

# Tabla de Contenido

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introducción</b>                                               | <b>1</b>  |
| 1.1. Motivación . . . . .                                            | 1         |
| 1.2. Alcance . . . . .                                               | 1         |
| 1.3. Objetivos . . . . .                                             | 2         |
| 1.3.1. Objetivos generales . . . . .                                 | 2         |
| 1.3.2. Objetivos específicos . . . . .                               | 2         |
| 1.4. Resultados esperados . . . . .                                  | 3         |
| 1.5. Estructura de la memoria . . . . .                              | 3         |
| <b>2. Antecedentes relativos a LTE</b>                               | <b>4</b>  |
| 2.1. Third Generation Partnership Project (3GPP) . . . . .           | 4         |
| 2.2. Arquitectura LTE . . . . .                                      | 6         |
| 2.2.1. Equipo de Usuario: UE . . . . .                               | 7         |
| 2.2.2. Red de Acceso: E-UTRAN . . . . .                              | 8         |
| 2.2.2.1. Evolved NodeB . . . . .                                     | 8         |
| 2.2.2.2. Interfaces . . . . .                                        | 9         |
| 2.2.3. Red Troncal . . . . .                                         | 10        |
| 2.2.3.1. Entidades exclusivas de la Red EPC . . . . .                | 11        |
| 2.2.3.2. Entidades comunes a las redes 3GPP . . . . .                | 11        |
| 2.2.3.3. Interfaces . . . . .                                        | 11        |
| 2.2.3.4. Subsistema Multimedia IP (IMS) . . . . .                    | 13        |
| 2.3. Tecnologías de Nivel Físico . . . . .                           | 14        |
| 2.3.1. Técnicas de Acceso Múltiple . . . . .                         | 14        |
| 2.3.1.1. OFDM . . . . .                                              | 14        |
| 2.3.1.2. OFDMA . . . . .                                             | 15        |
| 2.3.1.3. SC-FDMA . . . . .                                           | 16        |
| 2.3.1.4. <i>Physical Resource Block</i> y <i>Frame</i> LTE . . . . . | 17        |
| 2.3.2. Esquemas de Modulación . . . . .                              | 19        |
| 2.3.3. Estructuras con varias antenas: MIMO . . . . .                | 20        |
| 2.3.3.1. Modos de Transmisión . . . . .                              | 21        |
| 2.4. Red Celular . . . . .                                           | 22        |
| <b>3. Dimensionamiento de la red LTE</b>                             | <b>24</b> |
| 3.1. Zona geográfica a analizar . . . . .                            | 25        |
| 3.2. Parámetros de entrada . . . . .                                 | 26        |
| 3.2.1. Parámetros de Calidad . . . . .                               | 26        |

|           |                                                                                                  |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2.    | Parámetros de Capacidad . . . . .                                                                | 27        |
| 3.2.3.    | Parámetros de Configuración de la Red . . . . .                                                  | 32        |
| 3.2.4.    | Caracterización de la Red . . . . .                                                              | 32        |
| 3.3.      | Parámetros de salida . . . . .                                                                   | 34        |
| 3.3.1.    | Proyección de la Red LTE . . . . .                                                               | 34        |
| 3.3.2.    | Configuración de la Red LTE . . . . .                                                            | 34        |
| <b>4.</b> | <b>Modelamiento de la red LTE</b>                                                                | <b>35</b> |
| 4.1.      | Metodología y Estructura . . . . .                                                               | 35        |
| 4.2.      | Información de entrada . . . . .                                                                 | 36        |
| 4.2.1.    | Proyección de la demanda . . . . .                                                               | 36        |
| 4.2.2.    | Volumen y throughput . . . . .                                                                   | 37        |
| 4.2.3.    | Cuenta de sitios . . . . .                                                                       | 37        |
| 4.2.4.    | Volumen por cluster . . . . .                                                                    | 38        |
| 4.3.      | Cálculos por cluster . . . . .                                                                   | 39        |
| 4.3.1.    | Volumen vs. throughput del cluster . . . . .                                                     | 39        |
| 4.4.      | Resultados . . . . .                                                                             | 40        |
| 4.4.1.    | Variables de entrada . . . . .                                                                   | 41        |
| 4.4.2.    | Proyección de capacidad . . . . .                                                                | 42        |
| 4.4.3.    | Modelo de expansión . . . . .                                                                    | 43        |
| 4.4.3.1.  | Expansión Manual . . . . .                                                                       | 43        |
| 4.4.3.2.  | Expansión Automatizada . . . . .                                                                 | 45        |
| 4.5.      | Análisis de sensibilidad del modelo . . . . .                                                    | 47        |
| 4.5.1.    | Caso base . . . . .                                                                              | 47        |
| 4.5.1.1.  | Caso base: Expansión manual, algunas celdas seleccionadas, tres celdas por mes . . . . .         | 48        |
| 4.5.1.2.  | Caso base: Expansión manual, algunas celdas seleccionadas, una celda por mes . . . . .           | 49        |
| 4.5.1.3.  | Caso base: Expansión manual, todas las celdas seleccionadas, tres celdas por mes . . . . .       | 51        |
| 4.5.1.4.  | Caso base: Expansión manual, todas las celdas seleccionadas, una celda por mes . . . . .         | 52        |
| 4.5.1.5.  | Caso base: Expansión automática, agosto 2019, tres celdas por mes . . . . .                      | 53        |
| 4.5.1.6.  | Caso base: Expansión automática, agosto 2019, una celda por mes . . . . .                        | 54        |
| 4.5.1.7.  | Caso base: Expansión automática, volumen objetivo, tres celdas por mes . . . . .                 | 55        |
| 4.5.1.8.  | Caso base: Expansión automática, volumen objetivo, una celda por mes . . . . .                   | 56        |
| 4.5.2.    | Caso de estudio: Variación del throughput . . . . .                                              | 58        |
| 4.5.2.1.  | Caso de estudio: Expansión manual, algunas celdas seleccionadas, tres celdas por mes . . . . .   | 59        |
| 4.5.2.2.  | Caso de estudio: Expansión manual, algunas celdas seleccionadas, una celda por mes . . . . .     | 60        |
| 4.5.2.3.  | Caso de estudio: Expansión manual, todas las celdas seleccionadas, tres celdas por mes . . . . . | 61        |

|                          |                                                                                                |           |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.5.2.4.                 | Caso de estudio: Expansión manual, todas las celdas seleccionadas, una celda por mes . . . . . | 62        |
| 4.5.2.5.                 | Caso de estudio: Expansión automática, agosto 2019, tres celdas por mes . . . . .              | 63        |
| 4.5.2.6.                 | Caso de estudio: Expansión automática, agosto 2019, una celda por mes . . . . .                | 64        |
| 4.5.2.7.                 | Caso de estudio: Expansión automática, volumen objetivo, tres celdas por mes . . . . .         | 65        |
| 4.5.2.8.                 | Caso de estudio: Expansión automática, volumen objetivo, una celda por mes . . . . .           | 66        |
| <b>Conclusiones</b>      |                                                                                                | <b>66</b> |
| <b>Bibliografía</b>      |                                                                                                | <b>69</b> |
| <b>Anexo A. Gráficos</b> |                                                                                                | <b>70</b> |
| A.1.                     | Demanda . . . . .                                                                              | 70        |
| A.2.                     | Curvas características . . . . .                                                               | 72        |
| A.2.1.                   | Curvas características Cluster A . . . . .                                                     | 72        |
| A.2.2.                   | Curvas características Cluster B . . . . .                                                     | 73        |
| A.2.3.                   | Curvas características Cluster C . . . . .                                                     | 75        |
| <b>Anexo B. Códigos</b>  |                                                                                                | <b>77</b> |
| B.1.                     | Abrir libro de Excel . . . . .                                                                 | 77        |
| B.2.                     | Botones . . . . .                                                                              | 77        |
| B.2.1.                   | Calcular . . . . .                                                                             | 77        |
| B.2.2.                   | Expansión Automatizada . . . . .                                                               | 79        |
| B.2.2.1.                 | Expandir . . . . .                                                                             | 80        |
| B.2.2.2.                 | Reset . . . . .                                                                                | 83        |
| B.2.3.                   | Expansión Manual . . . . .                                                                     | 84        |
| B.2.3.1.                 | Expandir . . . . .                                                                             | 85        |
| B.2.3.2.                 | Reset . . . . .                                                                                | 87        |