

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos y Alcances	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.2.3. Alcances y Limitaciones	2
2. Marco Teórico	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Tercera generación	3
2.2.1. Red de acceso: UTRAN	5
2.2.2. Interfaces de UTRAN	6
2.2.3. Red CORE	6
2.2.4. Interfaz radio	8
2.2.5. HSPA y HSPA+	10
2.2.5.1. HSDPA	10
2.2.5.2. HSUPA	11
2.2.5.3. HSPA+	11
2.3. Cuarta generación: LTE	13
2.3.1. Red de acceso: E-UTRAN	14
2.3.2. Interfaces en la red de acceso	15
2.3.3. Protocolos E-UTRAN	16
2.3.3.1. NAS: Non Access Stratum	17
2.3.3.2. RCC: Radio Resource Control	17
2.3.3.3. PDCP: Packet Data Convergence Protocol	17
2.3.3.4. RLC: Radio Link Control	17
2.3.3.5. MAC: Medium Access Control	18
2.3.4. Red CORE: EPC e IMS	18
2.3.5. Interfaces en la red CORE	20
2.3.6. Canales en LTE	22
2.4. Capa Física en LTE	23
2.4.1. OFDM: Multiplexación por división de frecuencias ortogonales	23
2.4.2. Técnicas de Acceso Múltiple	24
2.4.2.1. OFDMA	24
2.4.2.2. SC-FDMA	25
2.4.3. Resource Blocks y Estructura de Tramas	25
2.4.4. MIMO: Multiple Input Multiple Output	27

2.5.	Quinta generación	29
2.6.	Indicadores de rendimiento : KPI	30
2.6.1.	Calidad de servicio: QoS	30
2.7.	Machine Learning	32
2.7.1.	Esquema de modelos y datos	32
2.7.2.	Tipos de aprendizaje de máquinas	33
2.7.2.1.	Aprendizaje supervisado	33
2.7.2.2.	Aprendizaje no supervisado	34
2.7.2.3.	Aprendizaje reforzado	35
2.7.3.	Técnicas de clasificación	36
2.7.3.1.	KNN: K nearest neighbour	36
2.7.3.2.	SVM: Support Vector Machine	37
2.7.3.3.	Árboles de decisión: Gradient Boosting	39
2.7.4.	Técnicas de regresión	40
2.7.4.1.	Regresión lineal	40
2.7.4.2.	Redes neuronales: Deep learning	41
2.7.5.	Validación de error y métricas	45
2.7.5.1.	Métricas de clasificación	45
2.7.5.2.	Métricas de regresión	47
3.	Metodología	49
3.1.	Dimensionamiento de red LTE Entel	49
3.1.1.	Zona geográfica	49
3.1.2.	Selección de clusters	51
3.1.2.1.	Datos utilizados	52
3.1.2.2.	Criterio de selección: Volumen	52
3.1.2.3.	Criterio de selección: Perfil de usuario	53
3.1.2.4.	Criterio de selección: Rendimiento del cluster	54
3.1.2.5.	Criterio de selección: Variabilidad en curvas de throughput	56
3.1.2.6.	Criterio de selección: Zona geográfica	57
3.1.2.7.	Clusters seleccionados	58
3.2.	Metodología para aprendizaje de máquinas	59
3.2.1.	Modelo: Datos	60
3.2.2.	Modelo: Clasificación	61
3.2.2.1.	Clasificación: Procesamiento de datos	61
3.2.2.2.	Clasificación: Métricas de evaluación	62
3.2.3.	Modelo: Filtro de celdas según KPI	63
3.2.4.	Modelo: Regresión	63
3.2.4.1.	Regresión: Procesamiento de datos	63
3.2.4.2.	Regresión: Métricas de evaluación	64
4.	Resultados y análisis	65
4.1.	Algoritmo de regresión	65
4.1.1.	Regresión: Primera configuración	65
4.1.2.	Regresión: Segunda configuración	70
4.1.2.1.	Muestreo cada 15 minutos	71
4.1.2.2.	Muestreo cada 1 hora	72

4.1.3.	Regresión: Tercera configuración	75
4.2.	Algoritmo de clasificación	80
4.2.1.	Clasificación: Random Forest	81
4.2.2.	Clasificación: Gradient Boosting	82
4.3.	Prueba final	84
4.3.1.	Primera fase: Clasificación	84
4.3.2.	Segunda fase: Filtro y selección de candidatos	85
4.3.3.	Tercera fase: Regresión	86
5.	Conclusiones	87
5.1.	Trabajo futuro	88
	Bibliografía	90