. Modelo económico	33
3.2.3. Juego estratégico	35
3.2.4. Óptimo social	38
3.3. Análisis de los escenarios y modelos para la prestación de servicios URLLC y eMBB	41
3.3.1. Análisis de la Etapa II	41
3.3.2. Análisis de la Etapa I	45
3.4. Descripción de escenarios y modelos para la prestación de servicios URLLC y mMTC	48
3.4.1. Modelo del sistema	48

3.4.2.	Modelo económico	49
3.4.3.	Juego	51
3.4.4.	Óptimo social	54
3.5.	Análisis de los escenarios y modelos para la prestación de los servicios URLLC y mMTC	58
3.5.1.	Análisis de la Etapa II	58
3.5.2.	Análisis de la Etapa I	62
4.	Resultados de los escenarios y modelos propuestos	67
4.1.	Resultados de la prestación de los servicios URLLC y eMBB sobre una red 5G	67
4.1.1.	Integrado	68
4.1.2.	Especializado	71
4.1.3.	Comparación de los modelos de negocio con el óptimo social	74
4.1.4.	Conclusiones	77
4.2.	Resultados de la prestación de los servicios URLLC y mMTC sobre una red 5G	77
4.2.1.	Modelo de negocio Integrado	78
4.2.2.	Modelo de negocio Especializado	81
4.2.3.	Comparación de los modelos en el escenario NS	83
4.2.4.	Conclusiones	85
5.	Conclusiones y trabajos futuros	87
5.1.	Conclusiones	87
5.1.1.	Principales contribuciones	88
5.1.2.	Trabajos futuros	90
	Bibliografía	93
	Términos y Abreviaturas	103
	Nomenclatura	107

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Notación general.	30
3.2. Precios inducidos por n_{us}^o y λ_{es}^o el escenario SN.	41
3.3. Precios inducidos por n_{un}^o y λ_{en}^o el escenario NS.	41
3.4. Precios inducidos por n_{us}^o y n_{ms}^o el escenario SN.	57
3.5. Precios inducidos por n_{un}^o y n_{mn}^o el escenario NS.	57
3.6. Equilibrio de Wardrop para la suscripción de usuarios URLLC y mMTC en el escenario SN.	61
3.7. Equilibrio de Wardrop para la suscripción de usuarios URLLC y mMTC en el escenario NS.	62
4.1. Valores de parámetros para los servicios URLLC y eMBB.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. QoS en la red 5G.	12
2.2. Marco genérico de propuestas de la arquitectura 5G.	15
3.1. Modelo M/M/1.	29
3.2. Modelos de negocio y escenarios.	30
3.3. Notación específica.	31
3.4. Descripción del juego.	32
3.5. Modelo del sistema para la provisión de los servicios URLLC y eMBB.	33
3.6. SW_s^o en el escenario SN para los servicios URLLC y eMBB.	40
3.7. SW_n^o en el escenario NS para los servicios URLLC y eMBB.	40
3.8. Regiones de equilibrio de Wardrop en el escenario SN para los servicios URLLC y eMBB.	43
3.9. Regiones de equilibrio de Wardrop en el escenario NS para los servicios URLLC y eMBB.	44
3.10. Mejores respuestas (BRs) en el escenario SN para los operadores URLLC y eMBB.	46
3.11. Mejores respuestas (BRs) en el escenario NS para los operadores URLLC y eMBB.	47
3.12. Modelo del sistema para la provisión de los servicios URLLC y mMTC.	49
3.13. SW_s^o en el escenario SN para los servicios URLLC y mMTC.	56
3.14. SW_n^o en el escenario NS para los servicios URLLC y mMTC.	56
3.15. Regiones de equilibrio de Wardrop en el escenario SN para los servicios URLLC y mMTC.	59

3.16. Regiones de equilibrio de Wardrop en el escenario NS para los servicios URLLC y mMTC.	61
3.17. Mejores respuestas (BRs) en el escenario SN para los operadores URLLC y mMTC.	64
3.18. Mejores respuestas (BRs) en el escenario NS para los operadores URLLC y mMTC.	65
4.1. $\Lambda_{es}^i, \Lambda_{us}^i, \Lambda_{en}^i$, y Λ_{un}^i en función de μ .	68
4.2. $p_{es}^i, p_{us}^i, p_{en}^i$, y p_{un}^i en función de μ .	69
4.3. Π_s^i y Π_n^i en función de μ .	69
4.4. CS_s^i y CS_n^i en función de μ .	70
4.5. SW_s^i y SW_d^i en función de μ .	70
4.6. $\Lambda_{es}^e, \Lambda_{us}^e, \Lambda_{en}^e$ y Λ_{un}^e en función de μ .	71
4.7. $p_{es}^e, p_{us}^e, p_{en}^e$ y p_{un}^e en función de μ .	72
4.8. Π_s^e y Π_n^e en función de μ .	72
4.9. CS_s^e y CS_n^e en función de μ .	73
4.10. SW_s^e y SW_d^e en función de μ .	73
4.11. SW_n^i, SW_n^e y SW_n^o en función de μ .	74
4.12. $\Lambda_{en}^i, \Lambda_{un}^i, \Lambda_{en}^e, \Lambda_{un}^e, \Lambda_{en}^o$ y Λ_{un}^o en función de μ .	75
4.13. $p_{en}^i, p_{un}^i, p_{en}^e, p_{un}^e, p_{en}^o$ y p_{un}^o en función de μ .	75
4.14. CS_n^i, CS_n^e y CS_n^o en función de μ .	76
4.15. Π_n^i, Π_n^e y Π_n^o en función de μ .	76
4.16. Precios de los servicios URLLC y mMTC en función de μ (Integrado).	78
4.17. Número de usuarios URLLC y mMTC en función de μ , donde $n_{ms}^i = 0$ (Integrado).	79
4.18. Beneficio del operador en función de μ (Integrado).	80
4.19. Bienestar social en función de μ (Integrado).	80
4.20. Comparación de precios en el escenario NS.	81
4.21. Comparación del número de usuarios en el escenario NS.	82
4.22. Comparación del beneficio total en el escenario NS.	82
4.23. Comparación del bienestar social en el escenario NS.	84