

# Índice general

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Sistemas de reintentos, introducción a su modelado y resolución</b>	<b>7</b>
2.1	Estructura de un sistema de reintentos . . . . .	9
2.2	Resolución de sistemas de reintentos . . . . .	16
2.2.1	Modelos aproximados . . . . .	16
2.2.2	Métodos matemáticos . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Aproximaciones</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Modelos Truncados</b>	<b>27</b>
4.1	Antecedentes . . . . .	27
4.2	<i>Finite Model</i> , FM . . . . .	31
4.2.1	Escenario . . . . .	32
4.2.2	Modelo aproximado de Marsan et al [MCL <sup>+</sup> 01] . . . . .	36
4.2.3	Desarrollo matemático del modelo FM . . . . .	42
4.2.4	Evaluación numérica . . . . .	49
4.2.5	Conclusiones . . . . .	59

<b>5 Modelos truncados generalizados</b>	<b>61</b>
5.1 Antecedentes . . . . .	62
5.1.1 Modelo de Falin [Fal83] . . . . .	62
5.1.2 Modelo de Artalejo y Pozo [AP02] . . . . .	65
5.1.3 Modelo de Neuts y Rao [NR90] . . . . .	70
5.2 LM: modelo de limitación del espacio de estados . . . . .	72
5.2.1 Escenario . . . . .	73
5.2.2 Modelo LM . . . . .	74
5.3 HM: modelos de homogeneización . . . . .	80
5.3.1 Modelo HM1 . . . . .	85
5.3.2 Modelo HM2 . . . . .	86
5.4 Análisis comparativo . . . . .	86
5.4.1 Conclusiones . . . . .	89
<b>6 Evaluación de prestaciones</b>	<b>91</b>
6.1 Escenario con impaciencia, $P_i \neq 0$ . . . . .	91
6.2 Escenario sin impaciencia, $P_i = 0$ . . . . .	100
6.3 Conclusiones . . . . .	106
<b>7 Otros modelos</b>	<b>109</b>
7.1 Markov Decision Process, MDP . . . . .	110
7.1.1 MDP discreto y políticas de decisión . . . . .	110
7.1.2 Valores relativos asociados a una política dada $\alpha$ . . . . .	112
7.1.3 Ecuaciones de Howard para el caso de tiempo continuo . . . . .	115
7.2 Value Extrapolation . . . . .	118
7.3 Análisis comparativo . . . . .	122

7.3.1	Elección de la función de ajuste . . . . .	123
7.3.2	Comparación con otros métodos . . . . .	124
7.4	Conclusiones . . . . .	126
<b>8</b>	<b>Sistemas de reintentos en redes celulares</b>	<b>127</b>
8.1	Reintentos en redes móviles celulares . . . . .	129
8.2	Modelo del sistema . . . . .	131
8.2.1	Naturaleza determinista de los reintentos automáticos . . . . .	134
8.3	Resolución sistemas de dos órbitas . . . . .	136
8.3.1	Precisión del modelo desarrollado . . . . .	141
8.4	Impacto de los reintentos en una red de comunicaciones . . . . .	143
8.4.1	Escenario de movilidad alta . . . . .	144
8.4.2	Escenario de movilidad baja . . . . .	148
8.4.3	Conclusiones . . . . .	151
<b>9</b>	<b>Sistemas de reintentos en la carecterización de aplicaciones</b>	<b>153</b>
9.1	RA: Política de adaptación de tasas . . . . .	156
9.1.1	Esquema de control de admisión . . . . .	158
9.1.2	Inclusión de la política de adaptación de tasas . . . . .	167
9.2	Mecanismo de Control de Admisión para tráfico elástico . . . . .	172
9.3	Conclusiones . . . . .	176
<b>10</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>179</b>
	<b>Apéndices</b>	<b>185</b>
<b>A</b>	<b>Abreviaturas y acrónimos</b>	<b>185</b>

<b>B</b>	<b>Notación, variables y parámetros más utilizados</b>	<b>187</b>
<b>C</b>	<b>Expresiones matemáticas y esquemas de funcionamiento</b>	<b>191</b>
C.1	Método de Bright y Taylor . . . . .	191
C.2	Métodos matemáticos para la resolución de QBDs . . . . .	194
C.2.1	Algoritmo Propuesto por Gaver et Al [GJL84]. . . . .	194
C.2.2	Algoritmo Propuesto por Servi [Ser02] . . . . .	195
C.3	Value Extrapolation. Función de extrapolación . . . . .	199
C.3.1	Ejemplos . . . . .	201
C.4	Cálculo de los parámetros para el modelo de dos órbitas . . . . .	202
C.5	Esquema de control de admisión dinámico . . . . .	207
<b>D</b>	<b>Publicaciones</b>	<b>211</b>
D.1	Relacionadas con la tesis . . . . .	211
D.1.1	Capítulo de libro . . . . .	211
D.1.2	Revista . . . . .	211
D.1.3	Congreso . . . . .	214
D.2	Otras publicaciones . . . . .	216
D.2.1	Congreso . . . . .	216
<b>E</b>	<b>Ámbito de la Tesis</b>	<b>217</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>219</b>

## Índice de figuras

2.1	Estructura general de una cola de reintentos. . . . .	9
2.2	Modelo básico de sistema de reintentos. . . . .	11
2.3	Diagrama de transiciones del modelo básico. . . . .	12
2.4	Tipos de procesos <i>QBD</i> . . . . .	18
3.1	Escenario descrito en [GW87] . . . . .	24
4.1	Escenario descrito en [FR79] . . . . .	29
4.2	Modelo sistema de reintentos con población finita. . . . .	33
4.3	Diagrama de transiciones del sistema finito. . . . .	34
4.4	Diagrama de transiciones para el modelo de Marsan et al. . . . .	37
4.5	Evaluación del modelo de Marsan et al. . . . .	43
4.6	Diagrama de transiciones del modelo FM. . . . .	45
4.7	FM: Error relativo en $P_b$ y $P_{si}$ . . . . .	51
4.8	FM: Error relativo en $P_{sd}$ y $P_{ns}$ . . . . .	52
4.9	Coste computacional para diferentes algoritmos. . . . .	55
4.10	Alg. Servi: coste del modelo aproximado frente al exacto. . . . .	56
4.11	Error en las probabilidades de servicio respecto a la tolerancia. . . . .	58

4.12	Coste computacional para diferentes tolerancias. . . . .	59
5.1	Diagrama de transiciones del modelo de Falin. . . . .	63
5.2	Diagrama de transiciones del modelo de Artalejo y Pozo [AP02]	67
5.3	Diagrama de transiciones del modelo de Neuts y Rao . . . . .	70
5.4	Modelo del sistema infinito. . . . .	73
5.5	Diagrama de transiciones del modelo Agrupado . . . . .	75
5.6	Agrupación de estados . . . . .	75
5.7	Diagrama de transiciones de los modelos HM. . . . .	82
6.1	Evolución del error relativo con $Q$ . . . . .	93
6.2	Coste computacional para los diferentes modelos desarrollados.	99
6.3	Coste computacional para los diferentes modelos cuando $P_j = 0$ .	104
6.4	Tiempo de ejecución para determinadas precisiones. . . . .	107
7.1	Diagrama de transiciones del modelo VE. . . . .	119
7.2	Modelo truncado para Value Extrapolation. . . . .	121
7.3	Error relativo para $P_b$ en función del tiempo de cálculo. . . . .	126
8.1	Modelo sistema de reintentos con dos órbitas. . . . .	132
8.2	Comparación distribución geométrica con determinista. . . . .	137
8.3	Precisión del modelo de dos órbitas. . . . .	142
8.4	Modelo sin órbita de remarcados. . . . .	144
8.5	Redimensionado para el modelo sin remarcados ( $\lambda_{red} = 0$ ). . .	146
8.6	Redimensionado para el modelo simplificado ( $\lambda_{red} = \mu_{red}N_{red}$ )	149
8.7	Mod. Sin remarcados: C necesario para cumplir objetivos. . . .	150
8.8	Mod. simplificado: C necesario para cumplir objetivos. . . . .	150

9.1	Esquema del control de admisión dinámico . . . . .	161
9.2	Diagrama de transiciones del control de admisión dinámico. . .	164
9.3	$P_{b_i}$ cuando utilizamos el control de admisión dinámico. . . . .	166
9.4	Variación de $P_{b_i}$ cuando se aplica la política RA. . . . .	171
9.5	Trafico degradado y no-degradado cuando se aplica RA. . . . .	172
9.6	Probabilidad de abandono del tráfico elástico . . . . .	176
C.1	Diagrama de transiciones para el algoritmo de Servi. . . . .	196
C.2	Mecanismo de control de admisión dinámico . . . . .	208
C.3	Algoritmo de ajuste del control de admisión dinámico . . . . .	209

## Índice de tablas

4.1	Valores para los parámetros del sistema finito. . . . .	42
4.2	Probabilidades de servicio al variar la población del sistema . .	53
5.1	$Q$ necesario para garantizar un $\epsilon < 10^{-4}$ en la $P_b$ calculada. . .	87
5.2	tiempo (s) para garantizar un $\epsilon < 10^{-4}$ en la $P_b$ . . . . .	88
6.1	Estimaciones de $P_b$ y $N_{ret}$ . . . . .	95
6.2	$Q$ mínima para obtener $\epsilon \leq 10^{-4}$ en $P_b$ y $N_{ret}$ . . . . .	96
6.3	$Q$ mínima para obtener $\epsilon \leq 10^{-4}$ en $P_{sd}$ y $P_{ns}$ . . . . .	97
6.4	Error relativo de $P_b$ para modelos de precisión fija. . . . .	101
6.5	$Q$ mínima para obtener $\epsilon \leq 10^{-4}$ en $P_b$ cuando $P_i = 0$ . . . . .	103
6.6	Tiempo de cálculo (s) para obtener $\epsilon \leq 10^{-4}$ en $P_b$ con $P_i = 0$ . .	105
7.1	Definición de la función de coste utilizada por VE. . . . .	122
7.2	Orden del polinomio de extrapolación del modelo VE. . . . .	123
7.3	Modelo VE. $Q$ mínima para asegurar $\epsilon \leq 10^{-4}$ en $P_b$ . . . . .	124
7.4	Modelo VE. Tiempo de resolución para la $Q$ mínima. . . . .	125
8.1	Tasas de transición del modelo FM en el sistema de 2 órbitas. .	138



9.1 Tasas de transición. Estado actual  $\mathbf{x} = (n^n, n^h, l^n, l^h)$ . . . . . 165